

ANALISIS DAYA DUKUNG *SPUN PILE* PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN LINGKAR LUAR BARAT (JLLB) SURABAYA

Bella Aulia Vira Farnetta

Program Studi S1 Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: bella.18002@mhs.unesa.ac.id

Yogie Risdianto

Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Surabaya

e-mail: yogierisdianto@unesa.ac.id

Abstrak

Pondasi merupakan salah satu konstruksi penting dalam sebuah bangunan. Pondasi sebagai struktur bawah sangat penting untuk dilakukan perhitungan analisis daya dukung agar tidak terjadi kegagalan struktur. Proyek pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) menggunakan pondasi jenis tiang pancang *spun pile*. Analisis daya dukung pondasi dapat dilakukan dengan cara empiris, pengujian statis, dan pengujian dinamik. Pada penelitian ini, untuk menghitung analisis daya dukung *spun pile* menggunakan pengujian dinamik yaitu, *Standard Penetration Test* (SPT), *Pile Driving Analysis* (PDA), dan Kalendering. Daya dukung *spun pile* dari data SPT dihitung menggunakan metode Luciano Decourt, Tomlinson, dan US Army Corps. Daya dukung *spun pile* dari data Kalendering dihitung menggunakan metode Hiley, *Engineering News Record* (ENR), dan Olsen & Flaate, sedangkan pada pengujian PDA dilakukan interpretasi nilai hasil PDA. Pengujian tes SPT dilakukan pada dua titik yaitu titik DB – 1 dan titik DB – 2. Pengujian PDA dilakukan pada pile PB 3A – 1, PB 3A – 9, PHC 2A – 4, PHD 9A – 1, PHF 5A – 4, PHF 6A – 5, PC 4 – 34, dan PC 4 – 42. Perhitungan kalendering pada penelitian ini dilakukan pada pile yang mendekati titik *soil test* yaitu pile PB 1A – 11, PB 1A – 17, PB 3A – 1, PB 3A – 9, PC 2A – 45, dan PC 2A – 52.

Perbandingan daya dukung *spun pile* menggunakan data SPT metode Luciano Decourt dengan interpretasi PDA yang paling mendekati yaitu pile PB 3A – 9 sebesar 40%, metode Tomlinson yaitu pile PB 3A – 9 sebesar 29%, dan metode US Army Corps yaitu pile PB 3A – 9 sebesar 30%. Perbandingan daya dukung *spun pile* menggunakan data kalendering metode Hiley dengan interpretasi PDA yang paling mendekati pada pile PB 3A – 9 sebesar 7%, metode ENR yaitu pile PB 3A – 9 sebesar 64%, dan metode Olsen&Flaate yaitu pile PB 3A – 9 sebesar 24%. Perbandingan daya dukung *spun pile* menggunakan data kalendering metode Hiley dengan data rata-rata SPT yang paling mendekati yaitu pile PB 1A – 11 sebesar 7%, metode ENR yaitu pile PB 1A – 17 sebesar 71%, dan metode Olsen&Flaate yaitu pile PB 1A – 11 sebesar 12%, pile PB 3A – 1 sebesar 12%, dan pile PB 3A – 9 sebesar 12%.

Kata Kunci: *spun pile*, *Standard Penetration Test* (SPT), *Pile Driving Analysis* (PDA), Kalendering

Abstract

The foundation is one of the essential constructions in a building. The foundation as the lower structure is fundamental to carrying out the calculation of the carrying capacity analysis so that there is no structural failure. The Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) construction project uses a *spun pile* type of foundation. The foundation's bearing capacity can be analyzed by empirical, static, and dynamic testing. In this study, to calculate the analysis of the carrying capacity of the *spun pile*, only dynamic tests are used, namely, *Standard Penetration Test* (SPT), *Pile Driving Analysis* (PDA), and *Calendering*. The carrying capacity of the *spun pile* from the SPT data was calculated using the Luciano Decourt, Tomlinson, and US Army Corps methods. The carrying capacity of the *spun pile* from the *calendering* data was calculated using the Hiley, *Engineering News-Record* (ENR), and Olsen & Flaate methods. At the same time, the PDA test was interpreted to interpret the PDA results. The SPT test was carried out at two points, DB – 1 and DB – 2. PDA testing was carried out on piles PB 3A – 1, PB 3A – 9, PHC 2A – 4, PHD 9A – 1, PHF 5A – 4, PHF 6A – 5, PC 4 – 34, and PC 4 – 42. Calculation calculations in this study were carried out on piles close to the soil test point, namely piles PB 1A – 11, PB 1A – 17, PB 3A – 1, PB 3A – 9, PC 2A – 45, and PC 2A – 52.

Comparison of the carrying capacity of *spun piles* using SPT data using the Luciano Decourt method with the closest PDA interpretation, namely PB 3A – 9 piles of 40%, Tomlinson's method of PB 3A – 9 piles

of 29%, and the US Army Corps method is to pile PB 3A – 9 by 30%. Comparison of the carrying capacity of spun piles using calendaring data using the Hilley method with the closest PDA interpretation on PB 3A – 9 piles of 7%, the ENR method of PB 3A – 9 piles of 64%, and the Olsen&Flaate method of PB 3A – 9 piles of 24%. Comparison of the carrying capacity of spun piles using the Hilley method calendaring data with the closest SPT average data, namely PB 1A - 11 piles of 7%, the ENR method of PB 1A - 17 piles of 71%, and the Olsen & Flaate method of PB 1A - 11 piles by 12%, pile PB 3A – 1 by 12%, and pile PB 3A – 9 by 12%.

Keywords: spun pile, Standard Penetration Test (SPT), Pile Driving Analysis (PDA), Calendaring

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman yang pesat pada bidang konstruksi terutama di kota-kota besar di Indonesia sedang maraknya terjadi saat ini. Surabaya merupakan salah satu kota besar di Indonesia, oleh sebab itu sering dilakukannya kegiatan pembangunan gedung-gedung tinggi, pembangunan infrastruktur seperti jalan dan jembatan, dan instalansi mekanikal serta elektrik. Pelaksanaan proyek konstruksi ini memberikan kemajuan di sektor ekonomi.

Proyek pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya merupakan salah satu proyek konstruksi yang memiliki struktur yang sangat kompleks. Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) nantinya meliputi dua kecamatan yakni Kecamatan Benowo dan Lakarsantri dengan rencana panjang jalan 19,8 kilometer dan lebar hingga 50 meter, proyek tersebut akan menghubungkan ruas Jalan Romokalisari hingga Lakarsantri yang nantinya bisa langsung terhubung tembus ke pintu tol Mojokerto di kawasan Driyorejo. Proyek Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) ini dikerjakan secara bertahap, Tahap pertama sepanjang 2,18 km meliputi Kecamatan Lakarsantri-perbatasan Kabupaten Gresik. Tahap II sepanjang 6,45 km yang menghubungkan Lakarsantri-Raya Sememi. Tahap selanjutnya Raya Sememi-Romokalisari sepanjang 3,85 Km dan terakhir atau tahap IV yang menghubungkan Sememi-Raya dan Tambak Osowilangun. Hal ini disampaikan oleh Kepala Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga dan Pematuan Kota.

Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) menggunakan pondasi tiang pancang. Menurut Hardiyatmo (2015: 76) pondasi tiang digunakan untuk mendukung bangunan bila lapisan tanah kuat terletak sangat dalam. Pondasi tiang juga digunakan untuk mendukung bangunan yang menahan gaya angkat ke atas terutama pada bangunan-bangunan tingkat tinggi yang dipengaruhi oleh gaya-gaya penggulingan akibat beban angin.

Daya dukung tiang pancang didapatkan dengan melakukan penyelidikan tanah di lapangan seperti *Standart Penetration Test* (SPT). Selain itu, perhitungan daya dukung tiang pancang dapat menggunakan rumus dinamik tiang dari data Kalendering serta menggunakan *Pile Driving Analysis* (PDA). Menurut Savira (2020) penyelidikan tanah di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban

pondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan contoh tanah akibat operasi pengeboran dan penanganan sampel.

Permasalahan dan rencana penelitian di atas menjadi landasan dalam merumuskan masalah yaitu: bagaimana perbandingan daya dukung *spun pile* berdasarkan hasil *Standart Penetration Test* (SPT), Interpretasi *Pile Driving Analysis* (PDA), dan data kalendering.

Berdasarkan rumusan masalah, maka tujuan dalam penelitian ini adalah: (1) Menganalisis berapa besar perbedaan hasil perhitungan daya dukung *spun pile* menggunakan data *Standart Penetration Test* (SPT), Interpretasi *Pile Driving Analysis* (PDA), dan data kalendering; (2) Mengetahui jenis-jenis metode perhitungan daya dukung *spun pile*.

Manfaat dari artikel ilmiah ini adalah sebagai berikut: (1) Diharapkan dapat menambah pengetahuan mengenai berbagai macam jenis metode perhitungan daya dukung *spun pile*; (2) Diharapkan dapat mengetahui besar perbandingan daya dukung *spun pile* dengan menggunakan berbagai macam metode yang berbeda.

Batasan masalah pada penelitian ini adalah: (1) Data yang digunakan untuk analisis daya dukung spun pile menggunakan data SPT, PDA, dan kalendering pada Proyek Pembangunan JLLB Surabaya; (2) Analisis perhitungan daya dukung spun pile dengan data SPT menggunakan metode Luciano Decourt, Tomlinson, dan US Army; (3) Analisis perhitungan daya dukung spun pile dengan data PDA menggunakan metode teori gelombang; (4) Analisis perhitungan daya dukung spun pile dengan data kalendering menggunakan metode Hiley, Engineering News Records (ENR), dan Navy-McKay.

KAJIAN TEORI

Standard Penetration Test (SPT)

Perhitungan kapasitas daya dukung tiang dengan menggunakan data SPT pada tanah kohesif dapat digunakan beberapa metode perhitungan sebagai berikut:

- Luciano Decourt

Rumus perhitungan daya dukung ultimate tiang dengan Metode Luciano Decourt adalah sebagai berikut:

$$Q_u = (Q_p + Q_s) \quad (1)$$

Dimana:

Q_u = Daya dukung batas (kg)

Q_p = Daya dukung titik ujung (kg)

Q_s = Daya dukung selimut (kg)

Rumus perhitungan daya dukung ujung tiang dengan Metode Luciano Decourt adalah sebagai berikut:

$$Q_p = \frac{\alpha \times \bar{N}_p \times K \times A_b}{SF} \quad (2)$$

Dimana:

Q_p = Daya dukung titik ujung (ton)

α = Base Coefficient (Tabel 1)

$\bar{N}_p$ = Harga rata-rata SPT disekitar 4D di atas hingga 4D di bawah dasar tiang

K = Koefisien karakteristik tanah di atas pondasi (kPa)

12 t/m² = 117,7 kPa, untuk lempung

20 t/m² = 196 kPa, untuk lanau berlempung

25 t/m² = 245 kPa, untuk lanau berpasir

40 t/m² = 392 kPa, untuk pasir

A_b = Luas penampang (cm²)

SF = Safety Factor = 2,5

(Sumber: Wahyudi, 2013)

Tabel 1 Base Coefficient α Decourt (1996)

Soil/pile	Driven Pile	Bored Pile
Clay	1,0	0,85
Intermediate Soil	1,0	0,60
Sand	1,0	0,50

(Sumber: Daya Dukung Pondasi Dalam, Wahyudi, 2013)

Rumus perhitungan daya dukung selimut tiang dengan Metode Luciano Decourt adalah sebagai berikut:

$$Q_s = \frac{\beta \times \left(\frac{\bar{N}_s}{3} + 1\right) \times A_s}{SF} \quad (3)$$

Dimana:

Q_s = Daya dukung selimut (ton)

β = Shaft Coefficient (Tabel 2)

$\bar{N}_s$ = Harga rata-rata SPT tiang yang terbenam

A_s = Luas selimut (m²)

SF = Safety factor = 2,5

Tabel 2 Shaft Coefficient β Decourt (1996)

Soil/Pile	Driven Pile	Bored Pile
Clay	1,0	0,80
Intermediate Soil	1,0	0,65
Sand	1,0	0,50

(Sumber: Daya Dukung Pondasi Dalam, Wahyudi, 2013)

- Tomlinson

Metode Tomlinson (1977), tahanan gesek tiang dapat diperoleh dengan:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (4)$$

$$f_s = cd = \alpha cu \quad (5)$$

Dimana:

cd = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi (Gambar 1)

cu = kohesi *underdrained* (kN/m²) (Gambar 1)

$$Q_p = A_b \times Cu \times N_c \quad (6)$$

Dimana:

N_c = faktor kapasitas dukung diambil 9 (ketentuan)

$$Q_u = (Q_p + Q_s) \quad (7)$$

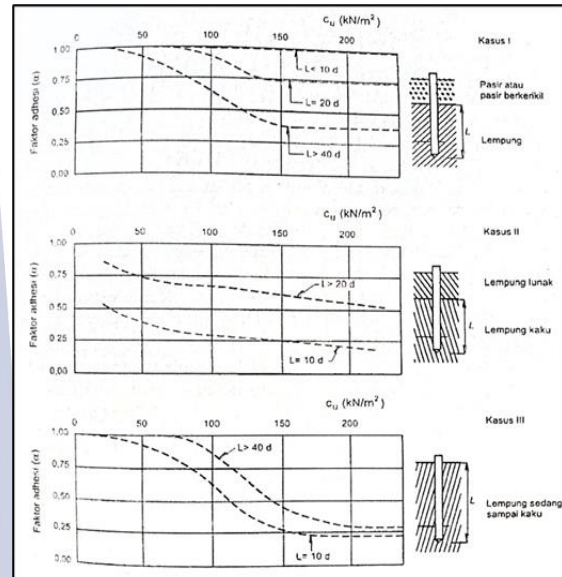
Dimana:

Q_u = Daya dukung batas (kN)

Q_p = Daya dukung titik ujung (kN)

Q_s = Daya dukung selimut (kN)

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)



Gambar 1 Hubungan antara Faktor Adhesi dan Kohesi untuk Tiang Pancang dalam Tanah Lempung (Sumber: Tomlinson, 1977; Hardiyatmo, 2015)

- US Army Corps

Metode US Army Corps tahanan gesek tiang dapat diperoleh dengan:

$$Q_s = A_s \cdot f_s \quad (8)$$

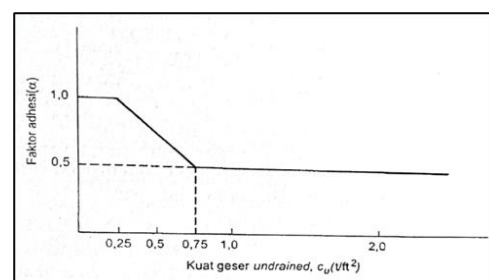
$$f_s = cd = \alpha cu \quad (9)$$

Dimana:

cd = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi (Gambar 2)

cu = kohesi *underdrained* (kN/m²)



Gambar 2 nilai Faktor Adhesi yang digunakan (1 t/ft² = 105,6 kPa) (Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Pile Driving Analysis (PDA)

Memprediksi kapasitas dukung tiang dari teori gelombang, umumnya dilakukan dua langkah hitungan, yaitu pertama pengumpulan data PDA, yaitu berupa data regangan dan percepatan dan kemudian melakukan hitungan kapasitas dukung tiang melalui data koefisien damping (*damping coefficient*, J_c) yang diinputkan oleh pengguna program. Koefisien damping ini umumnya dipilih berdasarkan jenis tanah di lapangan (Hardiyatmo, 2020). Langkah selanjutnya dilakukan analisis data yang diperoleh dari lapangan dengan menggunakan program CAPWAP (*Case Pile Wave Analysis Program*). Dari hasil pemrograman CAPWAP ini, diperoleh distribusi tahanan gesek dan tahanan dan tahanan ujung bawah tiang dan juga perkiraan kapasitas dukung yang diperbaiki (*improve capacity prediction*).

$$Q_{total} = \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to + \frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right] \quad (10)$$

(Sumber: Salgado, 2008)

Kalendering

Rumus-rumus pancang yang digunakan dalam perhitungan daya dukung tiang adalah sebagai berikut:

- Hiley

$$Q_u = \frac{2W_r \times H}{S+K} \times \frac{W_r + n^2 + W_p}{W_r + W_p} \quad (11)$$

Dimana:

W_r = berat hammer (ton)

W_p = berat tiang keseluruhan (ton)

H = tinggi jatuh pemukul (cm)

S = penetrasi per pukulan (cm)

K = rebound (cm)

n = koefisien restitusi (Tabel 3)

SF = 4

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Tabel 3 Koefisien Restitusi n (ASCE, 1941)

Material	n
Broomed Wood	0
Tiang kayu (ujung tidak rusak)	0,25
Bantalan kayu padat pada tiang baja	0,32
Bantalan kayu padat di atas tiang baja	0,40
Landasan baja pada baja (steel on steel anvil) pada tiang baja atau beton	0,50
Pemukul besi cor pada tiang beton tanpa penutup (cap)	0,40

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

- Engineering News Record (ENR)

$$Q_u = \frac{e_h W_r h (W_r + n^2 W_p)}{(s+0,25)(W_r + W_p)} \quad (12)$$

Dimana:

W_r = berat hammer (ton)

W_p = berat tiang keseluruhan (ton)

S = penetrasi per pukulan (cm)

n = koefisien restitusi (Tabel 3)

e_h = nilai efisiensi (Tabel 4)

SF = 6

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

Tabel 4 Nilai Efisiensi (e_h)

Tipe	e_h
Pemukul jatuh (<i>drop hammer</i>)	0,75 – 1
Pemukul aksi tunggal (<i>single acting hammer</i>)	0,75 – 0,85
Pemukul aksi ganda (<i>double acting hammer</i>)	0,85
Pemukul diesel (<i>diesel hammer</i>)	0,85 – 1

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

- Olsen&Flaate

$$Q_u = \frac{e_h E_h}{s + C_1} \quad (13)$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2AE}} \quad (14)$$

$$E_h = W_r h \quad (15)$$

Dimana:

W_r = berat hammer (ton)

e_h = nilai efisiensi (Tabel 4)

S = penetrasi per pukulan (cm)

E_h = besaran energi pemukul

E = modulus elastis tiang (t/cm^2)

A = tampang melintang tiang (cm^2)

L = panjang tiang (cm)

(Sumber: Hardiyatmo, 2015)

METODE

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian yang termasuk dalam jenis metode kuantitatif, yaitu dengan melakukan kontrol pada obyek yang sedang diteliti.

Waktu dan Tempat Penelitian

Waktu yang digunakan peneliti untuk penelitian ini dilaksanakan pada bulan Februari 2022. Penelitian dilakukan pada Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya.

Populasi dan Sampel

Populasi penelitian ini adalah perusahaan kontraktor. Sampel penelitian yang dipakai untuk penelitian ini adalah Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya.

Sasaran Penelitian

Sasaran pada penelitian ini adalah untuk mengetahui perbandingan daya dukung *spun pile* berdasarkan dari

beberapa data pengujian, yaitu data SPT, PDA, dan kalendering.

Variabel Penelitian

- **Variabel Bebas**
Pada penelitian ini yang dimaksud variabel bebas adalah metode perhitungan yang digunakan dalam analisis daya dukung *spun pile*. Perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data SPT menggunakan Metode Luciano Decourt, Metode Tomlinson, dan Metode US Army Corps. Sedangkan perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data kalendering menggunakan Metode Hiley, Metode ENR, dan Metode Olsen & Flaate. Sedangkan perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data PDA digunakan teori gelombang untuk menginterpretasikan hasil uji tes.
- **Variabel Terikat**
Pada penelitian ini yang dimaksud variabel terikat adalah daya dukung *spun pile* dari data SPT, data PDA, dan data kalendering.
- **Variabel Kontrol**
Pada penelitian ini yang dimaksud variabel kontrol adalah jenis tanah yang digunakan. Jenis tanah dalam penelitian ini adalah tanah lempung.

Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data pada penelitian ini adalah dengan mengajukan permohonan data pada instansi yang terkait dengan Proyek Pembangunan Jalan Lingkar Luar Barat (JLLB) Surabaya. Adapun data yang dibutuhkan untuk keperluan penyusunan Proyek Akhir ini antara lain:

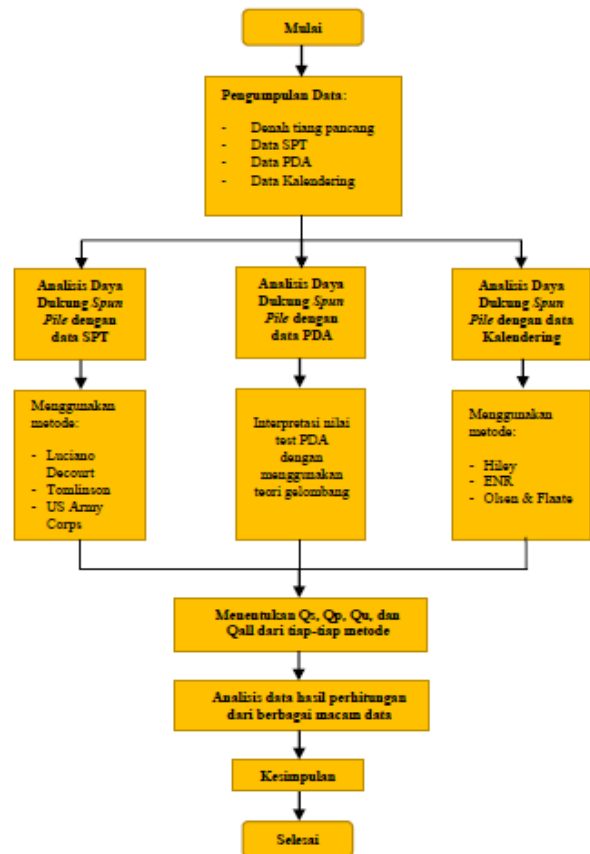
1. Gambar kerja berisi denah tiang pancang
2. Data SPT
4. Data PDA
5. Data Kalendering

Teknik Pengolahan Data

- Perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data SPT dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode Luciano Decourt, Tomlinson, dan US Army Corps. Perhitungan daya dukung ultimate *spun pile* dilakukan dengan menghitung nilai Q_p dan nilai Q_s kemudian dibagi dengan nilai *Safety Factor* (SF).
- Perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data PDA dilakukan dengan menginterpretasikan hasil test PDA menggunakan teori gelombang (*wave theory*).
- Perhitungan daya dukung *spun pile* dengan data kalendering dilakukan dengan beberapa metode, yaitu metode Hiley, ENR, dan Olsen & Flaate. Perhitungan daya dukung ultimate *spun pile* kemudian dibagi dengan nilai *Safety Factor* (SF).

- Menentukan persentase selisih perbandingan nilai daya dukung *spun pile* dari beberapa metode perhitungan menggunakan data SPT, PDA, dan kalendering.

Lebih jelasnya, digambarkan pada diagram alur di bawah ini.



Gambar 3 Flowchart Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data SPT Metode Luciano Decourt

- Digunakan *spun pile* dengan diameter 60 cm
- Nilai $N\text{-SPT} = 13$ (tanah lempung)
- Kedalaman 15,25 m Titik DB – 1
- $N' = N = 13$ (tidak ada koreksi karena tanah kohesif)
- $N_p = \frac{14+13+29}{3} = 18,667$
- $N_s = \frac{8+13+13+18+14+13}{6} = 13,17$

$$K = 20 \text{ t/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 = 0,25 \times \pi \times 0,6^2 = 0,2826 \text{ m}^2$$

$$A_s = \pi \times 0,60 \times 15,25 = 28,731 \text{ m}^2$$

$$Q_{ult} = [\alpha \times (N_p \cdot K) \times A_p] + \left[\beta \times \left(\frac{N_s}{3} + 1 \right) \times A_s \right]$$

$$= 260,33 \text{ t}$$

$$Q_{ijin} = \frac{260,33}{2,5}$$

$$= 104,133 \text{ t}$$

Tabel 4 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile*
Metode Luciano Decourt Titik DB-1 dan Titik DB-2

Kedalaman (m)	BOREHOLE DB-1			BOREHOLE DB-2		
	N'-SPT	Qult	Qijin	N'-SPT	Qult	Qijin
		(t)	(t)		(t)	(t)
5,25	8	95,61	38,25	7	45,25	18,098
7,25	13	125,52	50,21	10	60,21	24,083
9,25	13	166,16	66,46	8	74,46	29,785
11,25	18	197,82	79,13	16	95,13	38,051
13,25	14	219,58	87,83	16	103,83	41,533
15,25	13	260,33	104,13	19	123,13	49,253
17,25	29	354,12	141,65	16	157,65	63,060
19,25	40	433,24	173,30	18	191,30	76,519
21,25	23	455,61	182,25	12	194,25	77,698
23,25	23	457,06	182,82	20	202,82	81,129
25,25	23	482,85	193,14	14	207,14	82,855
27,25	19	506,59	202,63	23	225,63	90,254
29,25	18	518,57	207,43	27	234,43	93,771

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data SPT Metode Tomlinson

- Digunakan spun pile dengan diameter 60 cm
- Nilai N-SPT = 13 (tanah lempung)
- Kedalaman 15,25 m Titik DB – 1
- $N' = N = 13$ (tidak ada koreksi karena tanah kohesif)
- $C_u = 6N = 78 \text{ kPa}$ (Kulhawry dan Mayne, 1990)
- N_c = diambil 9
- $\alpha = 0,690$ (grafik Tomlinson)
- $Q_{ult} = (A_p \times C_u \times N_c) + (A_s \times \alpha \times C_u)$
 $= (0,2826 \times 78 \times 9) + (28,731 \times 0,690 \times 78)$
 $= 1744,68 \text{ kN} = 177,958 \text{ t}$
- $Q_{ijin} = \frac{177,958}{2,5} = 71,183 \text{ t}$

Tabel 5 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile*
Metode Tomlinson Titik DB-1 dan Titik DB-2

Kedalaman (m)	BOREHOLE DB-1			BOREHOLE DB-2		
	N'-SPT	Qult	Qijin	N'-SPT	Qult	Qijin
		(t)	(t)		(t)	(t)
5,25	8	48,772	19,509	7	42,888	17,155
7,25	13	95,218	38,087	10	76,589	30,635
9,25	13	115,903	46,361	8	76,444	30,578
11,25	18	182,118	72,847	16	163,335	65,334
13,25	14	165,093	66,037	16	187,945	75,178
15,25	13	177,958	71,183	19	244,725	97,890
17,25	29	379,680	151,872	16	237,165	94,866
19,25	40	515,049	206,019	18	291,699	116,680
21,25	23	396,462	158,585	12	224,491	89,796
23,25	23	430,406	172,163	20	367,296	146,919
25,25	23	464,351	185,740	14	294,876	117,950
27,25	19	414,023	165,609	23	498,295	199,318
29,25	18	428,677	171,471	27	609,324	243,729

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data SPT Metode US Army Corps

Misal perhitungan nilai N-SPT pada *bore hole* DB-1 dengan kedalaman 15,25 m.

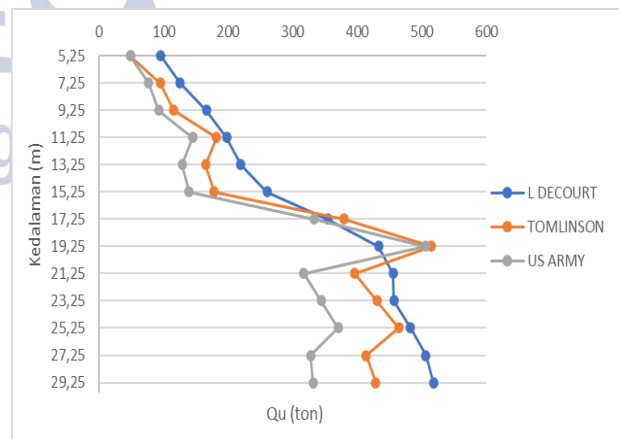
- Digunakan spun pile dengan diameter 60 cm
- Nilai N-SPT = 13 (tanah lempung)
- $N' = N = 13$ (tidak ada koreksi karena tanah kohesif)
- $C_u = 6N = 78 \text{ kPa}$ (Kulhawry dan Mayne, 1990)
- N_c = diambil 9
- $\alpha = 0,690$
- $Q_{ult} = (A_p \times C_u \times N_c) + (A_s \times \alpha \times C_u)$
 $= (0,2826 \times 78 \times 9) + (28,731 \times 0,690 \times 78)$
 $= 1363,715 \text{ kN} = 139,099 \text{ t}$
- $Q_{ijin} = \frac{139,099}{2,5} = 55,640 \text{ t}$

Tabel 6 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile*
Metode US Army Corps Titik DB-1 dan Titik DB-2

Kedalaman (m)	BOREHOLE DB-1			BOREHOLE DB-2		
	N'-SPT	Qult	Qijin	N'-SPT	Qult	Qijin
		(t)	(t)		(t)	(t)
5,25	8	48,772	19,509	7	45,218	18,087
7,25	13	76,744	30,698	10	69,065	27,626
9,25	13	92,333	36,933	8	76,444	30,578
11,25	18	144,760	57,904	16	128,676	51,470
13,25	14	128,733	51,493	16	147,124	58,850
15,25	13	139,099	55,640	19	196,617	78,647
17,25	29	333,536	133,415	16	184,020	73,608
19,25	40	506,171	202,468	18	227,777	91,111
21,25	23	317,567	127,027	12	165,687	66,275
23,25	23	344,086	137,635	20	299,206	119,682
25,25	23	370,606	148,242	14	225,586	90,234
27,25	19	328,060	131,224	23	397,125	158,850
29,25	18	331,547	132,619	27	497,321	198,928

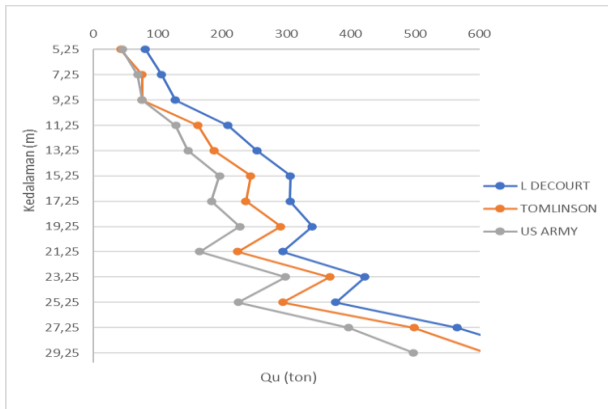
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Berdasarkan perhitungan yang telah dilakukan dengan beberapa metode titik DB-1 dan DB – 2 dapat dilihat hubungan antara daya dukung ultimit dengan kedalamannya yang ditunjukkan dalam **Gambar 4** dan **Gambar 5**.



Gambar 4 Daya Dukung Ultimit dan Kedalaman
Titik DB – 1 dengan Berbagai Metode

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 5 Daya Dukung Ultimit dan Kedalaman Titik DB – 2 dengan Berbagai Metode
(Sumber: Hasil Perhitungan)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data PDA

1) Pile PB 3A – 1

Penyelesaian:

$$F_{to} = 302,75 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 203,5 \text{ t}$$

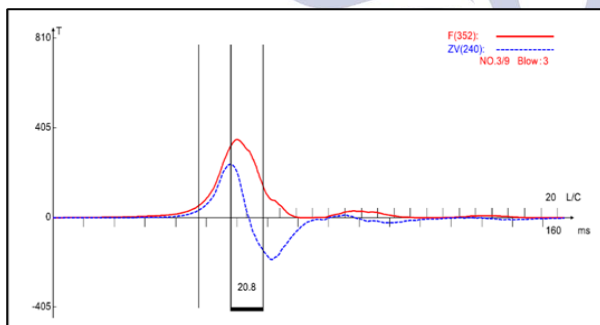
$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 105,25 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -91,25 \text{ t}$$

$$Q_{total} = \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(105 - (-91,25)) + (302,75 + 203,5) \right]$$

$$= 351,25 \text{ t}$$



Gambar 6 Hasil PDA Pile PB 3A – 1
(Sumber: PT. Master Geotestfondasi)

2) Pile PB 3A – 9

Penyelesaian:

$$F_{to} = 173 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 161 \text{ t}$$

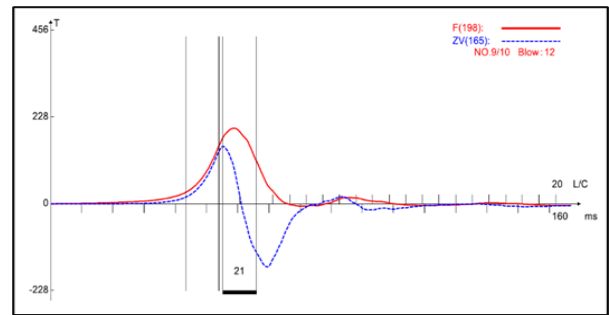
$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 114 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -134 \text{ t}$$

$$Q_{total} = \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(114 - (-134)) + (173 + 161) \right]$$

$$= 291 \text{ t}$$



Gambar 7 Hasil PDA Pile PB 3A – 9
(Sumber: PT. Master Geotestfondasi)

3) Pile PHC 2A – 4

Penyelesaian:

$$F_{to} = 350 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 190 \text{ t}$$

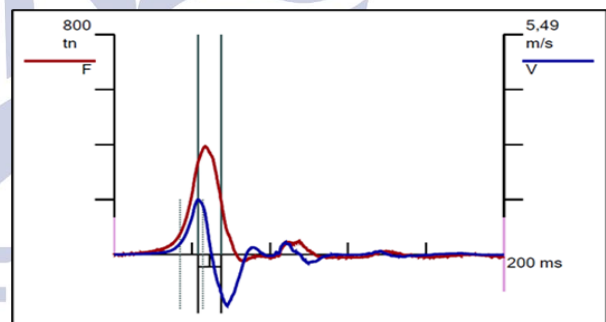
$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 210 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -150 \text{ t}$$

$$Q_{total} = \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(210 - (-150)) + (350 + 190) \right]$$

$$= 450 \text{ t}$$



Gambar 8 Hasil PDA Pile PHC 2A – 4
(Sumber: PT. Master Geotestfondasi)

4) Pile PHD 9A – 1

Penyelesaian:

$$F_{to} = 400 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 220 \text{ t}$$

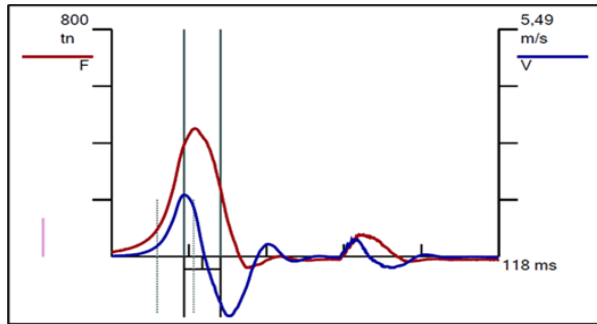
$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 240 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -180 \text{ t}$$

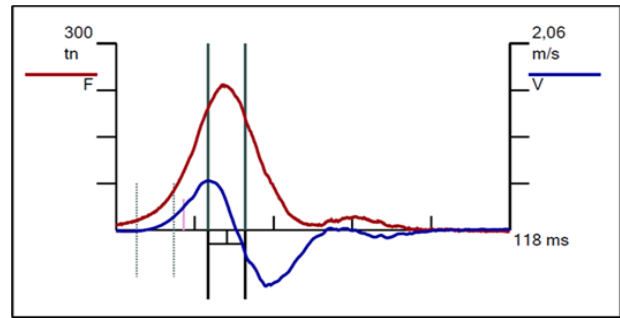
$$Q_{total} = \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right]$$

$$= \frac{1}{2} \left[(240 - (-180)) + (400 + 220) \right]$$

$$= 520 \text{ t}$$



Gambar 9 Hasil PDA Pile PHD 9A – 1
(Sumber: PT. Master Geotefondasi)



Gambar 11 Hasil PDA Pile PHF 6A – 5
(Sumber: PT. Master Geotefondasi)

5) Pile PHF 5A – 4

Penyelesaian:

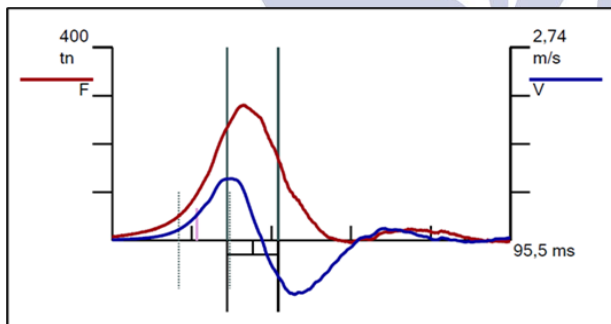
$$F_{to} = 230 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 160 \text{ t}$$

$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 160 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -80 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(160 - (-80)) + (230 + 160) \right] \\ &= 315 \text{ t} \end{aligned}$$



Gambar 10 Hasil PDA Pile PHF 5A – 4
(Sumber: PT. Master Geotefondasi)

7) Pile PC 4 – 34

Penyelesaian:

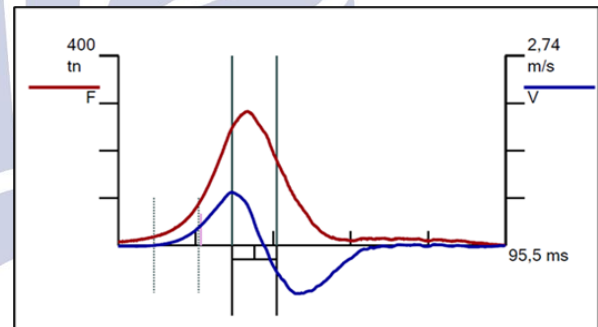
$$F_{to} = 250 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 110 \text{ t}$$

$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 180 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -50 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(180 - (-50)) + (250 + 110) \right] \\ &= 295 \text{ t} \end{aligned}$$



Gambar 12 Hasil PDA Pile PC 4 – 34
(Sumber: PT. Master Geotefondasi)

6) Pile PHF 6A – 5

Penyelesaian:

$$F_{to} = 188,5 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 76 \text{ t}$$

$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 183,5 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -37,5 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(183,5 - (-37,5)) + (188,5 + 76) \right] \\ &= 242 \text{ t} \end{aligned}$$

8) Pile PC 4 – 42

Penyelesaian:

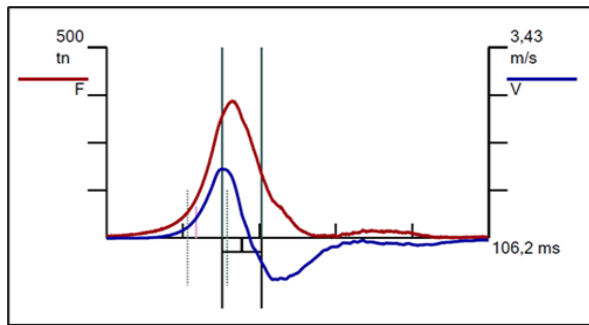
$$F_{to} = 312,5 \text{ t}$$

$$ZV_{to} = 177,5 \text{ t}$$

$$F_{(to+\frac{2L}{c})} = 156,25 \text{ t}$$

$$V_{(to+\frac{2L}{c})} = -52,5 \text{ t}$$

$$\begin{aligned} Q_{total} &= \frac{1}{2} \left[(F - ZV)_{(to+\frac{2L}{c})} + (F + ZV)_{(to)} \right] \\ &= \frac{1}{2} \left[(156,25 - (-52,5)) + (312,5 + 177,5) \right] \\ &= 349,38 \text{ t} \end{aligned}$$



Gambar 13 Hasil PDA Pile PC 4 – 42
(Sumber: PT. Master Geotefondasi)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode Hiley

Perhitungan daya dukung *spun pile* berdasarkan data kalendering dengan metode Hiley pada *pile* PB 1A-11 dengan data sebagai berikut.

- Diameter *spun pile* (D) = 60 cm
- Panjang tiang = 22 m
- Mutu beton = 52 MPa
- Luas tiang pancang (A) = 2826 cm²
- Berat tiang keseluruhan (Wp) = 8,98 ton
- Tinggi jatuh (H) = 250 cm
- Penetrasi per pukulan (S) = 1,2 cm
- Besarnya rebound (K) = 1,0 cm
- Berat hammer (Wr) = 6,5 ton
- Koefisien restitusi (n) = 0,5

Dihitung daya dukung ultimitnya adalah:

$$Q_u = \frac{2W_r \times H}{S+K} \times \frac{W_r + n^2 + W_p}{W_r + W_p}$$

$$Q_u = \frac{2 \times 6,5 \times 250}{1,2+1,0} \times \frac{6,5+0,5^2+8,98}{6,5+8,98}$$

$$Q_u = 834,5 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = \frac{834,5}{4} = 208,6 \text{ ton}$$

Tabel 6 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode Hiley

Kode Pilar	No. TP	Wr (ton)	Wp (ton)	H (cm)	n ²	S (cm)	K (cm)	Qu	Qijin
PB-1a	11	6,5	8,98	250	0,25	1,2	1	834,5	208,6
PB-1a	19	6,5	8,98	250	0,25	1,1	0,8	966,3	241,6
PB-3a	1	6,5	8,98	250	0,25	1,2	0,8	918,0	229,5
PB-3a	9	6,5	8,98	250	0,25	1,2	0,5	1080,0	270,0
PC-2a	45	6,5	5,23	250	0,25	0,12	2,5	825,7	206,4
PC-2a	52	6,5	5,12	250	0,25	0,12	2,5	830,5	207,6

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode ENR

Perhitungan daya dukung *spun pile* berdasarkan data kalendering dengan metode Engineering News-Records (ENR) pada *pile* PB 1A-11 dengan data sebagai berikut.

- Diameter *spun pile* (D) = 60 cm
- Panjang tiang = 22 m
- Mutu beton = 52 MPa
- Luas tiang pancang (A) = 2826 cm²
- Berat tiang keseluruhan (Wp) = 8,98 ton
- Tinggi jatuh (H) = 250 cm
- Penetrasi per pukulan (S) = 1,2 cm
- Efisiensi *diesel hammer* (e_h) = 1,0
- Berat hammer (Wr) = 6,5 ton
- Koefisien restitusi (n) = 0,5

Dihitung daya dukung ultimitnya adalah:

$$Q_u = \frac{e_h \times W_r \times H (W_r + n^2 W_p)}{(S+0,25)(W_r + W_p)}$$

$$Q_u = \frac{1,0 \times 6,5 \times 250 (6,5 + 0,5^2 \times 8,98)}{(1,2+0,25)(6,5+8,98)}$$

$$Q_u = 633,1 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = \frac{633,1}{6} = 105,5 \text{ ton}$$

Tabel 7 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode ENR

Kode Pilar	No. TP	Wr (ton)	Wp (ton)	H (cm)	n ²	S (cm)	e _h	Qu	Qijin
PB-1a	11	6,5	8,98	250	0,25	1,2	1	633,1	105,5
PB-1a	19	6,5	8,98	250	0,25	1,1	1	680,0	113,3
PB-3a	1	6,5	8,98	250	0,25	1,2	1	633,1	105,5
PB-3a	9	6,5	8,98	250	0,25	1,2	1	633,1	105,5
PC-2a	45	6,5	5,23	250	0,25	0,12	1	2923,4	487,2
PC-2a	52	6,5	5,12	250	0,25	0,12	1	2940,5	490,1

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Analisis Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode Olsen&Flaate

Perhitungan daya dukung *spun pile* berdasarkan data kalendering dengan metode Olsen & Flaate pada *pile* PB 1A-11 dengan data sebagai berikut.

- Diameter *spun pile* (D) = 60 cm
- Panjang tiang = 22 m
- Mutu beton = 52 MPa
- Luas tiang pancang (A) = 2826 cm²
- Berat tiang keseluruhan (Wp) = 8,98 ton
- Tinggi jatuh (H) = 250 cm
- Penetrasi per pukulan (S) = 1,3 cm
- Efisiensi *diesel hammer* (e_h) = 1,0
- Berat hammer (Wr) = 6,5 ton
- Besaran energi pemukul (E_h) = 1625 t cm

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h \times E_h \times L}{2AE}} = \sqrt{\frac{1 \times 6,5 \times 250 \times 2200}{2 \times 2826 \times 352}} = 1,257 \text{ cm}$$

Dihitung daya dukung ultimitnya adalah:

$$Q_u = \frac{e_h \times E_h}{S + C_1}$$

$$Q_u = \frac{1,0 \times 1625}{1,2 \times 1,257}$$

$$Q_u = 661,2 \text{ ton}$$

$$Q_{ijin} = \frac{661,2}{3} = 220,4 \text{ ton}$$

Tabel 8 Perhitungan Daya Dukung *Spun Pile* dengan Data Kalendering Metode Olsen&Flaate

Kode Pilar	No. TP	Wr (ton)	Wp (ton)	S (cm)	H (cm)	eh	Eh	C1	Qu (ton)	Qijin (ton)
PB-1a	11	6,5	8,98	1,2	250	1	1625	1,257	661,2	220,4
PB-1a	19	6,5	8,98	1,1	250	1	1625	1,257	689,3	229,8
PB-3a	1	6,5	8,98	1,2	250	1	1625	1,257	661,2	220,4
PB-3a	9	6,5	8,98	1,2	250	1	1625	1,257	661,2	220,4
PC-2a	45	6,5	5,23	0,12	250	1	1625	1,340	1112,6	370,9
PC-2a	52	6,5	5,12	0,12	250	1	1625	1,340	1112,6	370,9

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Perbandingan Daya Dukung *Spun Pile* berdasarkan Data SPT dengan Interpretasi PDA

Berikut ini merupakan *spun pile* yang digunakan dalam perhitungan data SPT dan PDA Test:

- 1) PB 3A – 1
- 2) PB 3A – 9
- 3) PHC 2A – 4
- 4) PHD 9A – 1
- 5) PHF 5A – 4
- 6) PHF 6A – 5
- 7) PC 4 – 34
- 8) PC 4 – 42

Berikut merupakan contoh perhitungan persentase perbedaan daya dukung PDA Test dengan data SPT pada *Pile* PB 3A – 1, sebagai berikut:

1) Metode Luciano Decourt dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA test - SPT L Decourt} \\ &= 351,25 - 173,30 \\ &= 177,95 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{177,95}{351,25} \times 100\% \\ &= 51\% \end{aligned}$$

2) Metode Tomlinson dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA test - SPT Tomlinson} \\ &= 351,25 - 206,02 \\ &= 145,23 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{145,23}{351,25} \times 100\% \\ &= 41\% \end{aligned}$$

3) Metode US Army dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA test - SPT US Army} \\ &= 351,25 - 202,47 \\ &= 148,78 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{148,78}{351,25} \times 100\% \\ &= 42\% \end{aligned}$$

Berikut merupakan rekapitulasi hasil perhitungan persentase perbedaan daya dukung PDA Test dengan data SPT, sebagai berikut.

Tabel 9 Perhitungan Persentase Perbedaan Daya Dukung *Spun Pile* Data PDA dengan Data SPT

Nama Pile	Qu Interpretasi PDA (ton)	Metode SPT	Kedalaman (m)	Titik	Qall SPT (ton)	Selisih (ton)	Persentase
PB 3A - 1	351,25	L Decourt	19,25	DB - 1	173,30	177,95	51%
		Tomlinson			206,02	145,23	41%
		US Army			202,47	148,78	42%
PB 3A - 9	291	L Decourt	19,25	DB - 1	173,30	117,70	40%
		Tomlinson			206,02	84,98	29%
		US Army			202,47	88,53	30%
PHC 2A - 4	450	L Decourt	21,25	DB - 1	182,25	267,75	60%
		Tomlinson			158,58	291,42	65%
		US Army			127,03	322,97	72%
PHD 9A - 1	520	L Decourt	19,25	DB - 1	173,30	346,70	67%
		Tomlinson			206,02	313,98	60%
		US Army			202,47	317,53	61%
PHF 5A - 4	315	L Decourt	19,25	DB - 2	136,21	178,79	57%
		Tomlinson			116,68	198,32	63%
		US Army			91,11	223,89	71%
PHF 6A - 5	242	L Decourt	19,25	DB - 2	136,21	105,79	44%
		Tomlinson			116,68	125,32	52%
		US Army			91,11	150,89	62%
PC 4 - 34	295	L Decourt	19,25	DB - 2	136,21	158,79	54%
		Tomlinson			116,68	178,32	60%
		US Army			91,11	203,89	69%
PC 4 - 42	349,38	L Decourt	19,25	DB - 2	136,21	213,17	61%
		Tomlinson			116,68	232,70	67%
		US Army			91,11	258,27	74%

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Perbandingan Daya Dukung *Spun Pile* berdasarkan Data Kalendering dengan Interpretasi PDA

Berikut merupakan hasil perhitungan persentase perbedaan daya dukung PDA Test dengan data Kalendering pada *pile* PB 3A – 1 dan PB 3A – 9. Sedangkan pada *pile* lain yang telah dilakukan *test* PDA seperti *pile* PHC 2A – 4, PHD 9A – 1, PHF 5A – 4, PHF 6A – 5, PC 4 – 34, dan PC 4 – 42 tidak dilakukan

perhitungan karena adanya keterbatasan data yang didapatkan.

Berikut merupakan contoh perhitungan persentase perbedaan daya dukung PDA Test dengan data Kalendering pada *Pile* PB 3A – 9, sebagai berikut:

1) Metode Hiley dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA} - \text{Kalendering Hiley} \\ &= 291 - 270 \\ &= 21 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{21}{291} \times 100\% \\ &= 7\% \end{aligned}$$

2) Metode ENR dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA} - \text{Kalendering ENR} \\ &= 351,25 - 105,52 \\ &= 245,73 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih Qu}}{\text{Qu Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{247,73}{351,25} \times 100\% \\ &= 70\% \end{aligned}$$

3) Metode Olsen & Flaate dengan PDA

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Interpretasi PDA} - \text{Kalendering Olsen \& Flaate} \\ &= 351,25 - 220,41 \\ &= 130,84 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih Qu}}{\text{Qu Interpretasi PDA}} \times 100\% \\ &= \frac{130,84}{351,25} \times 100\% \\ &= 37\% \end{aligned}$$

Tabel 10 Perhitungan Persentase Perbedaan Daya Dukung *Spun Pile* Data PDA dengan Data Kalendering

Nama Pile	Qu Interpretasi PDA (ton)	Metode Kalendering	Qall Kalendering (ton)	Selisih (ton)	Persentase
PB 3A - 1	351,25	Hiley	229,50	121,75	35%
		ENR	105,52	245,73	70%
		Olsen&Flaate	220,41	130,84	37%
PB 3A - 9	291	Hiley	270,00	21,00	7%
		ENR	105,52	185,48	64%
		Olsen&Flaate	220,41	70,59	24%

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Perbandingan Daya Dukung *Spun Pile* berdasarkan Data Kalendering dengan Rata-Rata SPT

Perbandingan nilai daya dukung *spun pile* berdasarkan data kalendering dengan data rata-rata SPT dilakukan pada *pile*:

- 1) PB 1A
- 2) PB 3A
- 3) PC 2A

Data Kalendering digunakan titik *pile* yang letaknya dekat dengan titik *soil test*. Berikut merupakan hasil perhitungan persentase perbandingan data kalendering dengan data rata-rata SPT:

Berikut contoh perhitungan perbandingan daya dukung *spun pile* pada *Pile* PB 1A – 11 dengan menggunakan Metode Hiley dengan Data Rata-Rata SPT:

1) Metode Hiley dengan Data Rata-Rata SPT

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Hiley} - \text{rata-rata SPT} \\ &= 208,64 - 193,93 \\ &= 14,71 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Hiley}} \times 100\% \\ &= \frac{14,71}{208,64} \times 100\% \\ &= 7\% \end{aligned}$$

2) Metode ENR dengan Data Rata-Rata SPT

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{ENR} - \text{rata-rata SPT} \\ &= 105,52 - 193,93 \\ &= -88,41 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{ENR}} \times 100\% \\ &= \frac{88,41}{105,52} \times 100\% \\ &= 84\% \end{aligned}$$

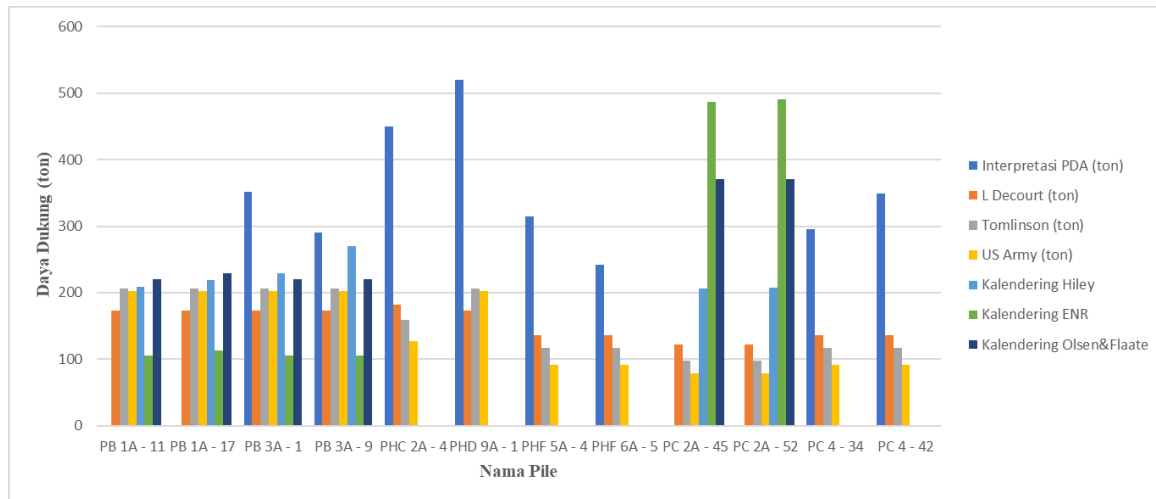
3) Metode Olsen&Flaate

$$\begin{aligned} \text{Selisih} &= \text{Olsen \& Flaate} - \text{rata-rata SPT} \\ &= 220,41 - 193,93 \\ &= 26,49 \text{ ton} \\ \text{Persentase} &= \frac{\text{Selisih}}{\text{Olsen \& Flaate}} \times 100\% \\ &= \frac{26,49}{220,41} \times 100\% \\ &= 12\% \end{aligned}$$

Tabel 11 Perhitungan Persentase Perbedaan Daya Dukung *Spun Pile* Data Kalendering dengan Data Rata-Rata SPT

Kode Pile	No. Titik	Metode	Qall Kalendering (ton)	Titik	Kedalaman yang digunakan	Rata-rata Qall SPT (ton)	Selisih	Persentase
PB-1a	11	Hiley	208,64	DB - 1	19,25	193,93	14,71	7%
		ENR	105,52		19,25	193,93	88,41	84%
		Olsen&Flaate	220,41		19,25	193,93	26,49	12%
	17	Hiley	218,57	DB - 1	19,25	193,93	24,64	11%
PB-3a	1	ENR	113,33		19,25	193,93	80,59	71%
		Olsen&Flaate	229,76		19,25	193,93	35,84	16%
	9	Hiley	229,50	DB - 1	19,25	193,93	35,57	15%
		ENR	105,52		19,25	193,93	88,41	84%
		Olsen&Flaate	220,41		19,25	193,93	26,49	12%
	45	Hiley	270,00	DB - 1	19,25	193,93	76,07	28%
		ENR	105,52		19,25	193,93	88,41	84%
		Olsen&Flaate	220,41		19,25	193,93	26,49	12%
PC-2a	45	Hiley	206,43	DB - 2	15,25	99,75	106,7	52%
		ENR	487,24		15,25	99,75	387,5	80%
		Olsen&Flaate	370,88		15,25	99,75	271,1	73%
	52	Hiley	207,63	DB - 2	15,25	99,75	107,9	52%
		ENR	490,09		15,25	99,75	390,3	80%
		Olsen&Flaate	370,88		15,25	99,75	271,1	73%

(Sumber: Hasil Perhitungan)



Gambar 14 Perbedaan Daya Dukung dengan Berbagai Data

(Sumber: Hasil Perhitungan)

Penelitian ini menggunakan beberapa *pile* pada proyek JLLB diantaranya adalah *pile* PB 1A – 11, PB 1A – 17, PB 3A – 1, PB 3A – 9, PHC 2A – 4, PHD 9A – 1, PHF 5A – 4, PHF 6A – 5, PC 2A – 45, PC 2A – 52, PC 4 – 34, dan PC 4 – 42. Perhitungan pengujian SPT pada penelitian ini dilakukan terhadap semua *pile*, sedangkan untuk perhitungan pengujian Kalendering tidak dilakukan terhadap semua *pile* dikarenakan adanya keterbatasan data. Perhitungan pengujian kalendering pada penelitian ini dilakukan pada *pile* PB 1A – 11, PB 1A – 17, PB 3A – 1, PB 3A – 9, PC 2A – 45, dan PC 2A – 52. Pengujian PDA pada proyek JLLB ini dilakukan pada *pile* PB 3A – 1, PB 3A – 9, PHC 2A – 4, PHD 9A – 1, PHF 5A – 4, PHF 6A – 5, PC 4 – 34, dan PC 4 – 42.

Berdasarkan hasil perhitungan perbedaan selisih data interpretasi nilai PDA dengan data SPT yang menggunakan metode Luciano Decourt, Tomlinson, dan US Army dapat diketahui persentase terkecil perbedaan rata-rata yaitu pada metode Luciano Decourt. Sedangkan hasil perhitungan persentase yang didapatkan dari perbedaan daya dukung *spun pile* dengan menggunakan data kalendering dan data PDA, dapat diketahui bahwa perhitungan data kalendering yang lebih akurat menggunakan Metode Hiley dikarenakan hasil persentase perbedaan yang didapatkan lebih kecil dibandingkan dengan menggunakan metode lain. Berdasarkan hasil perhitungan persentase perbedaan dari rata-rata data SPT dengan data kalendering yang menggunakan metode Hiley, ENR, dan Olsen & Flaate dapat diketahui bahwa perhitungan data kalendering dengan menggunakan metode Hiley memiliki persentase perbedaan terkecil jika dibandingkan dengan perhitungan data kalendering menggunakan metode ENR dan Olsen & Flaate. Hal ini menunjukkan bahwa hasil perhitungan daya dukung *spun pile* menggunakan metode Hiley memiliki hasil yang

paling mendekati dengan hasil perhitungan daya dukung *spun pile* dari data SPT.

Pengujian SPT merupakan pengujian penetrasi standar paling sering digunakan untuk mengukur kepadatan relatif tanah-tanah granular (Dunn, dkk, 1980). SPT awalnya dikembangkan untuk meneliti status deposit tanah yang tidak kohesif untuk instalasi tiang, namun pada saat ini banyak dipakai untuk deposit tanah kohesif maupun tanah tidak kohesif pada eksplorasi rutin untuk semua jenis pondasi (Bowles, 1986). Sehingga, untuk menentukan daya dukung *spun pile* dapat menggunakan pengujian SPT pada proyek JLLB ini yang memiliki kondisi tanah kohesif.

Rumus pancang pada tanah-tanah yang plastis, seperti lempung lunak atau lanau halus, hubungan antara tahanan tiang sementara (sewaktu proses pemancangan) dan tahanan tiang permanen akibat beban yang diterapkan tidak menentu. Pada tanah-tanah ini, tahanan gesek tiang selama proses pemancangan sangat lebih kecil dibandingkan dengan tahanan gesek sesudah waktu yang lama. Namun, tahanan tiang terhadap pukulan dinamik jauh lebih besar daripada tahanan beban statis yang diterapkan pada periode waktu yang lama. Hal ini dapat mengakibatkan kesalahan dalam menggunakan rumus pancang tiang pada tanah-tanah yang bersifat plastis. Rumus pancang tidak diterapkan pada tiang dalam tanah kohesif dan lebih tepat untuk tiang pada tanah granuler (Hardiyatmo, 2015). Semua formula pemancangan tiang pancang dinamik menggunakan berbagai asumsi. Asumsi-asumsi tersebut biasanya mencerminkan pengalaman pribadi pengarang atau usaha-usaha untuk menyederhanakan persamaan untuk kegunaan praktis. Karena tafsiran pengalaman pemakai sangat subjektif serta dipasangkan dengan variabilitas kondisi-kondisi tanah dan palu, maka formula dinamik tidak mempunyai korelasi yang sangat baik dengan lapangan khususnya bila

digunakan oleh orang-orang lain dalam kawasan geografis yang berbeda atau untuk perbandingan statistik (Bowles, 1993).

Pengujian PDA dan kalendering merupakan pengujian dinamis dengan pengujian tiang di lapangan, sedangkan SPT merupakan pengujian dinamis dengan memasukkan alat ke dalam tanah untuk menyelidiki tanah secara langsung. Oleh karena, itu sangat penting untuk melakukan perbandingan perhitungan daya dukung *spun pile* tidak hanya dari pengujian dinamis. Perlu untuk dilakukan perhitungan daya dukung *spun pile* dari pengujian statis. Hasil dari perhitungan daya dukung pengujian statis tersebut kemudian dibandingkan dengan hasil perhitungan daya dukung pengujian dinamis untuk mengetahui daya dukung *spun pile* yang lebih akurat.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil perhitungan dan analisis yang sudah dilakukan pada bab sebelumnya dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Perbandingan hasil daya dukung *spun pile* data interpretasi nilai PDA dengan SPT yang paling mendekati adalah dengan menggunakan data SPT metode Luciano Decourt.
2. Perbandingan hasil daya dukung *spun pile* data interpretasi nilai PDA dengan Kalendering yang paling mendekati adalah dengan menggunakan data Kalendering metode Hiley.
3. Perbandingan hasil daya dukung *spun pile* data rata-rata SPT dari berbagai metode dengan data Kalendering yang paling mendekati adalah dengan menggunakan data Kalendering metode Hiley.
4. Perhitungan daya dukung *spun pile* secara dinamik seperti pengujian SPT, PDA, dan kalendering dapat dijadikan acuan dalam menentukan daya dukung. Namun, sangat diperlukan untuk dilakukan perhitungan secara statis terutama CPT (*Cone Penetration Test*) sebagai pertimbangan.

Metode Luciano Decourt dengan menggunakan data SPT dan Metode Hiley dengan menggunakan data kalendering dapat disarankan untuk mendesain perencanaan daya dukung *spun pile* pada tanah lempung serta hasil test PDA dapat digunakan sebagai evaluasi terhadap daya dukung rencana.

DAFTAR PUSTAKA

Bowles, Joseph E. 1986. *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah Edisi 2*. Terjemahan oleh Johan K. Hainim. Jakarta: Erlangga.

Bowles, Joseph E. 1993. *Analisis dan Desain Pondasi Edisi 4 Jilid 2*. Terjemahan oleh Pantur Silaban. Jakarta: Erlangga.

Wahyudi, Herman. 1999. *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: ITS.

Salgado, Rodrigo. 2008. *The Engineering of Foundation..* Jakarta: McGraw-Hill.

Hardiyatmo, H. Christady. 2014. *Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi 3*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. Christady. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 3*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Hardiyatmo, H. Christady. 2020. *Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 5*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

Afriyanto, Arif. 2017. “Analisa Perbandingan Perencanaan Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Berbagai Macam Metode Pada Proyek Apartemen The Frontage Surabaya”. Skripsi. Surabaya: Institut Teknologi Sepuluh Nopember.

Maksum, Z. T. Helmy. 2016. “Analisa Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Diameter 50 cm Pada Proyek Bangunan Koleza 9 Residence, PT, Wilmar, Percut Sei Tuan-Medan”. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Sibarani, Tonny. 2018. “Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Diameter 60 cm Dengan Perhitungan Analitis dan Metode Elemen Hingga Pada Bore Hole I (Overpass Sei Semayang Jalan Tol Medan – Binjai)”. Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Pratama, Y. Aditya. 2019. “Analisa Perbandingan Kapasitas Daya Dukung Pondasi Bore Pile Dengan Menggunakan Metode Empiris Dan Dinamik Pada Proyek Jalan Tol Pandaan-Malang”. Skripsi. Jember: Universitas Negeri Jember.

Prasetyo, Wahyu. 2019. “Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Kelompok Pada Pembangunan Jembatan Ogan Jalan Tol Kayu Agung – Palembang – Betung Pier 15 STA 38+020”. Skripsi. Palembang: Universitas Muhammadiyah Palembang.

Savira, Nadya. 2020. “Analisa Daya Dukung Tiang Pancang Data Laboratorium Dibandingkan Dengan Data Sondir Dan Data Standart Penetration Test (SPT) Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Krian-Legundi-Bunder-Manyar (KLBK)”. Skripsi. Surabaya: Universitas Negeri Surabaya.

Suhadi. 2020. “Analisa Daya Dukung Tiang Pondasi *Boredpile* Metode *Pile Driving Analysis*”. Skripsi. Jakarta: Universitas Mercu Buana.

Santoso, H. Teguh. 2020. *Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji SPT Dan Pengujian Dinamis*. Jurnal. Semarang: Universitas Negeri Semarang.

- Rani, C. Rizka. 2020. "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Bore Hole 3 Secara Analitis dan Numeris (Proyek Pembangunan Bendung D.I. Serdang). Skripsi. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Irfansyah, R. Dwi. 2021. "Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Menggunakan Data SPT Dan CPT". Skripsi. Jakarta: Politeknik Negeri Jakarta.

