

ANALISA STATISTIK HASIL UJI KAPASITAS METODE DINAMIS (PDA TEST) PADA PONDASI TIANG PANCANG SISTEM PANCANG TEKAN

Didik Haryadi^{1,*}, Widjojo Adi Prakoso¹

¹Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia
Kampus UI Depok, 16424, Indonesia

^{*}Correspondent Author: didik.haryadi@ui.ac.id

Abstract

The use of HSPD (Hydraulic Static Pile Driver) in deep foundation can reduce the level of noise and vibration as a result of pile driving. When a pile is hydraulically driven into the ground to the required axial compression capacity as recorded by a manometer installed on the HSPD equipment, a failure in this capacity is frequently observed after a dynamic verification test (PDA test). The purpose of this study is to determine the root cause of discrepancies in the axial compression capacity between results monitored by the HSPD equipment and dynamic test verification. This research examined SQ25 and SQ30 piles of 295 and 94 numbers respectively in the period of January 2020 to July 2022. Dynamic verification test indicated that 11% SQ25 and 7% SQ30 piles were problematic. Based on the linear regression analysis, the embedment of pile (L_p), final settlement (DFN), and frictional resistance (R_s) contribute an effect on the mentioned above discrepancy. For the problematic SQ25 and SQ30 piles, values of $\overline{L_p}$ and $\overline{R_s}/\overline{L_p}$ are less than the ones for non-problematic piles. In contrary, the value of \overline{DFN} for problematic piles is larger than the one for non-problematic piles.

Keywords: HSPD, PDA Test, linear regression, compressive axial capacity

PENDAHULUAN

Terdapat beberapa jenis teknik pemancangan yang umum dilakukan dalam pekerjaan pondasi dalam yang bermaterial tiang pancang, yang antara lain yaitu teknik pemancangan menggunakan *diesel hammer* atau *drop hammer* dengan cara dipukul atau menjatuhkan palu atau *hammer* dengan berat dan tinggi jatuh *hammer* yang sudah ditentukan, teknik pemancangan menggunakan *vibratory hammer* dengan cara menekan dan memberi getaran pada tiang pancang dan jenis teknik pemancangan menggunakan alat HSPD yaitu menekan tiang pancang

sampai batas tekanan yang telah direncanakan (Joko Yulianto, 2017).

Dalam penentuan kapasitas *ultimate* aksial tekan pada pelaksanaan pemancangan sistem pukul ditentukan seberapa besar nilai *kalendering*, *rebound*, berat hammer dan tinggi jatuh hammer (André Querelli, Faiçal Massad, 2017). Untuk pelaksanaan pemancangan sistem getar (*Vibration*) kapasitas *ultimate* aksial tekan tidak dapat dihitung secara akurat (Rausche, 2002). Dan kapasitas *ultimate* aksial tekan untuk pemancangan sistem tekan diperoleh berdasarkan besarnya tekanan yang diberikan alat HSPD

pada tiang yang termonitor langsung oleh manometer (Choirus Soleh Rozeli, 2020).

Akhir-akhir ini pemancangan sistem tekan dengan penggunaan alat *HSPD (Hydraulic Static Pile Driver)* sering digunakan. Metode ini dipilih karena dampak getaran yang ditimbulkan dan suara bising dapat diminimalkan. Proses pelaksanaan pemancangannya yaitu memasukkan tiang pancang ke dalam tanah dengan memberikan tekanan menggunakan dongkrak hidrolis dan *counterweight* sebagai beban agar mesin HSPD tidak terangkat. (Rahmat dkk, 2020). Besarnya tekanan maksimum yang diberikan pada tiang pancang adalah kapasitas *ultimate* aksial tekan. Besar tekanan yang diberikan pada tiang pancang langsung termonitor oleh manometer yang terletak pada kabin alat *HSPD*. Pada pemancangan sistem ini walaupun kapasitas *ultimate* aksial tekan telah termonitor oleh manometer, namun kegagalan kapasitas *ultimate* aksial tekan masih dapat saja terjadi. Informasi ini didasarkan pada hasil verifikasi dengan melakukan pengujian dinamis (*PDA Test*). Kegagalan kapasitas *ultimate* yang dimaksud adalah diperolehnya ketidaksesuaian hasil setelah proses pengujian dinamis (*PDA Test*), yaitu lebih rendahnya kapasitas *ultimate* aksial tekan berdasarkan uji dinamis (*PDA Test*) dibandingkan dengan kapasitas *ultimate* aksial tekan yang termonitor oleh manometer. Kegagalan kapasitas *ultimate* aksial tekan terjadi pada tiang pancang dengan nilai penurunan akhir atau *final set* lebih dari 2.5 mm/blow

(Pile Driving Analyzer Manual, PDA-W 2009) dan hal ini yang melatarbelakangi penelitian dilakukan.

Pelaksanaan pengujian dinamis (*PDA Test*) didasarkan pada rambatan gelombang 1 dimensi. Dilakukan dengan cara menjatuhkan *hammer* secara berulang-ulang dengan interval ketinggian yang berbeda. Berat *hammer* diambil berkisar 1 % s/d 2 % dari kapasitas *ultimate* aksial tekan yang telah direncanakan. Getaran yang ditimbulkan akibat tumbukan *hammer* dengan permukaan kepala tiang akan direkam oleh sensor – sensor yang melekat pada sisi tiang. Hasil rekaman tumbukan yang ditangkap oleh sensor dan ditampilkan pada layar komputer PDA antara lain adalah kapasitas *ultimate* aksial tekan dan *final set*. (Pile Driving Analyzer Manual, PDA-W 2009)

Dalam penelitian ini, untuk mengetahui permasalahan kegagalan kapasitas *ultimate* aksial tekan berdasarkan uji dinamis (*PDA Test*) terhadap kapasitas *ultimate* aksial tekan hasil pemancangan dengan alat HSPD, penulis melakukan analisis metode statistik regresi linear, yaitu dengan mencari hubungan antara penurunan akhir tiang pancang (DFN) dan panjang tiang tertanam (L_p) terhadap tahanan total *ultimate* (R_u), hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan penurunan akhir tiang pancang (DFN), hubungan rasio R_u terhadap P Jack (R_u/P Jack) dengan penurunan akhir tiang pancang (DFN) dan panjang tiang tertanam (L_p), hubungan nilai efisiensi *hammer* terhadap tahanan *ultimate* gesek (R_s)

dan tahanan *ultimate* ujung (Rb). Dan dengan metode ini juga diperoleh bagaimana pola penyebaran datanya, sehingga faktor penyebab kegagalan kapasitas yaitu ketidaksesuaian hasil uji kapasitas *ultimate* aksial tekan pondasi tiang pancang dengan kapasitas *ultimate* aksial tekan dengan metode pemancangan sistem tekan dapat diketahui.

Penelitian hanya dibatasi dengan penggunaan data hasil uji dinamis pada kondisi keutuhan tiang yang masih cukup baik (BTA 60 %) agar diperoleh hasil analisa statistik yang lebih akurat. BTA adalah *integrity factor* yang menunjukkan keutuhan tiang. Nilai BTA < 60 menunjukkan tiang harus di rejected dan tidak terpakai (Pile Driving Analyzer Manual, PDA-W 2009). Begitupun karena sangat terbatasnya ketersediaan data tanah dan data pemancangan yang dimiliki maka penyelesaian dengan metode statistik ini dipergunakan.

$$\eta = \frac{EMX}{(\text{Tinggi jatuh hammer} \times \text{berat hammer})} \times 100\% \quad (1)$$

Dalam proses analisa dinamik ini yang digunakan adalah prinsip “*wave mechanics*” atau persamaan gelombang 1 Dimensi. Melalui fungsi *strain transducer* akan terukur nilai *Force* yang terjadi di dekat kepala tiang dan melalui fungsi *accelerometer* akan terukur nilai percepatan yang akan dihitung untuk mendapatkan variabel *velocity* (Pile Driving Analyzer Manual, PDA-W 2009).

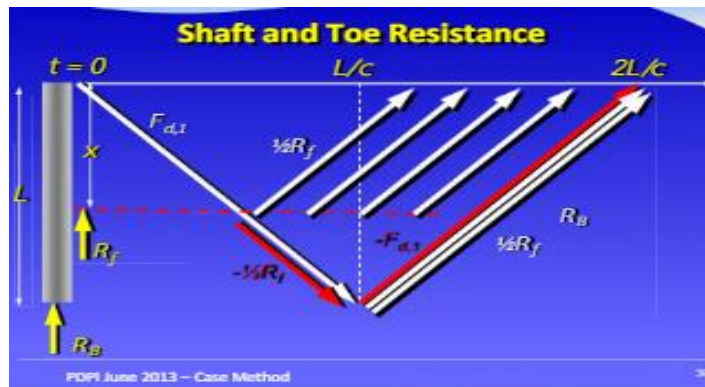
Perhitungan dinamik daya dukung aksial PDA test dikenal dengan

Pile Dynamic Analyzer (PDA)

Pile Dynamic Analyzer (PDA) Test merupakan pelaksanaan uji secara dinamik untuk mengukur kapasitas *ultimate* aksial tekan tiang, penurunan akhir/*final set*, keutuhan tiang dan energi yang berasal dari tumbukan *hammer* yang dilakukan pada pondasi dalam, baik itu tiang pancang maupun tiang bor. Pada pelaksanaan pengujian ini diperlukan sensor-sensor yang dipasang pada sisi-sisi tiang dengan jarak dari atas permukaan kepala tiang adalah minimal 2 kali diameter tiang (2D). *Hammer* dijatuhkan pada ketinggian tertentu ke kepala tiang secara jatuh bebas. Perekaman pukulan dilakukan berulang dengan tinggi jatuh *hammer* yang berbeda. Penghentian pukulan dilakukan pada saat efisiensi *hammer*, sudah mencapai diatas 50% atau tegangan tekan terukur (CSX) sudah akan mencapai batas tegangan tekannya.

metode “*Case Method*”. Dari nilai rata-rata pada sinyal yang terukur *force* dan *velocity* pada data PDA dan yang terukur langsung dari alat PDA adalah sebagai berikut :

- *Final Displacement*, mm (DFN)
- Kapasitas tiang termobilisasi, menggunakan *simplified CASE method*, ton (RMX)
- Energi maksimum yang ditransfer ke tiang selama tumbukan, tm (EMX)

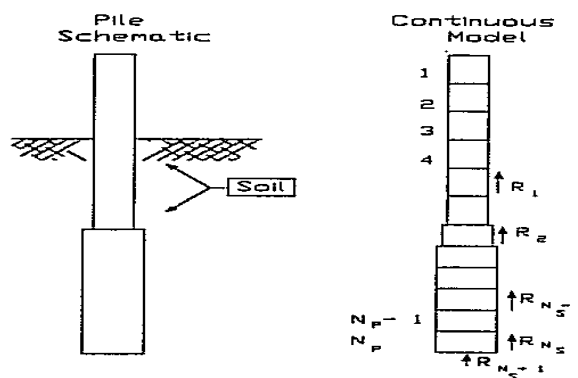


Gambar 1. Ilustrasi Grafik Tahanan Kulit dan Ujung
(Sumber : Frank Rausche, *Pile Dynamic* 2013)

CAPWAP Analysis

CAPWAP® adalah proses menggabungkan pengukuran *Case Method* dengan analisis numerik tipe persamaan gelombang. Karena gerakan dan gaya puncak tiang telah diukur, maka tidak perlu memodelkan palu dan sistem penggerak. Dengan menggunakan pengukuran sebagai fungsi input, model tanah dapat disesuaikan sehingga respons yang dihitung sesuai dengan respons yang diukur, dan dengan demikian juga proses ini disebut sebagai “pencocokan

sinyal”. Pada proses ini dilakukan dengan cara menghimpitkan grafik *force* dan *velocity* yang diperoleh pada data uji PDA. Untuk proses menghimpitkannya dengan memasukkan parameter-parameter seperti besarnya nilai gesekan tanah, tahanan ujung, faktor damping dan parameter-parameter lainnya yang ada di dalam program CAPWAP. Hasil analisa dapat diambil jika “*Match Quality*” (MQ) < 3 (CAPWAP Background Report Version 2014).



Gambar 2. Penentuan model tiang pada CAPWAP (Pile Dynamics, Inc., 2014)

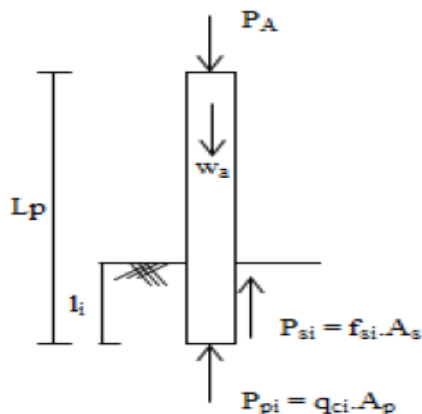
Pemancangan Sistem Tekan

Hydraulic Static Pile Driver (HSPD) ini beroperasi menggunakan fluida

hidrolis, di mana sistem pemancangan ini dengan cara menekan tiang masuk ke dalam tanah dengan menggunakan

kekuatan sistem hidrolik dan mendapat reaksi pembebanan dari *counterweight*. Besarnya kapasitas aksial tekan akan

termonitor oleh manometer yang terdapat pada kabin alat HSPD (Choirus Soleh Rozeli, 2020).



Gambar 3. Tiang Dalam Tanah (Bowles, 1996).

Keterangan :

A_p = Luas penampang (m^2)

A_s = Luas dinding tiang tiap i m kedalaman (m^2)

f_{si} = Lekatan tanah pada kedalaman i (ton/m^2)

$i = 1, 2, 3, \dots$

l_i = Kedalaman ke i (m)

L_p = Panjang tiang (m)

P_A = Gaya tekan alat (ton)

P_{pi} = Gaya dukung ujung tiang pada kedalaman i (ton)

P_{si} = Gaya dukung selimut tiang pada kedalaman i (ton)

q_{ci} = Nilai konus ujung pada kedalaman i (t/m^2)

W_a = Berat tiang (ton)

Statistik Deskriptif

Statistik deskriptif adalah analisis statistik yang dilakukan pada suatu kelompok data (Hogg, R.V., McKean, J.W., & Craig, A.T., 2019). Statistik deskriptif yang umum digunakan adalah nilai minimum, nilai maksimum, mean (rata-rata), standar

deviasi, modus, varian dan lain - lain (Harlan, J., 2018).

METODE PENELITIAN

Sumber Data

Data diperoleh melalui proses pengamatan dan pengumpulan data secara langsung di lapangan dengan melaksanakan pengujian dan analisa dengan berbagai macam dimensi tiang berupa ukuran penampang dan panjang tiang yang diperoleh dari berbagai lokasi proyek, wilayah sepanjang kurun waktu tahun 2020 sampai dengan 2022. Bentuk sampel dari data ini adalah berupa Hasil Uji PDA dan Analisa CAPWAP pada data-data tiang pancang dengan metode tekan baik pada tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tidak bermasalah (*No Problem Pile*). Tiang bermasalah (*Problem Pile*) adalah jika rasio tahanan total *ultimate* hasil analisa CAPWAP terhadap besarnya tekanan pada alat HSPD yang diberikan pada tiang pancang kurang dari 1 ($R_u \text{ CAPWAP} / P \text{ Jack} < 1$) dan

untuk tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) adalah lebih dari 1 ($Ru \text{ CAPWAP} / P \text{ Jack} > 1$). Adapun data-data yang telah dikumpulkan dengan dimensi penampang terdiri dari tiang beton Kotak (*Square Pile*) SQ25 dan SQ30 dan untuk semua ukuran

panjang tiang. Setelah data-data tersebut terkumpul dilakukan pengelompokan terhadap data hasil uji pada tiang yang bermasalah dan tidak bermasalah dan dilanjutkan dengan analisis statistik



Gambar 4. Pekerjaan Pemancangan alat HSPD Proyek PT. Formosa Mayong Jepara (PT. Paton Buana Semesta Semarang, 2022)

Variabel

Variabel penelitian yang digunakan dalam penelitian ini adalah tahanan total maksimum (R_u), tahanan gesek maksimum (R_s) dan tahanan ujung maksimum (R_b) sebagai variabel terikat yang diperoleh dari data analisa CAPWAP serta penurunan akhir tiang (DFN) dan panjang tiang tertanam (LP) sebagai variabel bebas yang diperoleh dari data Test PDA.

Tahap Penelitian

a. Pengumpulan dan klasifikasi data

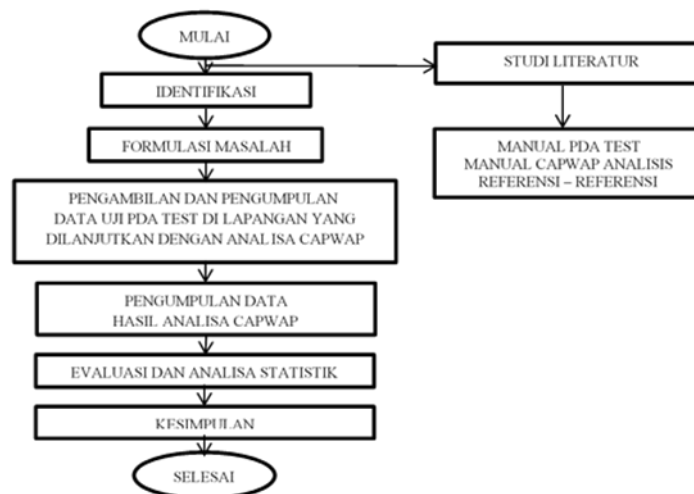
Kegiatan pengumpulan data yang diperoleh melalui proses pengamatan dan pengumpulan data secara langsung dengan cara pengujian PDA Test di lapangan.

b. Pengolahan Hasil Uji

Menganalisa tiang bermasalah maupun tidak bermasalah dari data PDA Test yang diperoleh di lapangan yang lalu dilanjutkan dengan software CAPWAP Analisis untuk memperoleh besarnya tahanan *ultimate* total (R_u), tahanan *ultimate* gesek (R_s) dan tahanan *ultimate* di ujung tiang (R_b).

c. Analisis Regresi Linear

Melakukan analisis regresi linear terhadap data hasil uji PDA Test dan hasil Analisa CAPWAP pada masing-masing variabel bebas terhadap variabel terikat guna mengetahui hubungan antara tiap variabel pada data No Problem Pile dan data Problem Pile dan kemudian dijelaskan melalui grafik plot linear.



Gambar 5. Diagram Alur Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Analisis Data

Definisi untuk tiang bermasalah (*Problem Pile*) dan tidak bermasalah (*No Problem Pile*) adalah sebagai berikut, *Problem Pile* jika $(Ru \text{ CAPWAP}/P \text{ Jack}) < 1$ dan *No Problem Pile* jika $(Ru \text{ CAPWAP}/P \text{ Jack}) > 1$. $Ru \text{ Capwap}$ adalah tahanan *ultimate* aksial total hasil analisa CAPWAP pada data hasil uji PDA dan P Jack adalah besarnya tekanan yang diberikan pada tiang pancang oleh alat HSPD saat melakukan pemancangan.

Dari total data yang diperoleh untuk SQ25 sebanyak 295 data dengan kelompok data tiang bermasalah (*Problem Pile*) SQ25 sebanyak 32 data dan kelompok data tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) SQ25 sebanyak 263 data, serta untuk SQ30 sebanyak 94 data dengan kelompok data tiang bermasalah (*Problem Pile*) SQ30 sebanyak 7 data dan kelompok data tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) SQ30 sebanyak 87 data. Data-data tersebut dijelaskan secara statistik deskriptif pada table-table berikut.

Tabel 1. Data statistik deskriptif untuk 32 tiang bermasalah (*Problem Pile*) tiang SQ25

	Data PDA		Analisa CAPWAP			P Jack (Ton)	Rs/Lp (T/m)	Rb/Ab (T/m ²)
	DFN (mm/blow)	Lp (m)	Ru (Ton)	Rs (Ton)	Rb (Ton)			
Min	0.10	2.20	21.4	6.10	0.10	50.00	1.28	1.60
Max	22.00	35.30	104.40	75.80	79.30	118.00	11.16	1268.80
Mean	4.13	10.75	79.12	33.66	39.92	89.13	4.00	638.75
STDev	5.71	8.91	22.62	20.46	21.99	17.84	2.37	351.87

Tabel 2. Data statistik deskriptif untuk 263 tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) tiang SQ25

	Data PDA		Analisa CAPWAP			P Jack (Ton)	Rs/Lp (T/m)	Rb/Ab (T/m ²)
	DFN	Lp	Ru	Rs	Rb			
	(mm/blow)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)			
Min	1.00	1.30	65.90	1.20	64.20	93.48	0.92	713.33
Max	8.00	11.30	132.90	52.50	95.70	149.00	7.09	1063.33
Mean	3.61	3.73	96.97	18.13	78.83	115.28	4.35	875.87
STDev	2.07	3.23	21.65	16.68	13.17	17.68	1.83	146.40

Tabel 3. Data statistik deskriptif untuk 7 tiang bermasalah (*Problem Pile*) tiang SQ30

	Data PDA		Analisa CAPWAP			P Jack (Ton)	Rs/Lp (T/m)	Rb/Ab (T/m ²)
	DFN	Lp	Ru	Rs	Rb			
	(mm/blow)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)			
Min	0.10	2.20	51.20	12.70	15.30	36.60	1	170.00
Max	7.99	46.70	215.90	168.10	125.90	155.00	14.94	1398.9
Mean	1.72	14.58	147.51	92.85	54.95	115.73	7.23	610.51
STDev	1.64	8.453	31.92	37.31	22.17	22.84	2.87	246.41

Tabel 4. Data statistik deskriptif untuk 87 tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) tiang SQ30

	Data PDA		Analisa CAPWAP			P Jack (Ton)	Rs/Lp (T/m)	Rb/Ab (T/m ²)
	DFN	Lp	Ru	Rs	Rb			
	(mm/blow)	(m)	(Ton)	(Ton)	(Ton)			
Min	0.01	1.90	13.7	3.30	9.70	12.00	0.62	155.20
Max	14.66	35.10	154.50	135.80	93.70	120.00	14.59	1499.20
Mean	2.01	11.16	104.21	58.92	45.28	84.95	5.84	724.51
STDev	2.09	5.82	23.48	28.96	19.84	19.32	2.59	317.47

Dari Tabel 1, 2, 3, dan 4 diperoleh informasi bahwa nilai *final set* yang ditunjukkan dengan DFN pada tiang bermasalah untuk SQ25 dan SQ30 mempunyai nilai DFN yang besarnya lebih dari 2.5 mm/blow. Syarat maksimum nilai DFN atau final set harus di bawah 2.5 mm/pukulan (Pile Driving Analyzer Manual, PDA-W 2009). Pada tiang bermasalah panjang tiang tertanam (Lp) dan rasio tahanan gesek dengan panjang tiang (Rs/Lp) lebih kecil dari tiang yang tidak bermasalah baik untuk SQ25 maupun

SQ30. Adanya ketidaksesuaian nilai rasio tahanan ujung dengan luas penampang pada tiang bermasalah dan tiang tidak bermasalah untuk tiang SQ25 dan SQ30 menunjukkan bahwa tahanan ujung (Rb) tidak mempengaruhi ketidaksesuaian hasil uji dinamis (PDA Test) dengan besarnya tekanan yang diberikan ke tiang pada alat HSPD dan sebaliknya nilai *final set* (DFN), panjang tiang tertanam (Lp) dan tahanan gesek (Rs) sangat berpengaruh.

Hasil Analisis Grafik Plot Distribusi Data

Dalam penampilan plot grafik tiang SQ25 dan SQ30 baik tiang bermasalah maupun tidak bermasalah, ditampilkan dalam Gambar 6 sampai Gambar 19.

Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan tahanan ultimate total (R_u)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30 baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin panjang tiang tertanam (L_p) akan semakin besar nilai tahanan *ultimate* aksial total (R_u). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 6 dan gambar 13 di bawah.

Hubungan antara final set (DFN) dengan tahanan ultimate aksial total (R_u)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30 baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin besar nilai *final set* nya (DFN) akan semakin kecil nilai tahanan *ultimate* aksial total (R_u). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 7 dan gambar 14 di bawah.

Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan final set (DFN)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30 baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin panjang tiang tertanam (L_p) akan semakin kecil nilai *final set*-nya (DFN). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 8 dan gambar 15 di bawah.

Hubungan antara final set (DFN) dengan rasio (R_u/P Jack)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30, baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin besar nilai *final set*-nya (DFN) akan semakin kecil nilai rasio tahanan *ultimate* aksial tekan terhadap gaya tekan alat HSPD (R_u/P Jack). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 9 dan gambar 16 di bawah.

Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan rasio (R_u/P Jack)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30 baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin panjang tiang tertanam (L_p) akan semakin besar nilai rasio tahanan *ultimate* aksial tekan dengan gaya tekan alat HSPD (R_u/P Jack). Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 10 dan gambar 17 di bawah.

Hubungan antara efisiensi hammer dengan tahanan total (R_s)

Untuk tiang SQ25 baik tiang bermasalah (*Problem Pile*) maupun tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin besar nilai efisiensi *hammer* akan semakin kecil tahanan *ultimate* friksinya (R_s) begitupun tiang SQ30 untuk tiang yang tidak bermasalah. Pada tiang SQ30 untuk tiang yang bermasalah terlihat semakin besar nilai efisiensi *hammer* akan semakin besar tahanan *ultimate* friksinya (R_s), dan dengan pola penyebaran yang tidak merata atau lebih mengelompok. Untuk lebih

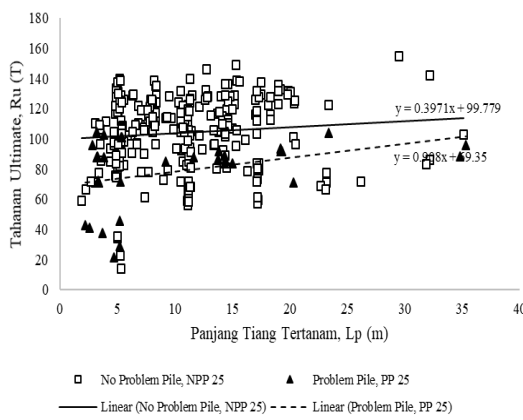
jelasan dapat dilihat pada gambar 11 dan gambar 18 di bawah.

Hubungan antara efisiensi hammer dengan tahanan total (Rb)

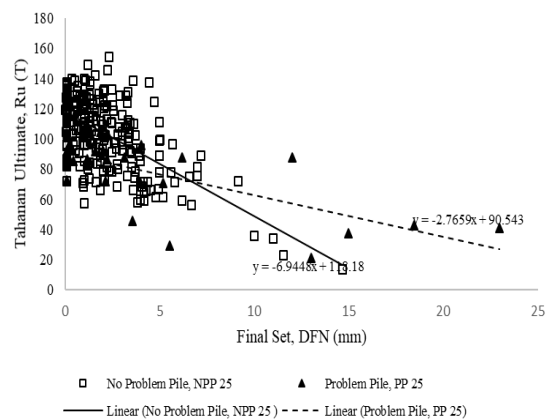
Untuk tiang SQ25 dan SQ30 pada pada tiang yang bermasalah (*Problem Pile*) semakin besar nilai efisiensi *hammer* akan semakin kecil tahanan *ultimate*

ujungnya dan untuk tiang tidak bermasalah (*No Problem Pile*) terlihat semakin besar nilai efisiensi *hammer* akan semakin besar tahanan *ultimate* ujungnya (Rb) dan dengan pola penyebaran yang merata. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar 12 dan gambar 19 di bawah.

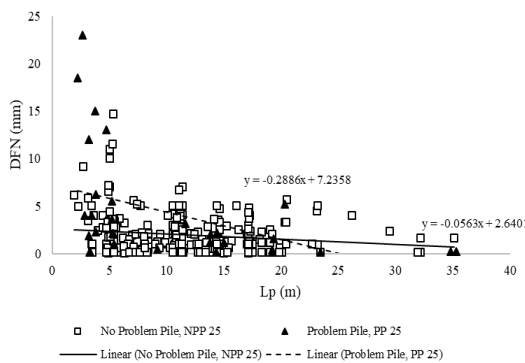
Grafik Plot Distribusi Data SQ25



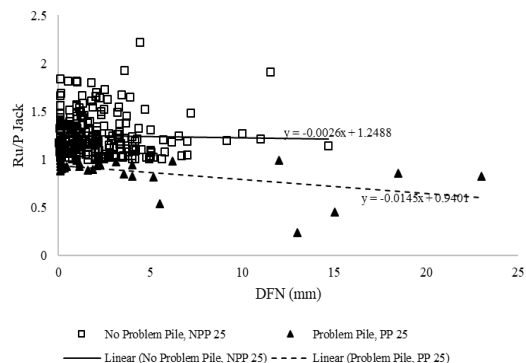
Gambar 6. Hubungan antara panjang tiang tertanam (Lp) dengan tahanan total (Ru)



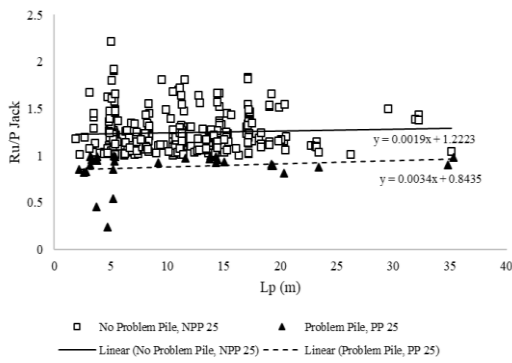
Gambar 7. Hubungan antara final set (DFN) dengan tahanan total (Ru)



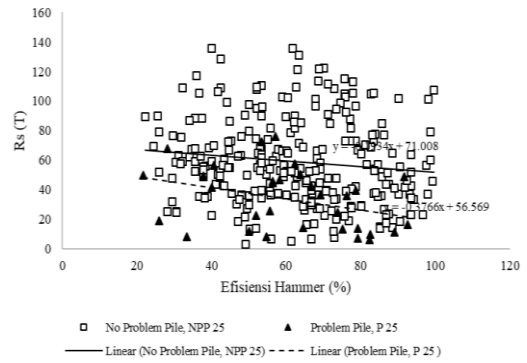
Gambar 8. Hubungan antara panjang tiang tertanam (Lp) dengan final set (DFN)



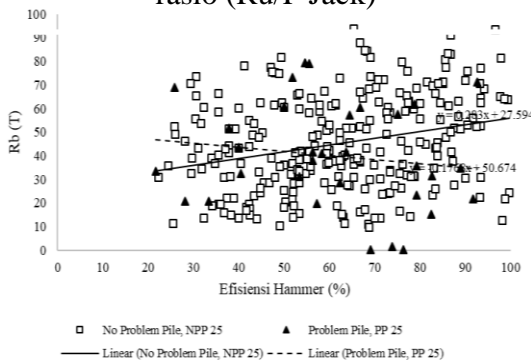
Gambar 9. Hubungan antara final set (DFN) dengan rasio (Ru/P Jack)



Gambar 10. Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan rasio (R_u/P Jack)

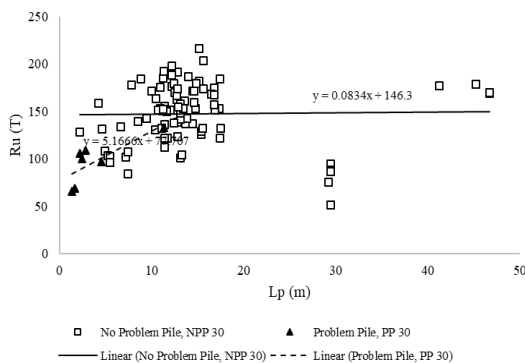


Gambar 11. Hubungan antara efisiensi hammer dengan tahanan total (R_s)

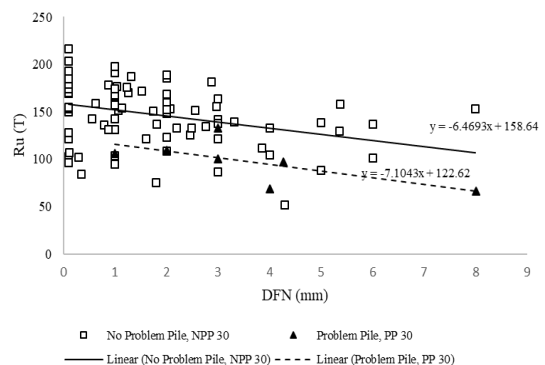


Gambar 12. Hubungan antara efisiensi *hammer* dengan tahanan total (R_b)

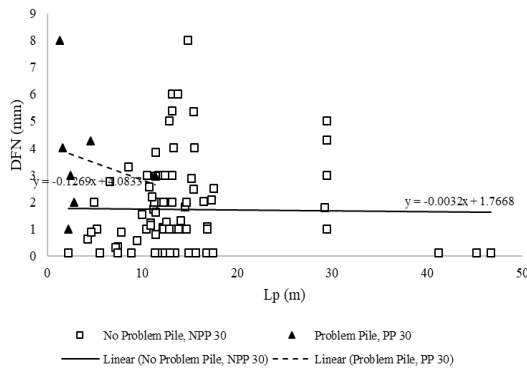
Grafik Plot Distribusi Data SQ30



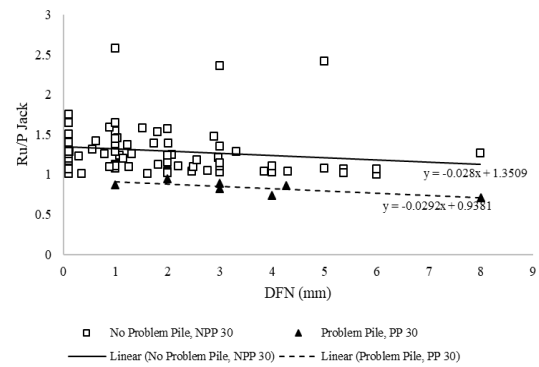
Gambar 13. Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan tahanan total (R_u)



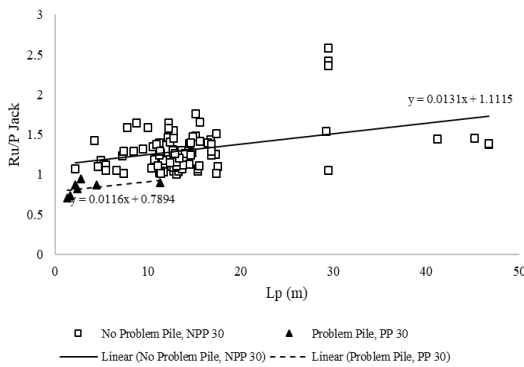
Gambar 14. Hubungan antara *final set* (DFN) dengan tahanan total (R_u)



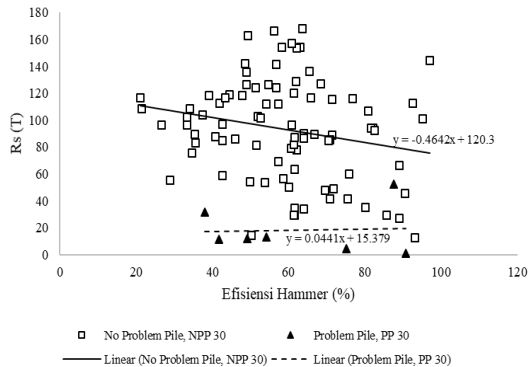
Gambar 15. Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan *final set* (DFN)



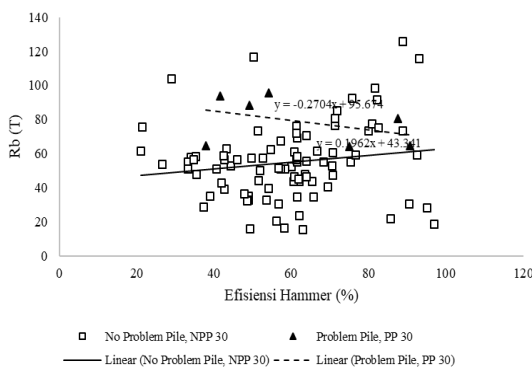
Gambar 16. Hubungan antara *final set* (DFN) dengan rasio (R_u/P Jack)



Gambar 17. Hubungan antara panjang tiang tertanam (L_p) dengan rasio (R_u/P Jack)



Gambar 18. Hubungan antara efisiensi hammer dengan tahanan total (R_s)



Gambar 19. Hubungan antara efisiensi *hammer* dengan tahanan total (R_b)

Pembahasan

Berdasarkan hasil pengamatan analisis regresi linear pada grafik plot yang sudah dibuat, diperoleh bahwa masing-masing variabel DFN dan LP memiliki pengaruh pada tahanan *ultimate* aksial tekan baik pada data SQ25 maupun pada data SQ30.

Diperoleh Nilai DFN rata-rata pada Problem Pile SQ25 adalah 4.13 mm/blow dan SQ30 adalah 3.61 mm/blow, melebihi dari *final set* yang disarankan (DFN < 2.5 mm/blow) dan DFN rata-rata pada No Problem Pile SQ25 adalah 2.01 mm/blow dan SQ30 adalah 1.72 mm/blow (Memenuhi dari *final set* yang disarankan < 2.5 mm/blow)

Panjang tiang tertanam rata-rata (L_p rata-rata) pada Problem Pile SQ25 adalah 10.75 m dan panjang tiang tertanam rata-rata pada No Problem Pile (L_p rata-rata) adalah 11.16 m, dapat disimpulkan bahwa semakin panjang tiang tertanam semakin besar kapasitas aksial yang dicapai. (L_p NPP > L_p PP). Panjang tiang tertanam rata-rata (L_p rata-rata) pada Problem Pile SQ30 adalah 3.73 m dan panjang tiang tertanam rata-rata pada No Problem Pile (L_p rata-rata) adalah 14.58 m, dapat disimpulkan bahwa semakin panjang tiang tertanam semakin besar kapasitas aksial yang dicapai. (L_p NPP > L_p PP)

Untuk tiang SQ25 dan SQ30 pada grafik hubungan antara efisiensi *hammer* dengan R_b dan R_s dapat diketahui bahwa pola penyebaran R_b pada *Problem Pile* lebih merata dan seragam dengan R_b pada *No Problem Pile*, dan dapat juga disimpulkan

bahwa R_s merupakan salah satu faktor yang mempengaruhi terjadinya kegagalan hasil uji (R_u CAPWAP/P Jack < 1)

Berdasarkan pengamatan di lapangan untuk tiang pancang dengan model pemancangan sistem tekan dalam satu lokasi proyek, pada hasil uji dinamis (PDA Test), kapasitas aksial tekan yang diperoleh lebih berpeluang gagal terjadi untuk panjang tiang pancang yang tertanam lebih pendek dibanding dengan panjang tiang pancang tertanam lebih panjang dan juga terkonfirmasi dengan terjadinya penurunan akhir (DFN) yang besar. Hal tersebut didasarkan pada hubungan grafik dalam gambar 6 dan gambar 13 (Hubungan L_p dan R_u) semakin pendek tiang tertanam akan semakin kecil hasil kapasitas ujinya, gambar 7 dan gambar 14 (Hubungan DFN dan R_u) semakin besar nilai penurunan akhirnya semakin kecil kapasitas aksial hasil uji, serta gambar 8 dan gambar 15 (Hubungan L_p dan DFN) semakin pendek tiang tertanam akan semakin besar penurunan akhir yang terjadi.

SIMPULAN

Pada tiang yang bermasalah baik SQ25 maupun SQ30 yaitu lebih rendahnya hasil uji PDA Test dibandingkan dengan hasil tekan pada alat HSPD lebih disebabkan pada *final set* yang terjadi (DFN > 2.50 mm/blow), tiang tertanam yang lebih pendek dan juga dipengaruhi oleh nilai tahanan *ultimate* friksi (R_s) yang dapat dilihat pada pola penyebaran di grafik tidak seragam atau lebih mengelompok.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis ucapkan terima kasih kepada para staf PT. Geotesting Utama Engineering dalam pengumpulan data-data uji dan analisisnya.

DAFTAR PUSTAKA

- André Querelli & Faïçal Massad., 2017, *Simplified Hiley's Formula Calibration For Precast Concrete Piles In Duque De Caxias*, International Conference on Advances in Structural and Geotechnical Engineering, ICASGE'17, 27-30 March 2017, Hurghada, Egypt
- Bowles, J.E., 1996, *Foundation Analysis and Design*, 5th Edition. Singapore: McGraw-Hill Companies, Inc
- Choirus Soleh Rozeli., 2020, *Analysis Of The Carrying Capacity Of The Pile Foundation Compared To Jacking System & Pile Driving Analyzer (PDA) Test (Case Study of Building Construction Projects in the District of DPRD Bangkalan)*, IJTI (International Journal Of Transportation And Infrastructure), Volume 03 Number 02 Maret 2020, ISSN : 2597-4769 (Online) ISSN : 2597-4734 (Cetak)
- F.Rausche., 2002, *Modeling of Vibratory Pile Driving*, Proceedings of the International Conference On Vibratory Pile Driving and Deep Soil Compaction, APA (pp. 21-32)
- Hogg, R.V., McKean, J.W., & Craig, A.T., 2019. *Introduction to Mathematical Statistic*, Boston: Pearson Education, Inc
- Harlan, J., 2018, *Analisis Regresi Linear*, Depok: Gunadarma
- Joko Yulianto., 2017, *Pemilihan Alat Pancang Menggunakan Expert Choice*, Jurnal Riset Rekayasa Sipil Universitas Sebelas Maret 01 September 2017, Hal. 50-58, ISSN. 2579 -7999
- Pile Dynamics, Inc., 2009, *PDA-W Manual of Operation*, Ohio: Pile Dynamics, Inc
- Pile Dynamics, Inc., 2014, *CAPWAP Background Report*, Ohio: Pile Dynamics, Inc
- PT. Geotesting Utama Engineering., 2022, *Report PDA Test Tahun 2020 s/d Tahun 2022*
- PT. Paton Buana Semesta., 2022, *Dokumentasi Alat HSPD pada Pelaksanaan Proyek PT. Formosa Mayong Jepara*
- Rahmat, Utomo, G., & Al Qurina E., 2020, *Analisis Produktivitas Tiang Pancang dengan Jack-In Pile pada Konstruksi Workshop*. Jurnal Transukma. 3 (1). pp. 17-24