

INFRASTRUKTUR

RASIO HUBUNGAN NILAI DAYA DUKUNG TIANG PANCANG BERDASARKAN PENGUJIAN SONDIR, KALENDERING DAN TES PDA PADA JEMBATAN PELAWA KABUPATEN PARIGI MOUTONG

Ratio of Pile Bearing Capacity Based On CPT, Calendering and PDA Tests of Pelawa Bridge in Parigi Moutong District

Muhammad Gunawan,

Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : muhammadgunawan111@gmail.com

Ida Sri Oktaviana, Arifin B.

Jurusan Teknik Sipil Universitas Tadulako-Jalan Soekarno Hatta Km. 8 Palu 94118

Email : idaokt@gmail.com, arifinc132230548@yahoo.com

ABSTRACT

Bearing capacity of pile foundation bearing capacity is influenced by several factors, such as the amount of applied loads and non-homogeneous soil characteristics. To determine the bearing capacity of single pile foundation the static method is used on the basis of CPT data and dynamic methods based on dynamic pile and PDA tests. Pile foundations of the Pelawa bridge used in this study are located in the District of Parigi - Moutong. The study of literatures and secondary data such as the data of driven pile equipment, driven piles , CPT, dynamic pile tests, and PDA tests are used for analyzing the pile bearing capacity . Meyerhof method, Aoki de Alencar, LCPC, Price and Waldre, and Schmertmann are used to determine the bearing capacity of pile based on sondir (CPT) data. The dynamic pile tests data are used to calculate the bearing capacity of the piles by using methods of Hiley, Olsen and Flaate , Enginering News Record (ENR) , Janbu Mansur and Hunter , and AASHTO . The results show that the lowest dan the highest of the ultimate bearing capacities for static methods (CPT data) are 114.096 tons (Aoki De Alencar) and 305.479 tons (Schmertmann) respectively. Kalendering method (dynamic pile data) show that the lowest value of 284.22 tons were obtained from equation given by Hiley and the highest 1450.26 tons were obtained from equation given by Janbu. The range of 171.2 tons - 174.5 tons were given for PDA test data. The ratio between CPT to PDAs results that are closest to the value of 1 which is 0.938 is the value that obtained from Meyerhof's equation, while the ratio between dynamic method (kalendering) to PDAs results that are closest to the value of 1 which is 1,660 is the value that obtained from Hiley equation

Keywords: single pile bearing capacity, CPT, dynamic pile test, PDA test

ABSTRAK

Daya dukung pondasi tiang pancang dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain, besar beban yang dipikul dan karakteristik tanah yang tidak homogen. Untuk menentukan daya dukung pondasi tiang pancang tunggal digunakan metode statis yang didasarkan pada data sondir dan metode dinamis melalui uji kalendering dan uji PDA. Pondasi tiang pancang yang digunakan dalam penelitian ini berlokasi di Kabupaten Parigi-Moutong tepatnya pada jembatan Pelawa. Studi literatur dan data sekunder seperti data alat pancang, tiang pancang, sondir, kalendering, dan tes PDA digunakan untuk menganalisis daya dukung tiang. Metode Mayerhof, Aoki de Alencar, LCPC, Price dan Waldre, dan Schmertmann digunakan untuk menentukan kapasitas daya dukung tiang berdasarkan data sondir. Data kalendering digunakan untuk menghitung kapasitas tiang dengan rumus Hiley, Olsen dan Flaate, Enginering News Record (ENR), Janbu Mansur dan Hunter, serta AASHTO. Hasil analisis memperlihatkan daya dukung batas dari yang terendah dan tertinggi untuk metode statis (data sondir) adalah 114,096 ton (Aoki De Alencar) dan 305,479 ton (Schmertmann). Untuk metode kalendering (dinamis) nilai terendah 284,22 ton diperoleh dari rumus yang diberikan oleh Hiley dan nilai tertinggi 1450,26 ton diperoleh dari persamaan yang diberikan oleh Janbu. Data uji PDA memberikan nilai daya dukung sebesar 171,2 ton – 174,5 ton. Nilai rasio antara uji sondir dan uji PDA yang paling dekat dengan nilai 1 adalah metode Meyerhof dengan nilai rasio 0.938 sedangkan untuk uji kalendering yang terdekat dengan nilai 1 adalah rasio daya dukung antara metode Hiley dan uji PDA yaitu sebesar 1,660.

Kata Kunci : daya dukung pondasi tiang pancang tunggal, sondir, kalendering, dan PDA

PENDAHULUAN

a. Latar Belakang

Pondasi tiang digunakan untuk mendukung suatu konstruksi yang memiliki lapisan tanah keras terletak sangat dalam. Pondasi tiang memiliki dua cara untuk mendukung beban yaitu tiang dukung ujung (end bearing pile) dan tiang gesek (friction pile). Tiang dukung ujung adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh tahanan ujung tiang. Umumnya, tiang dukung ujung berada dalam zona tanah yang lunak yang didasari tanah keras. Tiang-tiang dipancang sampai mencapai batuan dasar atau lapisan keras. Sedangkan tiang gesek adalah tiang yang kapasitas dukungnya lebih ditentukan oleh perlawanan gesek (Hardiyatmo, H.C, 2011).

Penyelidikan di lapangan untuk menentukan kapasitas dukung tiang sangat beragam dan masing-masing metode penyelidikan memiliki beberapa formula dalam menentukan kapasitas tiang. Hal ini tergantung parameter yang didapatkan oleh pengujian tersebut, jika pengujian tersebut dilakukan sebelum pelaksanaan konstruksi dan data yang didapatkannya adalah karakteristik tanah maka pengujian ini disebut pengujian statis (Hardiyatmo, H.C, 2011), sedangkan pengujian yang dilakukan pada saat pelaksanaan konstruksi dan data yang didapatkan oleh pengujian tersebut berupa parameter pemancangan maka pengujian ini digolongkan pengujian dinamis (Hardiyatmo, H.C, 2011).

Berbagai formula atau rumus yang disarankan oleh para ahli geoteknik adalah sebagai hasil dari penelitian yang dilakukan oleh para ahli tersebut, sehingga mendapatkan berbagai nilai koefisien yang berbeda-beda. Faktor yang mempengaruhi perbedaan nilai koefisien tersebut adalah sifat tanah yang tidak homogen sehingga menghasilkan banyak cara dalam perhitungan daya dukung.

Tes PDA (Pile Driving Analyzer) dan tes sondir dan kalendering telah dilakukan pada tiang pancang di jembatan Pelawa Kabupaten Parigi-Moutong. Nilai daya dukung yang dihasilkan dari tes memberikan hasil yang berbeda-beda. Tes PDA adalah salah satu uji tiang pancang dengan metode dinamik di lapangan. Dalam tulisan ini perbandingan dengan menggunakan rasio antara nilai daya dukung dari hasil tes dengan berbagai metode dan membandingkannya dengan hasil tes PDA akan dilakukan

b. Pondasi Tiang

Pondasi tiang adalah suatu konstruksi pondasi yang mampu menahan gaya orthogonal ke sumbu tiang dengan jalan menyerap lenturan. Pondasi tiang

dibuat menjadi satu kesatuan yang monolit dengan menyatukan pangkal tiang pancang yang terdapat di bawah konstruksi, dengan tumpuan pondasi. Perencana jenis tiang yang akan dipakai, ditentukan berdasarkan persamaan berikut ini (Sosrodarsono, S dan Nakazawa, K, 2000).

– Tiang panjang : $l \sqrt[4]{\frac{k.D}{4EI}} > 3$ (1)

– Tiang pendek $l < 1 \sqrt[4]{\frac{k.D}{4EI}} \leq$ (2)

– Kaison $l \sqrt[4]{\frac{k.D}{4EI}} \leq 1$ (3)

dengan,

l : Panjang tubuh pondasi yang tertanam di dalam tanah (cm)

k : Koefisien reaksi tanah dalam arah melintang (kg/cm³)

D : Diameter atau lebar tubuh pondasi (cm)

EI : Kekakuan lentur tubuh pondasi.

c. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dari Hasil Sondir

Pemeriksaan sondir dimaksudkan untuk mengetahui perlawanan penetrasi konus dan hambatan lekat tanah yang merupakan indikasi dari kekuatan tanahnya, dan juga dapat menentukan dalamnya berbagai lapisan yang berbeda. Perlawanan penetrasi konus adalah perlawanan tanah terhadap ujung konus yang dinyatakan dalam gaya persatuan luas. Hambatan lekat adalah perlawanan geser tanah terhadap selubung bikonus dalam gaya persatuan panjang. Hasil sondir digambarkan dalam bentuk grafik yang menyatakan hubungan antara kedalaman setiap lapisan tanah dengan besarnya nilai sondir yaitu perlawanan penetrasi konus (SNI 03-2827-2008).

Dari hasil percobaan diperoleh beberapa parameter perlawanan penetrasi lapisan tanah di lapangan yaitu perlawanan konus (qc), perlawanan geser (fs), angka banding geser (Rf), dan geseran total tanah (Tf) (SNI 03-2827-2008).

Dalam perhitungan sondir ada beberapa rumus yang disarankan untuk menentukan daya dukung, antara lain :

1) Metode Aoki De Alencar

Aoki De Alencar menyarankan rumus untuk menentukan daya dukung ujung tiang :

$q_b = \frac{q_{ca}(Base)}{F_b}$ (4)

dengan :

q_{ca} (base) = Perlawanan konus rata-rata 1,5D di atas ujung tiang, 1,5D di bawah ujung tiang dan

Fb adalah faktor empirik tergantung pada tipe tiang.

Tahanan kulit persatuan luas (f)

$$f = q_c \text{ (side)} \frac{\alpha s}{F_s} \quad (5)$$

dengan :

$q_c \text{ (side)}$ = Perlawanan konus rata-rata pada masing lapisan sepanjang tiang.

F_s = Faktor empirik tahanan kulit yang tergantung pada tipe tanah.

F_b = Faktor empirik tahanan ujung tiang yang tergantung pada tipe tanah. (Titi dan Farshakh,1999)

2) Metode Meyerhof

Daya dukung pondasi tiang dengan metode Meyerhof dinyatakan dalam rumus sebagai berikut :

$$Q_{ult} = (q_c \times A_p) + (T_f \times K_t) \quad (6)$$

dengan :

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung tiang pancang tunggal.

q_c = Tahanan ujung sondir.

A_p = Luas penampang tiang.

T_f = Jumlah hambatan lekat.

K_t = Keliling tiang.

A_p = Luas Penampang tiang (Laporan uji sondir oleh PT Waskita Persero, 2012)

3) Metode LCPC

Pada metode Bustamante LCPC nilai unit tahanan ujung (Q_b) dan unit tahanan kulit (Q_s) hanya diperoleh dari nilai tahanan kerucut (q_c).

$$Q_b = k_b \times q_{eq} \quad (7)$$

dengan :

Q_b = tahanan unit ujung tiang,

k_b = faktor daya dukung, yang nilainya 0,15 – 0,6. Nilai k_b tergantung pada jenis tanah dan cara pemancangan tiang.

q_{eq} = perlawanan ujung kerucut rata-rata ekuivalen di sekitar ujung tiang 1,5D di atas ujung tiang dan 1,5D di bawah ujung tiang. (Titi dan Farsakh, 1999) dalam (Yusa, M dan Nugroho.SA, 2007)

Untuk menentukan tahanan kulit (Q_s)

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

4) Metode Price dan Wardle

Daya dukung ujung pondasi tiang dengan metode ini dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_b = q_t \times A_p \quad (9)$$

$$q_t = K_b \cdot q_c \quad (10)$$

dengan :

q_t = Perlawanan ujung sondir dengan faktor koreksi

K_b = Faktor pemancangan (0,35 pancang dan 0,3 dengan hidraulik)

Q_b = Daya dukung ujung tiang

Daya dukung kulit pondasi tiang (f) dihitung dengan persamaan sebagai berikut :

$$Q_s = f \cdot A_s \quad (11)$$

$$f = K_s \cdot f_s \quad (12)$$

dengan :

K_s = Faktor pemancangan (0,53 pancang, 0,62 hidraulik, dan 0,49 bor)

f_s = Perlawanan geser, (Titi dan Farsakh,1999)

5) Metode Schmertmann

Schmertmann mengusulkan hubungan berikut untuk memprediksi daya dukung satuan ujung tiang (q_t) dari tahanan ujung kerucut (q_c):

$$q_t = \frac{q_{c1} + q_{c2}}{2} \quad (13)$$

dimana q_{c1} adalah q_c rata-rata zona 4D di bawah ujung tiang dan q_{c2} adalah q_c rata-rata dari ujung kerucut minimum 8D di atas ujung tiang. (Titi dan Farshakh, 1999)

Menurut metode Schmertmann tersebut, gesekan kulit unit tiang (f) ditentukan oleh:

$$f = \alpha f_s \quad (14)$$

$$Q_s = f \cdot A_s \quad (15)$$

Untuk tiang dalam tanah pasir, α bergantung pada rasio L/d (L = kedalaman, dan d = diameter tiang). (Hardiyatmo,H.C.,2011)

d. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dari Hasil PDA

Mekanisme pelaksanaan tes PDA adalah pada saat tumbukan hammer ke kepala tiang, sensor *accelerometer* dan *strain transducer* akan menangkap gelombang yang timbul akibat tumbukan maupun gelombang akibat reaksi tanah dan mengubahnya menjadi signal listrik yang direkam dan diproses dengan PDA untuk memperoleh kurva gaya (F) dan kecepatan (v) terhadap waktu. Regangan yang terukur oleh *strain transducer* dikonversi menjadi besaran gaya dengan menggunakan hukum Hooke yaitu dengan rumus $F = E.A.\epsilon$, dimana E adalah nilai elastisitas tiang, A adalah luas penampang tiang, dan ϵ adalah regangan yang terukur oleh sensor *strain transducer*. Percepatan yang terukur oleh *accelerometer* diintegrasikan terhadap waktu untuk mendapatkan kecepatan (V) dengan persamaan $V = \int a dt$. (Laporan Pengujian PDA, 2012)

Hasil dari PDA yang berupa nilai gaya (F) dan kecepatan (v), parameter hammer dan parameter tiang kemudian diinput ke dalam program CAPWAP akan menghasilkan nilai daya dukung total (Ru), daya dukung ujung (Rb), dan daya dukung gesek (Rs) dengan metode Case.yaitu :

$$Ru = \frac{1}{2} (F1 + Z.V1 + F2 - Z.V2) \tag{16}$$

$$Rb = Jc . Z . V \tag{17}$$

dengan Z adalah kekakuan dinamis tiang didapatkan dari rumus EA/c, dimana c adalah kecepatan gelombang pada material tiang, dan Jc adalah faktor damping tergantung jenis tanah. (Likins, Goble. R dkk, 1998)

e. Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang dari Hasil Kalendering

Pekerjaan kalendering digunakan pada pekerjaan pemancangan tiang pancang untuk mengetahui daya dukung tanah secara empiris melalui perhitungan yang dihasilkan oleh proses pemukulan alat pancang. Alat pancang disini bisa berupa *diesel hammer* maupun *hydraulic hammer*. Biasanya kalendering dalam proses pemancangan tiang pancang merupakan item wajib yang harus dilaksanakan dan menjadikan laporan untuk proyek. Perhitungan kalendering menghasilkan daya dukung batas (dalam ton), (teknikkonstruksiku.blogspot.com, 2011)

1) Metode Hiley

$$Qu = \frac{2WH}{S+K} + \frac{W+N^2P}{W+P} \tag{18}$$

dengan :

- Qu = Kapasitas daya dukung batas (ton)
- W = Berat palu atau ram (ton)
- P = Berat tiang pancang (ton)
- H = tinggi jatuh ram
- S = Penetrasi tiang pancang pada saat penumbukan terakhir, atau “set” (cm)
- K = Rata-rata *Rebound* untuk 10 pukulan terakhir (cm)
- N = Koefisien restitusi (sumber: teknikkonstruksiku.blogspot.com, 2011)

2) Metode Olsen dan Flaate

Pada metode ini daya dukung tiang dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Qu = \frac{e_h E_h h}{S+C_1} \tag{19}$$

$$C_1 = \sqrt{\frac{e_h E_h L}{2 AE}} \tag{20}$$

dengan :

- E = Modulus elastisitas bahan tiang
- e_h = efisiensi palu
- L = Panjang tiang pancang
- E_h = Tenaga palu pabrik (W_r.h)
- A = Luas penampang tiang (sumber: Hardiyatmo.H.C, 2011)

3) Metode ENR

Metode *Modified New Engineering News Record* (ENR) menggunakan persamaan di bawah ini untuk menghitung daya dukung pondasi tiang dengan memanfaatkan hasil dari uji kalendering.

$$Qu = \frac{e_h.W_r.h(W_r+n^2W_p)}{(S+0,25)(W_r+W_p)} \tag{21}$$

- Qu = Kapasitas daya dukung batas (ton)
- W_r = Berat palu atau ram (ton)
- W_p = Berat tiang pancang (ton)
- h = tinggi jatuh ram (cm)
- S = Penetrasi tiang pancang (cm) (sumber: Hardiyatmo.H.C, 2011)

4) Metode Janbu (1953), Mansur dan Hunter (1970)

Dalam metode ini persamaan untuk menghitung daya dukung tiang dengan hasil uji dari tes kalendering adalah:

$$Qu = \frac{e_h.W_r.h}{K_u.S} \tag{22}$$

dengan :

- K_u = C_d [1 + (1 + $\frac{\lambda}{C_d}$)^{1/2}]
- C_d = 0,75 + 0,15 (W_p/W_r)
- λ = $\frac{e_h.E_h.L}{AE.S^2}$ (sumber: Hardiyatmo.H.C, 2011)

5) Metode AASHTO

AASHTO memberikan persamaan untuk menghitung daya dukung tiang pancang berdasarkan data uji kalendering sebagai berikut:

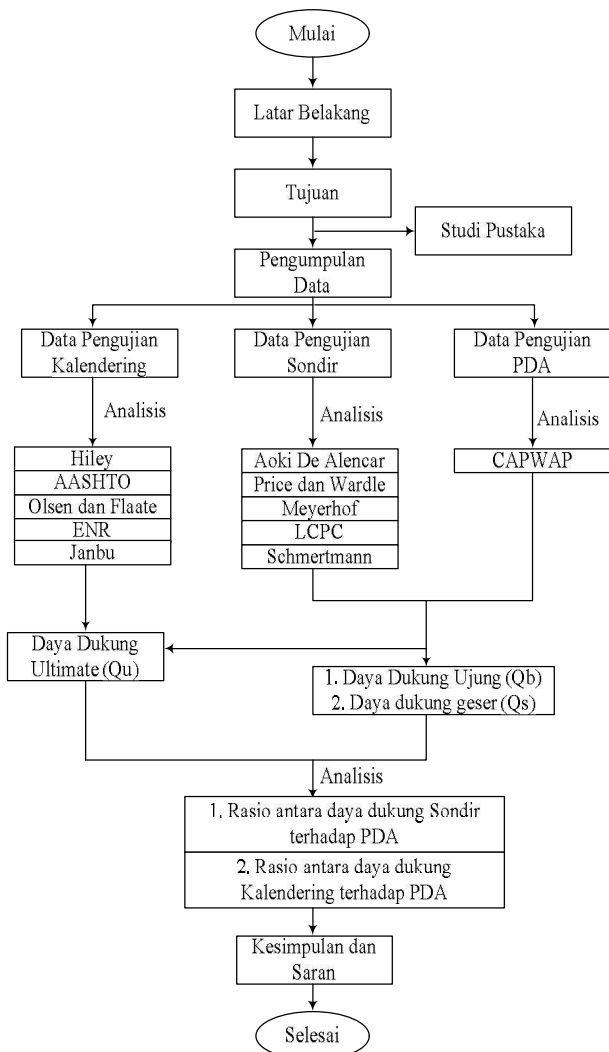
$$Qu = \frac{2 h (W_r+ArP)}{s+C} \tag{23}$$

Dengan C = 2,5 cm penggunaan satuan disesuaikan dengan konsisten. Untuk pemukul aksi dobel, Ar = luas tampang pemukul, p = tekanan uap, untuk aksi tunggal dan gravitasi ArP = 0. Nilai s diambil pada penetrasi akhir (Hardiyatmo, 2011)

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan mengumpulkan data

lapangan hasil pengujian kalendering, sondir dan PDA pada tiang pancang di jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong yang kemudian data-data ini dianalisis daya dukungnya dengan menggunakan beberapa metode sebagaimana yang telah dijelaskan di atas. Hasil perhitungan daya dukung dengan metode-metode tersebut kemudian dibandingkan dalam bentuk rasio hubungan antara daya dukung dengan metode statis (sondir) dengan metode PDA dan metode dinamik (kalendering) dan PDA. Bagan alir pelaksanaan penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Bagan Alir Penulisan (sumber : Gunawan, M, 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

a. Analisis dan Pembahasan Hasil Uji Sondir

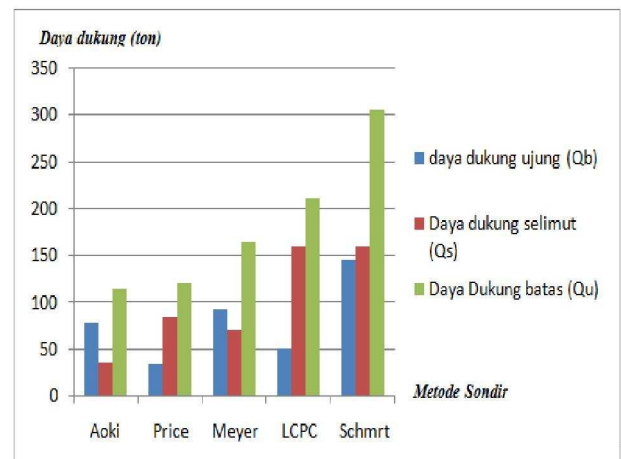
Hasil perhitungan daya dukung dari data sondir dengan metode statis diberikan pada **Tabel 1** dan diplotkan pada **Gambar 2**. Pada **Gambar 2** terlihat perbedaan nilai daya dukung batas (Q_u) dari

masing-masing rumus sondir yang digunakan dalam penelitian. Selain perbedaan nilai daya dukung batasnya perbedaan lain yang dapat dilihat adalah nilai daya dukung ujung (Q_b) dan daya dukung selimut (Q_s). Ada dua metode yang memiliki nilai $Q_b > Q_s$ yaitu metode Aoki De Alencar dan metode Meyerhof sedangkan hal ini berbanding terbalik dengan metode Price Wardle, LCPC, dan Schmertmann yang memiliki nilai $Q_b < Q_s$.

Tabel 1. Daya dukung dari data sondir (Metode Statis)

Metode Statis	Daya dukung (ton)		
	Q_b	Q_s	Q_{ult}
Aoki De Alencar	77.837	36.259	114.096
Price dan Wardle	35.438	84.548	119.986
Meyerhoff	93.150	70.540	163.69
LCPC	51.080	159.525	210.605
Schmertmann	145.954	159.525	305.479

(sumber: Gunawan, M 2014)



Gambar 2. Grafik daya dukung ujung (Q_b), selimut (Q_s), dan daya dukung batas (Q_u) dengan beberapa metode (sumber : Gunawan, M, 2014)

Selanjutnya membandingkan hasil perhitungan daya dukung sondir tersebut terhadap daya dukung hasil pengujian PDA di titik yang sama dengan panjang tiang terpancang 9 m. Hasil pengujian PDA pada tiang A-8 disajikan pada **Tabel 2**.

Rasio hubungan daya dukung dari uji sondir terhadap PDA berikan pada **Tabel 3** untuk daya dukung ujung (Q_b), **Tabel 4** untuk daya dukung geser (Q_s) dan tabel 5 untuk daya dukung batasnya

(Q_u). Rasio hubungan tersebut kemudian juga digambarkan dalam bentuk grafik pada Gambar 3, 4 dan 5.

Tabel 2. Hasil Pengujian PDA

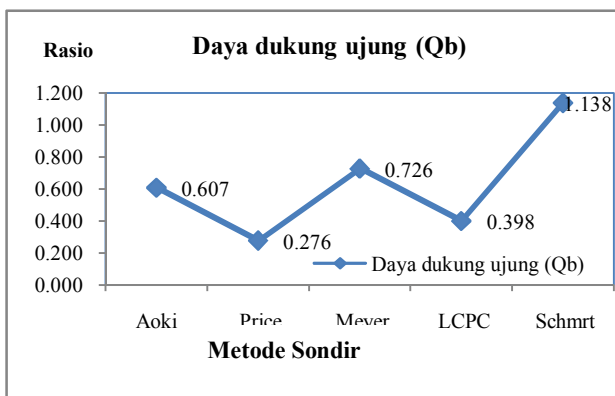
No. Tiang	Daya Dukung Teraktifkan Tiang (Ton) CAPWAP		
	Q_u (ton)	Q_s (ton)	Q_b (ton)
A-8	174.5	46.2	128.3

(sumber: Laporan PT.Waskita 2012)

Tabel 3. Rasio daya dukung ujung (Q_b) sondir terhadap Q_b PDA

No	Daya Dukung Ujung (ton)		Rasio (A/B)
	Sondir (A)	PDA (B)	
1	77.837 (Aoki)	128.3	0.607
2	35.438 (Price)	128.3	0.276
3	93.150 (Meyer)	128.3	0.726
4	51.080 (LCPC)	128.3	0.398
5	145.954 (Schmt)	128.3	1.138

(sumber: Gunawan, M 2014)

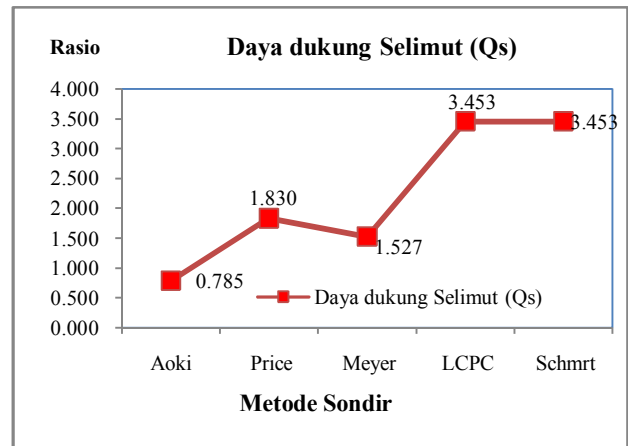


Gambar 3. Grafik rasio daya dukung ujung (Q_b) sondir dengan beberapa metode terhadap Q_b PDA (sumber : Gunawan, M, 2014)

Tabel 4. Rasio daya dukung selimut (Q_s) sondir terhadap Q_s PDA

No	Daya Dukung geser (ton)		Rasio (A/B)
	Sondir (A)	PDA (B)	
1	36.259 (Aoki)	46.2	0.785
2	84.548 (Price)	46.2	1.830
3	70.540 (Meyer)	46.2	1.527
4	159.525 (LCPC)	46.2	3.453
5	159.525 (Schmt)	46.2	3.453

(sumber: Gunawan, M 2014)



Gambar 4. Grafik daya dukung selimut (Q_s) sondir dengan beberapa metode terhadap Q_s PDA (sumber: Gunawan, M, 2014)

Dari **Gambar 3** diatas yang memberikan perbandingan daya dukung ujung (Q_b) sondir terhadap Q_b PDA dapat disimpulkan bahwa metode sondir yang mendekati nilai 1 terhadap pengujian PDA adalah metode Aoki De Alencar, Meyerhof, dan Schmertmann.

Berdasarkan **Gambar 4**, yaitu perbandingan daya dukung selimut (Q_s) sondir terhadap daya dukung selimut (Q_s) PDA, nilai rasio yang paling mendekati nilai 1 adalah metode Aoki De Alencar dan Meyerhoff.

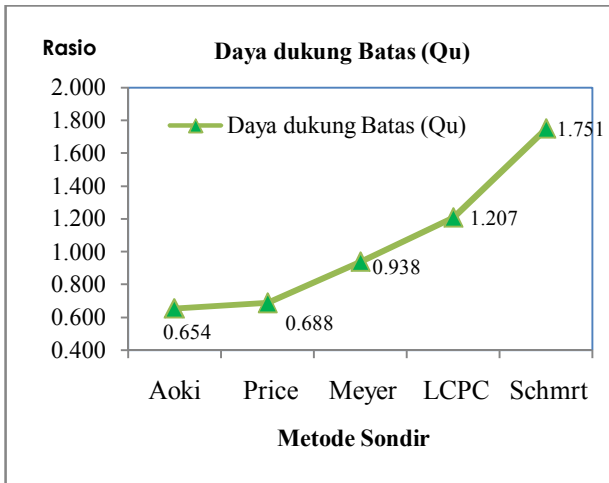
Dengan menganalisa kedua perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode Aoki De Alencar dan Metode Meyerhof merupakan metode perhitungan secara empiris yang paling mendekati hasil perhitungan PDA pada program CAPWAP

Untuk lebih mendapatkan suatu hasil yang lebih akurat, yaitu perhitungan daya dukung dengan rumus yang menggunakan uji sondir yang mendekati hasil dari uji PDA maka dilakukan perbandingan daya dukung batas (Q_u) sondir terhadap Q_u PDA yang disajikan pada **Tabel 4** dan **Gambar 5**.

Tabel 5. Rasio daya dukung batas (Q_u) sondir terhadap Q_u PDA

No	Daya Dukung Batas (ton)		Rasio (A/B)
	Sondir (A)	PDA (B)	
1	114.096 (Aoki)	174.5	0.654
2	119.986 (Price)	174.5	0.688
3	163.69 (Meyer)	174.5	0.938
4	210.605 (LCPC)	174.5	1.207
5	305.479 (Schmt)	174.5	1.751

(sumber: Gunawan, M 2014)



Gambar 5. Grafik rasio daya dukung batas (Qu) sondir dengan beberapa metode terhadap Qu PDA (sumber: Gunawan, M, 2014)

Berdasarkan perbandingan daya dukung batas (Qu) pengujian sondir terhadap Qu pengujian PDA maka dapat dikatakan bahwa metode perhitungan daya dukung dari uji sondir yang paling mendekati pengujian PDA adalah metode Meyerhof dengan nilai 0,938. Nilai rasio daya dukung batas (Qu) ini menguatkan nilai rasio sebelumnya dimana metode Meyerhof masuk kategori dengan nilai rasio daya dukung selimut (Qs) dan daya dukung ujung (Qb) terhadap daya dukung PDA mendekati 1. Maka metode Meyerhof pada pengujian sondir merupakan metode yang sangat berhubungan dengan pengujian PDA.

b. Analisis dan Pembahasan Uji Kalendering

Perhitungan pengujian dinamis yaitu berupa analisa daya dukung berdasarkan data pemancangan bertujuan sebagai kontrol dari daya dukung rencana berdasarkan data sondir. Perhitungan kalendering menggunakan rumus Hilley, AASHTO, Olsen Flaate, ENR, dan Janbu. Sedangkan pengujian dinamis tambahan dilakukan pengujian PDA sebagai akhir dari pengujian yang bertujuan sebagai kontrol kembali dari pengujian kalendering.

Tabel 6. Tabel hasil analisis PDA

No. Tiang	Daya Dukung Teraktifkan Tiang (Ton)		
	CAPWAP		
	Total (ton)	Tahanan Kulit(ton)	Tahanan Ujung(ton)
A-8	174.5	46.2	128.3
P-14	171.2	151.3	19.9

(sumber: Laporan Pengujian PDA, 2012)

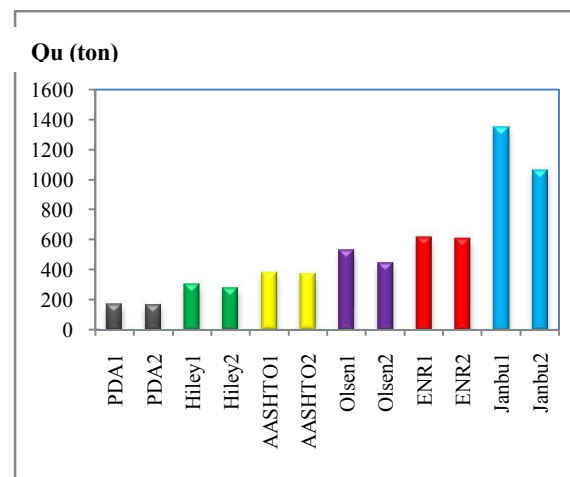
Tabel 6 adalah hasil analisis PDA dengan menggunakan program CAPWAP yang memberikan

daya dukung total, daya dukung ujung dan daya dukung selimut untuk tiang A-8 dan P-14. Tabel 7 menunjukkan nilai-nilai daya dukung ultimit dan daya dukung ijin dari uji PDA dan perhitungan dengan berbagai metode yang menggunakan data pengujian sondir untuk dua tiang pancang yang diuji di lokasi tersebut. Nilai-nilai daya dukung dari **Tabel 7** tersebut kemudian diplotkan pada **Gambar 6** untuk membandingkan bagaimana perbedaan dari daya dukung tiang dengan berbagai metode yang digunakan untuk uji kalendering dengan daya dukung dari tes PDA.

Tabel 7. Daya dukung kalendering dan PDA (Metode Dinamis)

No	Metode Dinamik	Daya Dukung (ton)				Fs
		Titik 1 (A-8)		Titik 2 (P-14)		
		Qult	Qijin	Qult	Qijin	
1	PDA	174,5	87,25	171,2	85,6	2
2	Hilley	308,55	102,85	284,22	94,74	3
3	AASHTO	384,16	128,053	377,16	125,72	3
4	Olsen dan Flaate	535,82	178,607	450,32	150,107	3
5	ENR	619,26	103,21	611,36	101,893	6
6	Janbu	1350,26	225,043	1062,90	177,15	6

(sumber: Gunawan, M 2014)



Gambar 6. Grafik daya dukung batas metode Dinamis (kalendering dan PDA) (sumber: Gunawan, M, 2014)

Dari **Gambar 6** dapat dilihat bahwa baik metode PDA maupun metode-metode lainnya dari uji kalendering memberikan hasil yang berbeda-beda. Disamping itu dapat dikatakan bahwa dari gambar tersebut terlihat bahwa daya dukung ultimit dari uji PDA adalah yang memiliki nilai paling kecil.

Selanjutnya jika hasil perhitungan dari **Tabel 7** dan **Gambar 6** di atas kita nyatakan dalam bentuk

rasio antara daya dukung batas (Qu) dari uji kalendering terhadap daya dukung batas (Qu) dari uji PDA, hasilnya adalah sebagaimana diberikan pada tabel 8, tabel 9 dan **Gambar 7**.

Tabel 8. Rasio nilai Q_{ult} Kalendering terhadap Q_{ult} PDA (A-8)

No	Kalendering (A) (ton)	PDA (B) (ton)	Rasio (A/B)
1	308.55 (Hiley)	174.5	1.768
2	384.16 (AASHTO)	174.5	2.201
3	535.82 (Olsen)	174.5	3.071
4	619.26 (ENR)	174.5	3.549
5	1350.26 (Janbu)	174.5	7.738

(sumber: Gunawan, M 2014)

Tabel 9. Rasio nilai Q_{ult} Kalendering terhadap Q_{ult} PDA (P-14)

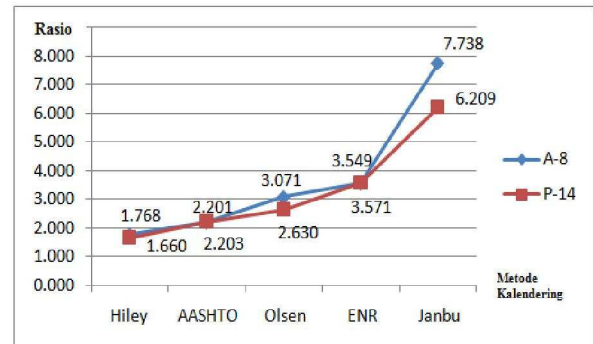
No	Kalendering (A) (ton)	PDA (B) (ton)	Rasio (A/B)
1	284.22 (Hiley)	171.2	1.660
2	377.16 (AASHTO)	171.2	2.203
3	450.32 (Olsen)	171.2	2.630
4	611.36 (ENR)	171.2	3.571
5	1062.9 (Janbu)	171.2	6.209

(sumber: Gunawan, M 2014)

Dari kedua tabel tersebut dan **Gambar 7** dapat disimpulkan bahwa nilai daya dukung dengan metode kalendering terhadap daya dukung dari tes PDA ini memiliki nilai rasio yang cukup besar, hal ini dapat disebabkan oleh pelaksanaan kalendering yang dilaksanakan secara manual dan mengabaikan berbagai faktor dalam perhitungannya dan para pakar geoteknik menyarankan faktor keamanan untuk pengujian dinamis kalendering dengan faktor keamanan yang cukup besar yaitu dengan nilai FS 3-6. Sedangkan metode PDA adalah metode teknologi dengan mengukur gelombang untuk dianalisa menjadi daya dukung dengan melakukan permodelan tanah, sehingga menurut ahli PDA, faktor keamanan 2 adalah faktor keamanan minimum yang dapat dipergunakan.

Dengan melihat hubungan rasio daya dukung batas (Qu) kalendering terhadap Qu PDA pada gambar 7 maka disimpulkan bahwa keseluruhan dari rumus kalendering merupakan formula yang serasi dari keseluruhan metode karena rasio dua titik pengujian yaitu pada nomor tiang A-8 dan P-14

tidak saling berpotongan. Terlihat juga pada grafik tersebut bahwa metode yang paling mendekati nilai 1 adalah metode Hiley pada dua titik pengujian sehingga metode Hiley merupakan formula kalendering yang paling mendekati pengujian PDA



Gambar 7. Grafik rasio daya dukung batas metode Dinamis (kalendering terhadap PDA) (sumber: Gunawan, M, 2014)

KESIMPULAN

Berdasarkan nilai rasio daya dukung ujung (Q_b), daya dukung selimut (Q_s) dan daya dukung batas (Q_u) dari metode sondir terhadap pengujian PDA, rumus sondir yang memberikan hasil yang paling mendekati pengujian PDA adalah rumus dari Meyerhof karena setelah dibandingkan metode Meyerhof masuk pada ketiga kategori yaitu kedekatan terhadap nilai Q_b , Q_s , dan Q_u dari hasil uji PDA.

Formula Hiley, AASHTO, Olsen Flaate, ENR, dan Janbu dari analisis data kalendering pada pengujian dinamis merupakan metode yang selaras dengan pengujian PDA karena data pada dua titik pengujian tiang pancang ini terlihat grafik rasio hubungan daya dukung batas (Q_u) kalendering terhadap daya dukung batas (Q_u) PDA tidak saling berpotongan meskipun selain metode Hiley, metode lainnya memberikan nilai rasio yang cukup besar.

Berdasarkan nilai rasio yang mendekati angka 1 yang artinya nilai daya dukung batas (Q_u) kalendering mendekati nilai daya dukung batas (Q_u) PDA diberikan oleh metode Hiley dengan nilai rasio 1,660 (P-14) dan 1,768 (A-8).

Dalam melakukan perbandingan data untuk penelitian lebih lanjut disarankan menggunakan lebih banyak sampel agar mendapatkan hasil yang lebih akurat yaitu tingkat kesalahan makin kecil. Disamping itu, dengan data yang cukup banyak perbandingan dengan menggunakan metode statistik memungkinkan untuk dilakukan.

DAFTAR PUSTAKA

- Ardiansyah, R., 2010, *Pile Driving Analyze.*, (<http://ronymedia.wordpress.com/2010/04/30/pile-driving-analyzer/>), Di akses 12 oktober 2013
- Das, Braja M., 1995, *Mekanika Tanah, Jilid 1*, Penerbit Erlangga, Jakarta
- Gunawan, M. 2014, *Penentuan Nilai Daya Dukung Tiang Pancang Dengan Metode Statis dan Metode Dinamis pada Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong*, Tugas Akhir Sarjana Teknik Sipil Universitas Tadulako, Palu.
- Hardiyatmo, H.C., 2002, *Teknik Pondasi 2 Edisi Kedua*, PT. Gramedia, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C, (2011). *Analisis dan perancangan Fondasi II*, Penerbit Gadjah Mada University Press, Yogyakarta
- Hendra, H. G., 2008, *Pertimbangan dalam Pemilihan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Beberapa Metoda (Statik, Dinamik, Tes PDA)*, Jurnal Rekayasa Teknik Sipil. Vol.4 No.2 (sipil.ft.unand.ac.id). Diakses 28 September 2013
- Irsyam, M., 2012, *SI 3221 Rekayasa Pondasi*, Penerbit Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung
- Laporan Pengujian Tanah PT. WASKITA, 2012, *Laporan Pengujian Tanah (Sondir) Pembangunan Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Moutong Sulawesi Tengah*, Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu
- Laporan Pengujian Tanah PT. WASKITA, 2012, *Laporan Pengujian Dinamis Tiang Pondasi Menggunakan Pile Driving Analyzer Proyek Jembatan Pelawa Kabupaten Parigi Sulawesi Tengah*, PT. Pengujian Dinamis, Jakarta
- Likins, Goble, R, 1998. *Dynamic Pile Testing with The Pile Driving Analyzer*. (<http://www.piledrivers.org>). Diakses 22 Oktober 2013
- Mhaiskar, SY, G Khare, Makarand, Vaidya, Ravikiran, 2010, "High Strain Dynamic Pile Testing and Static Load Test – A correlation Study", Indian Geotechnical Conference, IGS Mumbai Chapter & IIT Bombay, India.
- Pile Engineering Indonesia, 2011, *Proposal Pile Driving Analyzer, (Proposal Pile Driving Analyzer)*. Di akses 22 Oktober 2013
- Rausche. F., 2013, *Pile Driving Analyzer and CAPWAP*, (<http://www.piledrivers.org>). Diakses 17 September 2013
- Roby, 2011, *Metode Kalendering Pemancangan Tiang*.
<http://teknikkonstruksiku.blogspot.com/2011/02/metode-kalendering-pemancangan-tiang.html> diakses 21 Agustus 2013
- Sitohang, Sulastri I.E., 2009, *Analisa Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang pada Proyek Pembangunan Gedung KANWIL DJP dan KPP SUMBAGUS I jalan Suka Mulia Medan*, Tugas Akhir Sarjana Teknik Sipil Universitas Sumatra Utara, Medan. (www.researchgate.net) Diakses 18 September 2013
- SNI 2827:2008 Tentang Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir.
- Sosrodarsono. S dan Nakazawa. K., 2000, *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*, PT. Pradnya Paramita, Jakarta
- Titi, H. and Farsakh, M. A. Y., 1999, *Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test*, Louisiana Transportation Research Center.
- Teddy. L., 2012, *Evaluasi Pondasi Tiang Pile Driven Analysis (PDA) di Kota Palembang*, Jurnal Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya, (ejournal.unsri.ac.id) Diakses 12 September 2013
- Yusa, M dan Nugroho, SA., 2007, *Korelasi Penentuan Daya Dukung Tiang Cara Empirik (CPT) dengan Pile Driven Analysis (PDA) di Kota Pekanbaru*, Jurnal media teknik sipil UNRI, Riau. (media.sipil.ft.uns.ac.id) Diakses 28 September 2013