
STUDI KOMPARASI KAPASITAS DAYA DUKUNG TIANG PANCANG SECARA ANALITIS TERHADAP HASIL UJI KALENDERING DAN *PILE DRIVING ANALYZER* STUDI KASUS STRUKTUR *SLAB ON PILE* PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL SEMARANG – DEMAK PAKET 2

Aldila Winda Merytsa¹⁾, Imas Istiari²⁾

Hartopo³⁾, Totok Apriyanto⁴⁾

Prodi Sipil Fakultas Teknik Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman Guppi

E-mail: merytsawinda98@gmail.com¹⁾, istiariimas@gmail.com²⁾,

hartopo@yahoo.com³⁾, apri.totok@gmail.com⁴⁾

ABSTRACT

Semarang–Demak toll road construction with length ± 27 km, built for reduce traffic jam in Semarang. Geometry of road passed area with very soft soil conditions or swamp land. This soil is known have very low power support. For resolve problem, slab on pile is used. Slab on pile consist of slab, pile head and pile foundation. Capacity of piles analized with several methods such as Meyerhof method, Luciano Decourt method and Schmertman method. Meanwhile, in calendaring test Hilley method is used. The main objective of this study was to searching for comparison score power support ultimate single pile foundation by analytical with calendaring data and PDA. Based on results, power support ultimate pile single on 44 m depth with method Mayerhof obtained 149.72 tons, for Luciano Decourt's method 210.0451 tons and Schmertman method 185,888 tons. Based on calculation calendaring method Hilley 145,0251 tons and PDA obtained 148.73 tons.

Keywords: *Comparation, Power Support, Pile, Calendaring and PDA*

ABSTRAK

Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak dengan panjang ± 27 km, dibangun untuk mengurangi kemacetan di Semarang. Pembangunan jalan ini melewati daerah dengan kondisi tanah yang sangat lunak/tanah rawa, dimana jenis tanah ini diketahui memiliki daya dukung yang sangat rendah. Untuk mengatasi masalah tersebut, struktur jalan menggunakan struktur Slab on Pile. Struktur Slab on Pile terdiri dari slab, pile head dan pondasi tiang pancang. Tujuan Penelitian ini antara lain menganalisis daya dukung aksial tiang pancang dengan data SPT, dan berdasarkan data kalendering serta membandingkan nilai daya dukung tiang secara analitis terhadap uji kalendering dan PDA. Dalam menganalisis kapasitas daya dukung tiang pancang secara analitis pada penelitian ini menggunakan beberapa metode seperti metode Meyerhof, metode Luciano Decourt dan metode Schmertman. Sedangkan pada pengujian kalendering menggunakan metode Hilley. Pada Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak dicari perbandingan nilai daya dukung ultimit pondasi tiang pancang tunggal secara analitis dengan data Kalendering dan PDA. Berdasarkan hasil perhitungan data SPT nilai daya dukung ultimit tiang tunggal pada kedalaman 44 m dengan metode Mayerhof diperoleh 149,72 ton, untuk metode Luciano Decourt 210,0451 ton, metode Schmertman 185,888 ton berdasarkan perhitungan Kalendering metode Hilley 145,0251 ton dan PDA diperoleh 148,73 ton.

Kata Kunci: *Komparasi, Daya Dukung, Tiang Pancang, Kalendering dan PDA*

PENDAHULUAN

Pesatnya pertumbuhan ekonomi di wilayah kota Semarang yang ditandai

dengan semakin berkembangnya industri, pemukiman, meningkatnya kebutuhan kelancaran transportasi jalan utama (*primer*) dari

sentra bahan baku dan industri ke daerah pemasaran dan ini berakibat antara lain:

- a. Tidak tertera dan terarahnya pengaturan lokasi industri.
- b. Banjir yang disebabkan perubahan tata guna lahan.
- c. Meningkatnya volume lalu lintas dan bercampurnya lalu lintas lokal dan regional.

Rencana Jalan Tol Semarang–Demak yang terintegrasi dengan Tanggul Laut Kota Semarang diharapkan menjadi salah satu alternatif strategi untuk menanggulangi banjir rob serta mengatasi kemacetan akibat menumpuknya volume kendaraan di Jalan raya Semarang–Demak.

Proyek Jalan Tol Semarang–Demak ini meneruskan pembangunan Jalan Tol Semarang Seksi C mulai dari Kaligawe sampai dengan Demak. Terdapat tiga jenis pekerjaan dalam pembangunan Proyek tol Semarang–Demak Paket 2 yaitu pekerjaan SOP (*Slab on Pile*), pekerjaan Timbunan (*PVD & Preloading*) dan pekerjaan Jembatan. Struktur SOP (*Slab on Pile*) ini digunakan pada daerah yang memiliki karakteristik tanah yang kurang baik sehingga jika digunakan tanah timbunan akan menimbulkan kerusakan, apabila tanpa dilakukan *Soil Improvement*. Pekerjaan struktur SOP terdiri dari pekerjaan Tiang Pancang, *slab* dan *Pile Head*.

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Menganalisis daya dukung axial tiang pancang (*spun pile*) D600 dengan Metode *Meyerhof*, Metode *Luciano Decourt* dan Metode *Schmertmann* berdasarkan data nilai N–SPT.
2. Menganalisis daya dukung atau kekuatan tiang pancang berdasarkan data Kalendering metode Hilley dan PDA Test.
3. Membandingkan nilai daya dukung pondasi tiang pancang secara analitis terhadap uji Kalendering dan PDA.

Sedangkan manfaat penelitian ini antara lain:

1. Sebagai salah satu referensi bagi pembaca, khususnya untuk mahasiswa yang menghadapi masalah yang sama.
2. Perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang ini diharapkan dapat menambah pengetahuan dibidang geoteknik/struktur, yang sesuai dengan SNI Geoteknik 2017.
3. Mendapatkan daya dukung aksial tiang, dan keutuhan atau integritas tiang.
4. Sebagai perbandingan daya dukung pondasi tiang yang dihitung secara analitis dengan data Kalendering dan *Pile Driving Analyzer* (PDA).

LANDASAN TEORI

Pondasi

Secara umum, pondasi adalah bagian terendah dari bangunan yang meneruskan beban bangunan ke tanah atau batuan yang ada dibawahnya [1]. Secara umum, pondasi adalah suatu struktur yang terletak dipermukaan atau

didalam lapisan tanah, yang berfungsi sebagai landasan dan juga untuk menyalurkan beban-beban yang berasal dari struktur atas *upper (super) structure* kedalam tanah [2]. Oleh karena itu, pondasi bangunan harus diperhitungkan untuk menentukan tipe pondasi yang sesuai untuk menjamin kestabilan bangunan terhadap berat sendiri, beban-beban yang bekerja, gaya-gaya luar seperti tekanan angin, gempa bumi dan lain-lain. Disamping itu, tidak boleh terjadi penurunan yang melebihi batas yang diijinkan.

Pondasi Tiang Pancang

Pondasi tiang pancang (*pile foundation*) adalah bagian dari struktur yang digunakan untuk menerima dan menyalurkan beban dari struktur atas ke tanah yang memiliki daya dukung pada kedalaman tertentu. Pemakaian tiang pancang dipergunakan untuk suatu pondasi suatu bangunan apabila tanah dasar di bawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung (*bearing capacity*) yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mana mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya terletak sangat dalam[3].

Spun pile adalah tiang pancang berbentuk bulat dan berongga pada bagian tengah. Metode pembuatan *spun pile* adalah

memanfaatkan gaya *sentrifugal* untuk proses pemadatan beton, yaitu dengan cara diputar (*spinning*). *Spun pile* terdiri dari tiga bagian yaitu *Upper* (atas), *Middle* (tengah), dan *Bottom* (bawah). Kelebihan dari *spun pile* adalah kekuatan dan kualitas tinggi, lebih tahan lama, ekonomis, *easy handling*, dan lebih ringan.

Slab on Pile

Slab on Pile secara umum adalah suatu struktur berupa penggabungan antara *slab* beton dengan tiang pancang yang dibangun diatas tanah dengan jarak antara tiang pancang satu dengan tiang yang lainnya cukup berdekatan. Struktur pada *Slab on Pile* terdiri dari *slab* (pelat), *pile head* dan tiang pancang. Konsep perencanaan struktur pondasi harus tahan terhadap gempa, sehingga diharapkan struktur tidak mengalami kegagalan.

Struktur *Slab on Pile* terbagi menjadi dua secara letaknya, yaitu struktur bawah dan struktur atas. Struktur bawah dari *Slab on Pile* berfungsi untuk menopang beban hidup dan beban mati pada struktur, adapun struktur atas berguna untuk menerima beban secara langsung kemudian disalurkan ke struktur bawah.

Dikareakan kondisi *eksisting* di daerah Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak STA 10+690 s/d STA 27+000 yang panjangnya sekitar 16,31 km didominasi oleh sawah dan rawa. Dimana jenis tanah ini diketahui memiliki daya dukung yang sangat rendah dan *finish grade* yang terlalu tinggi tidak dapat diakomodir oleh penggunaan timbunan dengan *treatment* perbaikan tanah *PVD Preloading*.

Oleh karena itu Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang-Demak STA 10+690 s/d STA 27+000 menggunakan struktur *Slab on pile* dengan pondasi atas penopang struktur dipilih menggunakan *spun pile precast* pada beberapa lokasi *mainroad* yang tidak memungkinkan untuk digunakan timbunan.

Penyelidikan Lapangan dengan Standar Penetration Test (SPT)

Menurut SNI 4153:2008, *Standard Penetration Test* [4] atau SPT suatu metode uji yang dilaksanakan bersamaan dengan pengeboran untuk mengetahui baik perlawanan dinamik tanah maupun pengambilan contoh terganggu dengan teknik penumbukan. Uji SPT terdiri atas uji pemukulan tabung belah dinding tebal ke dalam tanah, disertai pengukuran jumlah pukulan untuk memasukkan tabung belah. Pengujian SPT bertujuan untuk menentukan kepadatan relatif dan sudut geser lapisan tanah tersebut dari pengambilan contoh tanah menggunakan tabung, jenis tanah dan ketebalan dari setiap lapisan tanah tersebut dapat diketahui, untuk memperoleh data yang kumulatif pada perlawanan penetrasi tanah dan menetapkan kepadatan dari tanah yang tidak berkohesi.

Metode Mayerhof

Nilai N -SPT yang didapatkan dari

lapangan tidak dapat digunakan untuk perencanaan pondasi. Nilainya harus dikoreksi terlebih dahulu terhadap muka air tanah dan tegangan *overburden* yang terjadi.

Koreksi terhadap muka air tanah dilakukan khusus untuk tanah pasir halus pasir berlanau, dan pasir berlempung yang berada di bawah muka air tanah dan hanya bila $N > 15$:

$$N_1 = 15 + \frac{1}{2}(N - 15)$$

$$N_1 = 0.6N$$

Sedangkan untuk jenis tanah lempung, lanau dan pasir kasar serta tanah yang memiliki nilai $N \leq 15$ tidak ada koreksi. Jadi nilai $N_1 = N$.

Setelah dilakukan koreksi terhadap nilai N -SPT, maka selanjutnya dapat dilakukan perhitungan daya dukung tanah untuk tiang pancang menggunakan persamaan Meyerhof sebagai berikut:

Daya dukung ultimit untuk pasir dari Meyerhof terdiri dari gabungan antara term titik (*point*) dan term lekatan (*lateral friction*).

Persamaan dari Meyerhof

$$Q_L = Q_P + Q_S = 4 \cdot N \cdot \frac{\pi \cdot B \cdot D}{50} \cdot N_{av}$$

Kemudian dimodifikasi menjadi

$$Q_L = 40 \cdot N \cdot A_P + \left(\frac{A_S \cdot N_{av}}{5} \right)$$

Dimana:

$$Q_{ult} = Q_L / SF \text{ dengan } SF = 3$$

Metode Luciano Decourt

Rumus untuk daya dukung tanah maximum pada pondasi tiang pancang dengan metode ini sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$Q_{ult} = Q_L / SF \text{ dengan } SF = 3$$

Rumus *Resistance Ultimate* di Dasar Pondasi:

$$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K) \cdot A_p$$

Rumus *Resistance Ultimate* Akibat Lekatan Lateral:

$$Q_s = q_s \cdot A_s = \left(\frac{N_s}{3} + 1\right) \cdot A_s$$

Tabel 1. Nilai K

Jenis Tanah	Nilai K (t/m ²)	Nilai K (kPa)
Lempung Murni	12	117,7
Lanau Berlempung	20	196
Lanau Berpasir	25	245
Pasir	40	392
Lempung Berlanau	15	147,1
Lempung Berpasir	22	215,7
Pasir Berlempung	30	294,2
Pasir Berlanau	35	343,2

Sumber: Kartika Dewi, *Jurnal Perbandingan Analisa Daya Dukung Pondasi Bore Pile Universitas Pakuan* [5]

Metode Schmertman

Rumus untuk daya dukung tanah maximum pada pondasi tiang pancang dengan metode ini sebagai berikut:

$$Q_L = Q_p + Q_s$$

$$Q_{ult} = Q_L / SF \text{ dengan } SF = 3$$

Rumus *Resistance Ultimate* Di dasar pondasi:

$$Q_p = q_p \cdot A_p = (N_p \cdot K_{EB}) \cdot A_p$$

Rumus *Resistance Ultimate* akibat lekatan lateral:

$$Q_s = K_{SF} \cdot N_{-ever} \cdot A_s \cdot D_f$$

Tabel 2. Nilai–Nilai Desain yang Disarankan untuk *Side Friction* dan *End Bearing* dengan Korelasi Terhadap Nilai SPT

Jenis Tanah	Klasifikasi Tanah	Gesekan Selimut (kg/cm ²)	Tahanan Ujung (kg/cm ²)
Pasir bersih*	GW, GP, GM, SW, SP, SM	0,019 N	3,2 N
Lempung kelanauan bercampur pasir, pasir kelanauan, lanau	GC, SC, ML, CL	0,04 N**	1,6 N
Lempung plastis	CH, OH	0,05 N**	0,7 N
Batu gamping rapuh, pasir berkarang		0,01 N	3,6 N

* untuk N > 60, diambil N = 60
 ** dianjurkan direduksi untuk lempung kaku dan lempung kepasiran

Sumber: *Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret* ISSN: 2579-7999 Vol.4 No. 1 September 2020 [6]

Kalendering Test

Secara umum kalendering digunakan pada pemancangan tiang pancang (beton maupun pipa baja) untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Kalendering tes dalam proses pemancangan tiang pancang merupakan item wajib yang harus dilaksanakan dan menjadikan laporan untuk proyek. Sebelum dilaksanakan kalendering biasanya juga dilakukan *monitoring* pemukulan saat pemancangan yaitu untuk mengetahui jumlah pukulan tiap meter dan total sebagai salah satu bentuk data yang dilampirkan beserta

hitungan kalendering.

Dari hasil kalendering kemudian dilakukan penghitungan daya dukung tiang menggunakan metode Hilley [7] sebagai berikut:

$$R = \frac{1}{SF} \times \frac{ef \times 2 \times Wr \times H}{S + K} \times \frac{Wr + e^2 \times Wp}{Wr + Wp}$$

ef = Efisiensi *hammer*

1,0 untuk *disel hammer*

0,75 untuk *drop hammer*

E = Koefisien restitusi

0,4-0,5 untuk palu besi

0,3-0,4 untuk palu kayu

0,25-0,3 untuk tiang kayu

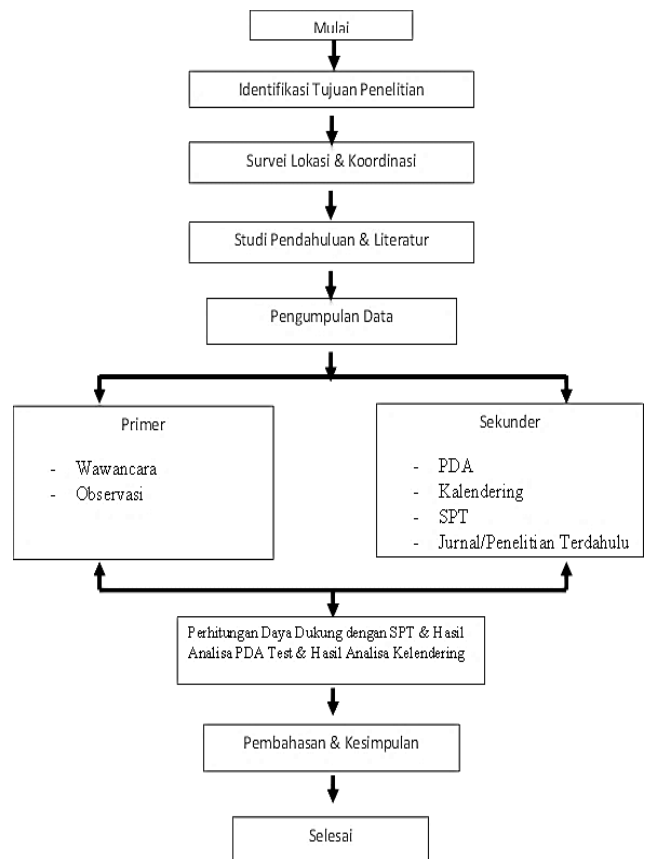
Pile Driving Analyzer (PDA) Test

PDA Test (*Pile Driving Analyzer Test*) merupakan sebuah pengujian dinamik menggunakan *method wave analysis* atau biasa disebut dengan *Restrike* test sesuai dengan karakteristik pengujian. Pengujian tersebut menggunakan pemukulan secara berulang-ulang pada pondasi tiang pancang yang sedang di uji yang bertujuan mengetahui kekuatan/daya dukung dari pondasi tersebut sudah sesuai dengan daya dukung rencana atau belum. Jumlah tiang pancang yang diuji antara 0,5–2 % dari seluruh jumlah tiang pancang.

Tiang pancang yang diuji harus memenuhi syarat/spesifikasi yaitu umur beton sudah mencapai mutu rencana (52

MPa), umur tiang ialah minimal 5 hari setelah pemancangan dilakukan, kepala tiang harus rata dan tidak ada besi tulangan yang terlihat dan masih memiliki ketinggian *free standing* yang mencukupi (> 1,5–2 D).

METODOLOGI PENELITIAN



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data SPT dengan Metode Meyerhof

Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang dari data SPT dengan menggunakan metode Meyerhof.

Tabel 3. Perhitungan Metode Meyerhof

KEDALAMAN (m)	N - SPT	N'	Jenis Tanah	Ap	Qp	As	Nav	Qs	QL	Quit
				$\pi \cdot B^2 / 4$	40 · N · Ap	$\pi \cdot B \cdot D$		(As·Nav)/5	Qp+Qs	QL/SF
0	0	0	-	-	-	-	-	-	-	-
2	6	6	Lempung	0,2826	67,824	3,768	6	4,5216	72,3456	24,1152
4	4	4	Lempung	0,2826	45,216	7,536	5,0	7,536	52,752	17,584
6	2	2	Lempung Lanauan	0,2826	22,608	11,304	4,0	9,0432	31,6512	10,5504
8	2	2	Lempung Lanauan	0,2826	22,608	15,072	3,5	10,5504	33,1584	11,0528
10	5	5	Lempung Lanauan	0,2826	56,52	18,84	3,8	14,3184	70,8384	23,6128
12	4	4	Lempung Lanauan	0,2826	45,216	22,608	3,8	17,3328	62,5488	20,8496
14	5	5	Lempung	0,2826	56,52	26,376	4,0	21,1008	77,6208	25,8736
16	6	6	Lempung	0,2826	67,824	30,144	4,3	25,6224	93,4464	31,1488
18	7	7	Lempung	0,2826	79,128	33,912	4,6	30,8976	110,0256	36,6752
20	8	8	Lempung	0,2826	90,432	37,68	4,9	36,9264	127,3584	42,4528
22	9	9	Lempung	0,2826	101,736	41,448	5,3	43,7088	145,4448	48,4816
24	11	11	Lempung Lanauan	0,2826	124,344	45,216	5,8	51,9984	176,3424	58,7808
26	12	12	Lempung Lanauan	0,2826	135,648	48,984	6,2	61,0416	196,6896	65,5632
28	14	14	Lempung Lanauan	0,2826	158,256	52,752	6,8	71,592	229,848	76,616
30	13	13	Lempung	0,2826	146,952	56,52	7,2	81,3888	228,3408	76,1136
32	15	15	Lempung	0,2826	169,56	60,288	7,7	92,6928	262,2528	87,4176
34	20	17,5	Lempung	0,2826	197,82	64,056	8,3	105,8808	303,7008	101,2336
36	18	16,5	Lempung	0,2826	186,516	67,824	8,7	118,3152	304,8312	101,6104
38	24	19,5	Lempung	0,2826	220,428	71,592	9,3	133,0104	353,4384	117,8128
40	26	20,5	Lempung Lanauan	0,2826	231,732	75,36	9,9	148,4592	380,1912	126,7304
42	31	23	Lempung Kerikilan	0,2826	259,992	79,128	10,5	165,792	425,784	141,928
44	32	23,5	Lempung Kerikilan	0,2826	265,644	82,896	11,1	183,5016	449,1456	149,7152
46	35	25	Lempung	0,2826	282,6	86,664	11,7	202,3416	484,9416	161,6472
48	39	27	Lempung	0,2826	305,208	90,432	12,3	222,6888	527,8968	175,9656
50	40	27,5	Lempung	0,2826	310,86	94,2	12,9	243,4128	554,2728	184,7576
52	31	23	Lempung Pasiran	0,2826	259,992	97,968	13,3	260,7456	520,7376	173,5792
54	33	24	Lempung Pasiran	0,2826	271,296	101,736	13,7	278,832	550,128	183,376
56	25	20	Lempung Lanauan	0,2826	226,08	105,504	13,9	293,904	519,984	173,328
58	35	25	Pasir	0,2826	282,6	109,272	14,3	312,744	595,344	198,448
60	41	28	Lempung	0,2826	316,512	113,04	14,8	333,8448	650,3568	216,7856
62	47	31	Lempung	0,2826	350,424	116,808	15,3	357,2064	707,6304	235,8768
64	50	32,5	Lempung	0,2826	367,38	120,576	15,8	381,6984	749,0784	249,6928
66	52	33,5	Lempung	0,2826	378,684	124,344	16,4	406,944	785,628	261,876
68	55	35	Lempung	0,2826	395,64	128,112	16,9	433,32	828,96	276,32
70	28	21,5	Lempung Pasiran	0,2826	243,036	131,88	17,0	449,5224	692,5584	230,8528

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data SPT dengan Metode Luciano Decourt

Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang dari data SPT dengan menggunakan metode Luciano Decourt. Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang dari data SPT dengan menggunakan metode Luciano Decourt.

Tabel 4. Perhitungan Metode Luciano Decourt

KEDALAMAN (m)	N - SPT	Np	Jenis Tanah	K	Ap	Qp	Ns	As	Qs	QL	Quit
				(t/m ²)	$\pi \cdot B^2 / 4$	(Np·K)·Ap	$\pi \cdot B \cdot D$	(Ns/3)·As	Qp+Qs	QL/SF	
0	0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6	3,333	Lempung	12	0,283	11,304	6	3,768	11,304	22,608	7,536
4	4	5,6	Lempung	12	0,283	18,991	6,56	7,536	24,015	43,005	14,335
6	2	2,667	Lempung Lanauan	15	0,283	11,304	4	11,304	26,376	37,680	12,560
8	2	3	Lempung Lanauan	15	0,283	12,717	3,5	15,072	32,656	45,373	15,124
10	5	3,667	Lempung Lanauan	15	0,283	15,543	3,8	18,840	42,704	58,247	19,416
12	4	4,667	Lempung Lanauan	15	0,283	19,782	3,833	22,608	51,496	71,278	23,759
14	5	5	Lempung	12	0,283	16,956	4	26,376	61,544	78,500	26,167
16	6	6	Lempung	12	0,283	20,347	4,25	30,144	72,848	93,195	31,065
18	7	7	Lempung	12	0,283	23,738	4,556	33,912	85,408	109,146	36,382
20	8	8	Lempung	12	0,283	27,130	4,9	37,680	99,224	126,354	42,118
22	9	9,333	Lempung	12	0,283	31,651	5,273	41,448	114,296	145,947	48,649
24	11	10,667	Lempung Lanauan	15	0,283	45,216	5,75	45,216	131,880	177,096	59,032
26	12	12,333	Lempung Lanauan	15	0,283	52,281	6,231	48,984	150,720	203,001	67,667
28	14	13	Lempung Lanauan	15	0,283	55,107	6,786	52,752	172,072	227,179	75,726
30	13	14	Lempung	12	0,283	47,477	7,2	56,520	192,168	239,645	79,882
32	15	16	Lempung	12	0,283	54,259	7,688	60,288	214,776	269,035	89,678
34	20	17,667	Lempung	12	0,283	59,911	8,412	64,056	243,664	303,575	101,192
36	18	20,667	Lempung	12	0,283	70,085	8,944	67,824	270,040	340,125	113,375
38	24	22,667	Lempung	12	0,283	76,867	9,737	71,592	303,952	380,819	126,940
40	26	27	Lempung Lanauan	15	0,283	114,453	10,55	75,360	340,376	454,829	151,610
42	31	29,667	Lempung Kerikilan	22	0,283	184,444	11,524	79,128	383,080	567,524	189,175
44	32	32,667	Lempung Kerikilan	22	0,283	203,095	12,455	82,896	427,040	630,135	210,045
46	35	35,333	Lempung	12	0,283	119,822	13,435	86,664	474,768	594,590	198,197
48	39	38	Lempung	12	0,283	128,866	14,5	90,432	527,520	656,386	218,795
50	40	36,667	Lempung	12	0,283	124,344	15,52	94,200	581,528	705,872	235,291
52	31	34,667	Lempung Pasiran	22	0,283	215,530	16,115	97,968	624,232	839,762	279,921
54	33	29,667	Lempung Pasiran	22	0,283	184,444	16,741	101,736	669,448	853,892	284,631
56	25	31	Lempung Lanauan	12	0,283	105,127	17,036	105,504	704,616	809,743	269,914
58	35	33,667	Pasir	40	0,283	380,568	17,655	109,272	752,344	1132,912	377,637
60	41	41	Lempung	12	0,283	139,039	18,433	113,040	807,608	946,647	315,549
62	47	46	Lempung	12	0,283	155,995	19,355	116,808	870,408	1026,403	342,134
64	50	49,667	Lempung	12	0,283	168,430	20,313	120,576	936,976	1105,406	368,469
66	52	52,333	Lempung	12	0,283	177,473	21,273	124,344	1006,056	1183,529	394,510
68	55	45	Lempung	12	0,283	152,604	22,265	128,112	1078,904	1231,508	410,503
70	28	41,5	Lempung Pasiran	22	0,283	258,014	22,429	131,880	1117,840	1375,854	458,618

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data SPT dengan Metode Schmertman

Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang dari data SPT dengan menggunakan metode Schmertman. Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang

dari data SPT dengan menggunakan metode Schmertman.

Tabel 5. Perhitungan Metode Schmertman

Kedalaman (m)	N-SPT	Jenis Tanah	Keb	Ksf	N-ever	Ap	Qp	QS	QL	Qult
			kg/cm2	kg/cm2			(Np*Keb)*Ap	Ksf*N-ever*As*df	Qp+Qs	QL/SF
0	0	-	0	0	0	0	0	0	0	0
2	6	Lempung	0,7	0,05	6	0,2826	11,869	11,304	23,173	7,724
4	4	Lempung	0,7	0,05	5	0,2826	7,913	18,840	26,753	8,918
6	2	Lempung Lanauan	1,6	0,04	4	0,2826	9,043	18,086	27,130	9,043
8	2	Lempung Lanauan	1,6	0,04	3,5	0,2826	9,043	21,101	30,144	10,048
10	5	Lempung Lanauan	1,6	0,04	3,8	0,2826	22,608	28,637	51,245	17,082
12	4	Lempung Lanauan	1,6	0,04	3,833	0,2826	18,086	34,666	52,752	17,584
14	5	Lempung	0,7	0,05	4	0,2826	9,891	52,752	62,643	20,881
16	6	Lempung	0,7	0,05	4,25	0,2826	11,869	64,056	75,925	25,308
18	7	Lempung	0,7	0,05	4,556	0,2826	13,847	77,244	91,091	30,364
20	8	Lempung	0,7	0,05	4,9	0,2826	15,826	92,316	108,142	36,047
22	9	Lempung	1,6	0,05	5,273	0,2826	40,694	109,272	149,966	49,989
24	11	Lempung Lanauan	1,6	0,04	5,75	0,2826	49,738	103,997	153,734	51,245
26	12	Lempung Lanauan	1,6	0,04	6,231	0,2826	54,259	122,083	176,342	58,781
28	14	Lempung Lanauan	1,6	0,04	6,786	0,2826	63,302	143,184	206,486	68,829
30	13	Lempung	0,7	0,05	7,2	0,2826	25,717	203,472	229,189	76,396
32	15	Lempung	0,7	0,05	7,688	0,2826	29,673	231,732	261,405	87,135
34	20	Lempung	0,7	0,05	8,412	0,2826	39,564	269,412	308,976	102,992
36	18	Lempung	0,7	0,05	8,944	0,2826	35,608	303,324	338,932	112,977
38	24	Lempung	0,7	0,05	9,737	0,2826	47,477	348,540	396,017	132,006
40	26	Lempung Lanauan	1,6	0,04	10,55	0,2826	117,562	318,019	435,581	145,194
42	31	Lempung Kerikilan	1,6	0,04	11,524	0,2826	140,170	364,742	504,912	168,304
44	32	Lempung Kerikilan	1,6	0,04	12,455	0,2826	144,691	412,973	557,664	185,888
46	35	Lempung	0,7	0,05	13,435	0,2826	69,237	582,156	651,393	217,131
48	39	Lempung	0,7	0,05	14,5	0,2826	77,150	655,632	732,782	244,261
50	40	Lempung	0,7	0,05	15,52	0,2826	79,128	730,992	810,120	270,040
52	31	Lempung Pasiran	1,6	0,04	16,115	0,2826	140,170	631,517	771,686	257,229
54	33	Lempung Pasiran	1,6	0,04	16,741	0,2826	149,213	681,254	830,467	276,822
56	25	Lempung Lanauan	0,7	0,05	17,036	0,2826	49,455	898,668	948,123	316,041
58	35	Pasir	3,2	0,019	17,655	0,2826	316,512	366,551	683,063	227,688
60	41	Lempung	0,7	0,05	18,433	0,2826	81,106	1041,852	1122,958	374,319
62	47	Lempung	0,7	0,05	19,355	0,2826	92,975	1130,400	1223,375	407,792
64	50	Lempung	0,7	0,05	20,313	0,2826	98,910	1224,600	1323,510	441,170
66	52	Lempung	0,7	0,05	21,273	0,2826	102,866	1322,568	1425,434	475,145
68	55	Lempung	0,7	0,05	22,265	0,2826	108,801	1426,188	1534,989	511,663
70	28	Lempung Pasiran	1,6	0,04	22,429	0,2826	126,605	1183,152	1309,757	436,586

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data Kalendering dengan Metode Hilley

Perhitungan kapasitas daya dukung aksial pada tiang pancang dari data Kalendering dengan menggunakan metode Hilley. Dari hasil kalendering terdapat beberapa data yang diketahui:

Nomor tiang = 13E

Susunan tiang pancang = 4 buah

1 Upper (15 m), 2 Middle (12 m),

1 Bottom (14 m)

Kedalaman tiang = 44 m

Nilai Final Set (SF) = 16,1cm/10 blow

Tinggi jatuh Hammer (H) = 250 cm

Nilai Ribbon (K) = 1,6 cm

Efisiensi hammer (ef) = 1,0

Koefisien Restitusi (E) = 0,5

Berat hammer (Wr) = 6,5 Ton

Unit Wight = 0,393 (t/m)

Tanggal kalendering = 06 juni 2020

Dari hasil kalendering diatas kemudian dilakukan perhitungan daya dukung tiang menggunakan metode Hilley sebagai berikut:

$$R = \frac{1}{SF} \times \frac{ef \times 2 \times Wr \times H}{S + K} \times \frac{Wr + e^2 \times Wp}{Wr + Wp}$$

$$Wp = Panjang Tiang \times Unit Wight$$

$$Wp = (15 + (2 \times 12) + 14) \times 0,393$$

$$Wp = 53 m \times 0,393 t/m$$

$$Wp = 20,829 \text{ Ton}$$

Maka:

$$R = \frac{1}{3} \times \frac{1 \times 2 \times 6,5 \times 250}{1,6 + 1,6} \times \frac{6,5 + 0,5^2 \times 20,829}{6,5 + 20,829}$$

$$R = \frac{1}{3} \times \frac{3250}{3,2} \times \frac{11,70725}{27,329}$$

$$R = 0,33 \times 1015,625 \times 0,42838$$

$$R = 145,0251 \text{ Ton}$$

Perhitungan Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Berdasarkan Data PDA

Pelaksanaan PDA tes dilakukan pada tiang yang sebelumnya digunakan untuk test pile. Perhitungan kapasitas daya dukung aksial tiang pancang yang telah didapat dari uji Pile Driving Analyzer atau (PDA) pada pembacaan layar saat pelaksanaan dilapangan oleh PT. Karya Putra

Pertiwi pada tanggal 3 Mei 2020 saat usia pemancangan 21 hari setelah tiang tertanam didapatkan hasil *Resistance Maximum* (RMX) sebesar 334,10 Ton, dan nilai BTA atau keutuhan tiang sebesar 100,0% pada kedalaman 44 m.

Daya dukung tiang pancang dapat dilihat pada nilai RMX sebesar 334,10 Ton yang apabila dibagi dengan *safety factor* (SF) sebesar 2.25 menjadi 148,489 Ton dan keutuhan tiang sebesar 100,0% dari hasil tersebut tiang dapat dikatakan tiang yang tertanam dalam kondisi utuh dan aman.

PENUTUP

Dari perhitungan secara analisis dan dari hasil PDA tes didapat hasil sebagai berikut:

Tabel 6. Hasil Perhitungan Daya Dukung Axial Tiang Pancang

Metode	Daya dukung
Meyerhof	149,72 Ton
Luciano Decourt	210,0451 Ton
Schmertman	185,888 Ton
<i>Pile Driving Analyzer</i> (PDA)	148,489 Ton
Kalendering	145,0251 Ton

Dari pengujian tersebut didapatkan kuat dukung ultimit qult dari formula Meyerhof menunjukkan presentase kemiripan yang paling mendekati terhadap kuat dukung ultimit dari pengujian dinamis yaitu sebesar 99,1778% terhadap PDA tes dan sebesar

96,864% terhadap tes Kalendering.

Berdasarkan pengujian didapatkan bahwa perbedaan nilai kuat daya dukung dari formula Luciano Decourt dan Schmertman cukup signifikan. Hal ini dikarenakan pada kedua formula dipengaruhi nilai koefisien tanah (k) yang didasarkan pada sifat-sifat tanah asli.

Pada tabel diatas dapat dilihat bahwa nilai kapasitas daya dukung tiang pancang dari pengujian secara dinamis didapatkan hasil yang lebih kecil dibandingkan dengan hasil perhitungan secara analitis, hal ini dikarenakan tiang yang diuji merupakan tiang dalam kelompok tiang sedangkan pada perhitungan analitis tiang yang dihitung adalah tiang tunggal. Untuk tiang yang dipancang pada lapisan tanah yang lunak maka kapasitas kelompok tiang dimungkinkan lebih rendah dari jumlah kapasitas masing-masing tiang. Hal ini dikarenakan adanya nilai efisiensi pada kelompok tiang yang disebabkan oleh mekanisme gelembung tekanan [8].

DAFTAR PUSTAKA

[1] Hardiyatmo, H. C. (2014). *Analisis dan Perancangan Fondasi I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.

[2] Herman, W. (2012). *Daya Dukung Pondasi Dalam*. Surabaya: Jurusan Teknik Sipil (FTSPITS).

[3] Sardjono.H.S. 1984. *Pondasi Tiang Pancang Jilid 2*. Sinar Wijaya: Surabaya.

[4] SNI 4153:2008, *Uji Penetrasi Lapangan SPT*

- [5] Kartika, D., dan Hikmad, L., (2020).
Jurnal Perbandingan Analisa Daya Dukung Pondasi Bore Pile Menggunakan Metode, Luciano Decourt & Software Plaxis dengan PDA Test Universitas Pakuan.
- [6] ISSN: 2579-7999 Vol 4 2020. Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret: Solo.
- [7] Saptorini, Takdir Rochjati. 2015. Jurnal Teknik Sipil dan Perencanaan No. 1 Vol 17 ***Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Terhadap Hasil Uji Calendering*** UNDARIS: Ungaran.
- [8] Chellis, R. D (1961), ***Pile Foundation***, McGraw Hill Book Company, New York.