

ANALISIS PERBANDINGAN DAYA DUKUNG DAN PENURUNAN TIANG PANCANG TUNGGAL DENGAN METODE STATIK DAN UJI BEBAN

Mutia Suharlin Putri^{1,a}, Yayuk Apriyanti¹, dan Ferra Fahriani¹

¹⁾Jurusan Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung, Kepulauan Bangka Belitung, Indonesia
Kampus Terpadu Universitas Bangka Belitung.

^{a)}email korespondensi : mutiasuharlin@gmail.com

ABSTRAK

Pondasi tiang berfungsi meneruskan beban struktur diatasnya ke lapisan tanah di bawahnya, apabila kekuatan tanah tidak mampu memikul beban pondasi maka penurunan yang berlebihan akan terjadi. Perhitungan daya dukung pondasi didapatkan berdasarkan hasil hitungan metode statik dan hasil pembebanan langsung dilapangan baik berdasarkan uji beban statik dan dinamik. Dalam penelitian ini akan ditentukan daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal menggunakan metode statik berdasarkan data N-SPT yang dihitung dengan Metode Meyerhof(1976), Metode Briaud et.al(1985), Metode Shio&Fukui (1982) dan Metode Luciano Decourt (1987). Kemudian dibandingkan pula daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan hasil uji beban yaitu uji beban statik atau *Static Loading Test* (SLT) yang interpretasinya dihitung dengan Metode Chin(1971), Metode Davisson (1972) dan Metode Mazurkiewicz(1972) serta pada uji beban dinamik menggunakan data hasil pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan CAPWAP. Selain itu dibandingkan pula penurunan tiang tunggal menggunakan metode statik yaitu Metode Vesic(1970) dibandingkan terhadap penurunan berdasarkan hasil uji beban statik dan dinamik yaitu CAPWAP dan *Static Loading Test* (SLT). Berdasarkan hasil penelitian didapatkan nilai rasio perbandingan daya dukung pondasi tiang, metode Shio & Fukui (1982) merupakan metode statik yang paling mendekati hasil uji beban (Metode Mazurkiewicz, 1972). Dengan rasio perbandingan 1,10 pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dan rasio perbandingan 1,17 pada TP No.297/TP No.16 (BH-3). Untuk nilai rasio perbandingan penurunan pondasi tiang, metode Luciano Decourt (1987) merupakan metode statik yang paling mendekati hasil uji beban. Dengan rasio perbandingan 1,08 terhadap hasil analisa Program CAPWAP pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dan rasio perbandingan 1,05 terhadap hasil pengujian *Static Loading Test* (SLT) pada TP No.297/TP No.16 (BH-3).

Kata kunci : pondasi, daya dukung, penurunan, metode statik, uji beban

PENDAHULUAN

Peranan pondasi yang sangat penting dikarenakan berfungsi untuk meneruskan beban struktur di atasnya ke lapisan tanah di bawahnya yang apabila kekuatan tanah tidak mampu memikul beban pondasi, maka penurunan yang berlebihan atau keruntuhan dari tanah akan terjadi, hal tersebut akan menyebabkan kerusakan konstruksi yang berada di atas pondasi. Oleh karena itu dalam perencanaannya, perencana terlebih dahulu menentukan daya dukung rencana yang harus dicapai oleh setiap tiang dalam menopang beban diatasnya dan biasanya belum dianggap sempurna. Sehingga masih perlu dilakukan perhitungan kapasitas dan pengujian pada tiang pondasi, sebagai *quality insurance* bahwa daya dukung tiang pondasi di lapangan memenuhi daya dukung yang direncanakan. Hasil hitungan kapasitas dukung tiang yang didasarkan pada teori mekanika tanah, kadang-kadang masih perlu dicek dengan mengadakan uji beban tiang di lapangan untuk meyakinkan hasilnya.

Uji beban tiang adalah suatu metode yang digunakan dalam pemeriksaan terhadap sejumlah beban yang dapat didukung oleh suatu struktur pondasi tiang. Uji beban diperlukan untuk membuktikan akurasi perhitungan desain kapasitas daya dukung tiang di lapangan. Dengan didukung *instrument monitoring system* yang memadai maka uji beban bisa berjalan

dengan baik. Ada dua jenis metode uji beban, yaitu *Static Loading Test* dan *Dynamic Loading Test*.

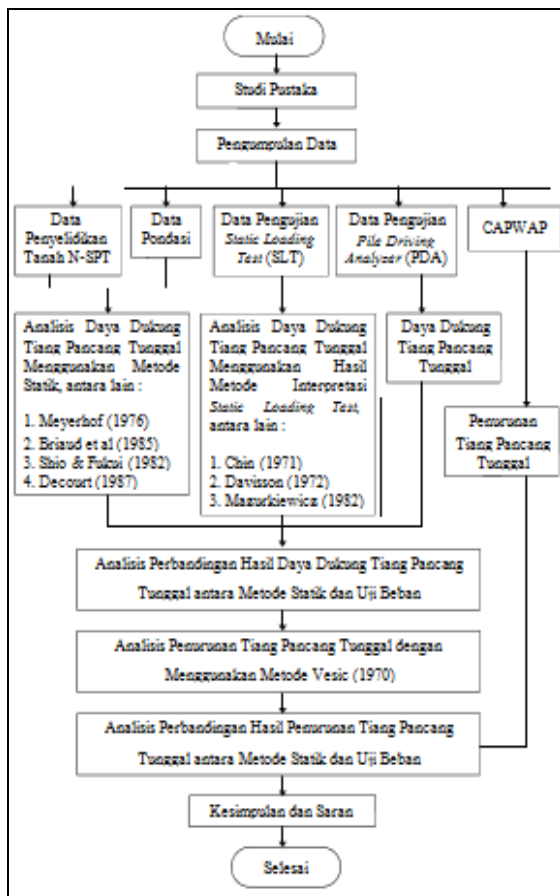
Static Loading Test (SLT) adalah metode pengujian tiang pondasi menggunakan beban statis artinya beban digunakan bersifat diam, baik itu intensitasnya ataupun arah garis kerjanya. Metode ini juga dapat mengukur ketahanan tiang, sehingga jika ada bagian tiang yang rusak dapat dilakukan perbaikan dengan cepat. Sedangkan *Dynamic Loading Test* merupakan pengujian tiang pondasi dengan menggunakan *Pile Driving Analyzer* (PDA) yang didasarkan pada analisa data rekaman getaran gelombang yang terjadi pada waktu tiang dipukul dengan palu pancang.

Dalam penelitian ini akan ditentukan daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal menggunakan metode statik. Kemudian dibandingkan pula daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan hasil uji beban yaitu uji beban statik atau *Static Loading Test* (SLT).

METODE PENELITIAN

Tahap penelitian ini, seperti yang terlihat pada diagram alir penelitian pada Gambar 1. Data penelitian yang digunakan dalam analisis daya dukung tiang pancang dan penurunan tiang pancang ini berupa data hasil penyelidikan tanah (SPT), data pondasi tiang pancang,

data pengujian *Static Loading Test* (SLT), data pengujian *Pile Driving Analyzer* (PDA), dan analisa program CAPWAP.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tiang pancang yang digunakan adalah *square pile* dengan dimensi 30 x 30 cm. Data penyelidikan tanah yang digunakan meliputi 2 titik untuk data bor log (N-SPT). Letak titik penyelidikan tanah di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Kepulauan Bangka Belitung ini ditempatkan di daerah yang sama dengan titik pengujian *Static Loading Test* (SLT) dan diperkirakan dapat mewakili kondisi tanah pada proyek tersebut.

Analisis Daya dukung tiang pancang tunggal menggunakan kapasitas ultimit tiang dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji penetrasi standar (SPT). Kapasitas daya dukung ultimit tiang pancang menggunakan data N-SPT dihitung dengan beberapa metode antara lain Metode Meyerhof (1976), Metode Briaud et al (1985), Metode Shioi & Fukui (1982) dan Metode Luciano Decourt (1987).

Untuk menghitung daya dukung ultimit persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut ini:

$$Q_u = A_b \cdot f_b + A_s \cdot f_s \dots\dots\dots (1)$$

dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit

A_b = Luas ujung tiang

A_s = Luas selimut tiang

f_b = Tahanan ujung satuan tiang .

f_s = Tahanan gesek satuan tiang

Metode Meyerhof (1976)

$$f_b = 0,4 N_{60}' (L/d) \sigma_r \leq 3 N_{60}' \sigma_r \dots\dots\dots (2)$$

dengan,

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

L = Kedalaman penetrasi tiang (m)

N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan

$$f_s = \frac{1}{50} \sigma_r N_{60} \dots\dots\dots (3)$$

dengan,

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan saja.

Metode Briaud et al (1985)

$$f_b = 19,7 \sigma_r (N_{60}')^{0,36} \dots\dots\dots (4)$$

$$f_s = 0,224 \sigma_r (N_{60}')^{0,29} \dots\dots\dots (5)$$

dengan,

σ_r = Tegangan referensi = 100 kN/m²

N_{60} = N-SPT yang dikoreksi terhadap pengaruh prosedur lapangan dan tekanan *overburden*

Metode Shio & Fukui (1956)

$$f_b = 0,3 p_a N_{60} \dots\dots\dots (6)$$

dengan,

p_a = Tekanan atmosfer (1000 kN/m² atau 2000 psf).

N_{60} = Nilai SPT rata-rata pada 4D di bawah dan 10D di atas ujung tiang.

$$f_s = 2 N_{55} \dots\dots\dots (7)$$

dengan,

N_{55} = Harga N-SPT rata-rata tahanan selimut.

Metode Decourt (1987)

Pada perumusan Luciano Decourt (1987) dibutuhkan suatu nilai k yang dimaksud sebagai nilai koefisien yang tergantung dari jenis tanah yang akan dipakai, nilai k tersebut dapat dilihat pada Tabel 1:

$$Q_u = (A_p N_p k) + (A_s (N_s / 3 + 1)) \dots\dots\dots (8)$$

Harga N di lapangan yang berada di bawah muka air harus dikoreksi dahulu untuk menjadi N design (N_1) dengan persamaan Terzaghi dan Peck:

$$N_1 = 15 + 0,5(N - 15) \dots\dots\dots (9)$$

dengan,

Q_u = Daya dukung ultimit tiang (ton)

A_p = Luas penampang ujung tiang (m²)

N_p = Rata-rata dari harga SPT mulai 4D di bawah ujung tiang hingga 4D di atas tiang (m²)

k = koefisien yang tergantung dari jenis tanah, lihat tabel 2.1

A_s = Luas selimut tiang (m²)

N_s = Harga SPT rata-rata pada lapisan tanah sepanjang tiang yang ditinjau.

Tabel 1. Nilai k

Jenis Tanah	$k \text{ (t/m}^2\text{)}$
Lempung	12
Lanau Lempung	20
Lanau Berpasir	25
Pasir	40

Sumber : Decourt L., 1987

Analisis Daya Dukung tiang berdasarkan interpretasi *Static Loading Test* dianalisis dengan beberapa metode, dalam penelitian ini yaitu Metode Chin (1971), Metode Davisson (1972), dan Metode Mazurkiewicz (1972).

1. Metode Chin (1971)

Prosedur penentuan beban ultimit dari metode Chin adalah sebagai berikut:

- Gambarkan kurva antara rasio penurunan terhadap beban (S/Q) terhadap penurunan.
- Tarik garis lurus yang mewakili titik-titik yang telah digambarkan, dengan persamaan garis tersebut adalah:

$$S/Q = C_1 S + C_2 \dots\dots\dots (10)$$

Hitungan C_1 persamaan garis yang telah ditentukan.

Beban ultimit (Q_{ult}) digambarkan sebagai:

$$Q_u = 1/C_1 \dots\dots\dots (11)$$

dengan,

- S = Settlement
 Q = Penambahan beban
 C_1 = Kemiringan garis lurus
 CF = Faktor koreksi = 1,2 - 1,4

Metode Davisson (1972)

Prosedur penentuan beban ultimit dari pondasi tiang dengan menggunakan metode ini adalah:

- Gambarkan kurva beban terhadap penurunan.
- Penurunan elastis dapat dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\Delta = \frac{Q \times L}{A \times E} \dots\dots\dots (12)$$

dengan,

- Δ = Penurunan elastis
 Q = Beban yang diterapkan
 L = Panjang tiang
 E = Modulus elastisitas tiang
 A = Luas penampang tiang

Tarik garis OA berdasarkan persamaan penurunan elastis.

Tarik garis BC yang sejajar dengan garis OA dengan

jarak x , dimana x adalah:

$$X = 0,15 + (D/120) \dots\dots\dots (13)$$

D adalah diameter atau sisi tiang dalam satuan *inchi*.

Perpotongan antara kurva beban-penurunan dengan garis lurus merupakan daya dukung ultimit.

Metode Mazurkiewicz (1972)

Prosedur penentuan beban ultimit dari pondasi tiang dengan menggunakan metode ini adalah:

- Gambarkan kurva beban terhadap penurunan.
- Tentukan beberapa titik pada sumbu penurunan yang telah ditentukan hingga memotong kurva dan tarik garis sejajar sumbu penurunan hingga memotong sumbu beban.

Dari perpotongan setiap beban tersebut, tarik garis yang membentuk sudut 45° terhadap garis perpotongan berikutnya, dan seterusnya.

Tarik garis lurus yang mewakili titik-titik yang terbentuk. Perpotongan garis lurus ini dengan sumbu beban merupakan beban ultimit dari tiang)

Metode yang digunakan untuk menghitung penurunan pada pondasi tiang tunggal adalah menggunakan Metode Empiris (Vesic, 1970). Rumus yang digunakan yaitu:

$$S_1 = \frac{D}{100} + \frac{QL}{A_p E_p} \dots\dots\dots (14)$$

- S = Penurunan pondasi tiang tunggal
 D = Diameter tiang
 Q = Daya dukung tiang
 L = Panjang tiang
 A_p = Luas penampang tiang
 E_p = Modulus elastisitas bahan tiang beton

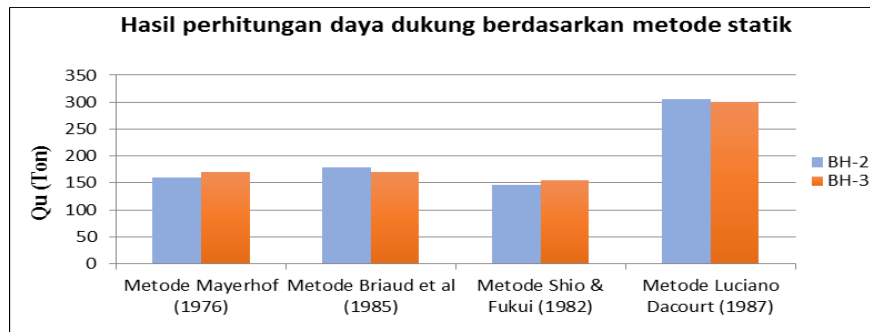
HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Metode Statik

Perhitungan daya dukung pondasi menggunakan data *Standar Penetration Test* (N-SPT) yang didapat di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Kepulauan Bangka Belitung menggunakan 2 titik pengujian yaitu pada titik pengujian *Bore Hole* 2 (BH-2) dengan kedalaman 15 m dan pada titik pengujian *Bore Hole* 3 (BH-3) dengan kedalaman 14 m. Dan didapatkan hasil perhitungan pada Tabel 2 serta grafik pada Gambar 2 berikut ini :

Tabel 2. Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data N-SPT

Metode statis berdasarkan data tanah N-SPT	Qu (ton)	
	BH-2	BH-3
Metode Mayerhof (1976)	159,264	169,524
Metode Briaud et al (1985)	178,399	170,800
Metode Shio & Fukui (1982)	146,057	155,280
Metode Luciano Dacourt (1987)	305,143	300,800



Gambar 2. Grafik hasil perhitungandaya dukung berdasarkan metode statik

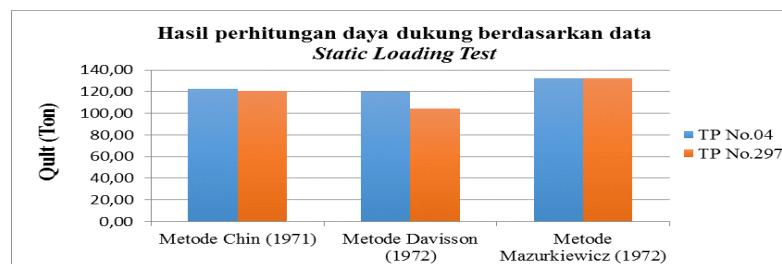
Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Metode Interpretasi *Static Loading Test* (SLT)

Perhitungan daya dukung pondasi menggunakan data *Static Loading Test* (SLT) yang didapat di Proyek Pembangunan Gedung Kantor Perwakilan Bank Indonesia Provinsi Kepulauan

Bangka Belitung menggunakan 2 titik pengujian yaitu pada titik pengujian TP No.04 dengan kedalaman 15 m dan pada titik pengujian TP No.297 dengan kedalaman 14 m. Dan didapatkan hasil perhitungan pada Tabel 3 serta grafik pada Gambar 3 berikut ini :

Tabel 3. Hasil perhitungan daya dukung berdasarkan data *Static Loading Test*

Metode interpretasi <i>Static Loading Test</i>	Qult (ton)	
	TP No. 04	TP No.297
Metode Chin (1971)	122,55	120,77
Metode Davisson (1972)	120,00	104,50
Metode Mazurkiewicz (1972)	132,50	132,30



Gambar 3. Grafik hasil interpretasi daya dukung berdasarkan data *Static Loading Test*

Analisis Perbandingan Hasil Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal antara Metode Statik dan Uji Beban

Hasil dari perbandingan antara hasil perhitungan daya dukung ultimit (Qu) menggunakan Metode Statik terhadap hasil daya

dukung ultimit tiang (Qult) pengujian *Static Loading Test* (SLT), *Pile Driving Analyzer* (PDA) dan Analisa Program CAPWAP pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dapat dilihat pada tabel 4, sedangkan pada TP No.297/TP No.16 (BH-3) dapat dilihat pada tabel 5 berikut ini :

Tabel 4. Rasio daya dukung ultimit (Qu) antara metode statik terhadap hasil uji beban pada TP No.04/TP No.89 (BH-2)

Qu (Ton)		Uji Beban Statik (<i>Static Loading Test</i>)			Uji Beban Dinamik	
		Metode Chin (1971)	Metode Davisson (1972)	Metode Mazurkiewicz (1972)	PDA	CAPWAP
		122,55	120,00	132,50	128	130,85
Metode Meyerhof (1976)	1,30	1,33	1,20	1,24	1,22	1,35
Metode Briaud et al (1985)	1,46	1,49	1,35	1,39	1,36	1,36
Metode Shio & Fukui (1982)	1,19	1,22	1,10	1,14	1,12	1,24
Metode Luciano Decourt (1987)	2,49	2,54	2,30	2,38	2,33	2,40

Tabel 5. Rasio daya dukung ultimit (Q_u) antara metode statik terhadap hasil uji beban pada TP No.297/TP No.16 (BH-3)

Q_u (Ton)		Uji Beban Statik (<i>Static Loading Test</i>)			Uji Beban Dinamik	
		Metode Chin (1971)	Metode Davisson (1972)	Metode Mazurkiewicz (1972)	PDA	CAPWAP
		120,77	104,50	132,30	124	125,27
Metode Meyerhof (1976)	169,524	1,40	1,62	1,28	1,37	1,35
Metode Briaud et al (1985)	170,800	1,41	1,63	1,29	1,38	1,36
Metode Shio & Fukui (1982)	155,280	1,29	1,49	1,17	1,25	1,24
Metode Luciano Decourt (1987)	300,800	2,49	2,88	2,27	2,43	2,40

Ket :



Rasio daya dukung ultimit (Q_u)

Berdasarkan perbandingan antara hasil perhitungan daya dukung ultimit (Q_u) menggunakan Metode Statik terhadap hasil daya dukung ultimit tiang (Q_{ult}) pengujian *Static Loading Test* (SLT), PDA dan Program CAPWAP pada TP No.04/ TP No.89 (BH-2) dan TP No.297/ TP No.16 (BH-3) , maka diketahui metode statik yang paling mendekati dengan hasil pengujian SLT, PDA dan Program CAPWAP yaitu Metode Shio & Fukui (1982).

Analisis Penurunan Tiang Pancang Tunggal

Salah satu metode yang digunakan untuk menghitung penurunan pada pondasi tiang tunggal adalah menggunakan metode empiris Vesic (1970). Beban yang digunakan untuk menghitung penurunan menggunakan hasil dari perhitungan metode statik yang telah didapatkan. Hasil perhitungan dapat dilihat pada Tabel 6.

Analisis Perbandingan Hasil Penurunan Tiang Pancang Tunggal antara Metode Statik dan Uji Beban

Hasil dari perbandingan antara hasil perhitungan penurunan (S) menggunakan Metode Statik terhadap hasil penurunan tiang pada pengujian *Static Loading*

Test (SLT) dan Analisa Program CAPWAP pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dapat dilihat pada tabel 7, sedangkan pada TP No.297/TP No.16 (BH-3) dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 6. Hasil penurunan menggunakan metode statik (Vesic, 1970)

Metode statik berdasarkan data tanah N-SPT	Penurunan (mm)	
	BH-2	BH-3
Metode Mayerhof (1976)	10,987	10,935
Metode Briaud et al (1985)	11,947	10,994
Metode Shio & Fukui (1982)	10,325	10,268
Metode Luciano Decourt (1987)	18,303	17,079

Berdasarkan perbandingan antara hasil perhitungan penurunan (S) menggunakan metode Vesic (1970) berdasarkan daya dukung ultimit (Q_u) pada metode statik terhadap hasil daya dukung ultimit tiang (Q_{ult}) pengujian *Static Loading Test* (SLT) dan Program CAPWAP pada TP No.297/TP No.16 (BH-3) dan TP No.297/ TP No.16 (BH-3), maka diketahui ada metode pengujian yang paling mendekati dengan hasil pengujian SLT dan Program CAPWAP yaitu Metode Luciano Decourt (1987).

Tabel 7. Rasio penurunan antara metode statik terhadap hasil uji beban pada TP No.04/TP No.89 (BH-2)

Penurunan (mm)		<i>Static Loading Test</i>	CAPWAP
		7,953	17,0
Metode Meyerhof (1976)	10,987	1,38	0,65
Metode Briaud et al (1985)	11,947	1,50	0,70
Metode Shio & Fukui (1982)	10,325	1,30	0,61
Metode Luciano Decourt (1987)	18,303	2,30	1,08

Tabel 8. Rasio penurunan antara metode statik terhadap hasil uji beban pada TP No.297/TP No.16 (BH-3)

Penurunan (mm)		Static Loading Test	CAPWAP
		16,318	15,0
Metode Meyerhof (1976)	10,935	0,67	0,73
Metode Briaud et al (1985)	10,994	0,67	0,73
Metode Shio & Fukui (1982)	10,268	0,63	0,68
Metode Luciano Decourt (1987)	17,079	1,05	1,14

Ket : Rasio penurunan (S)

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan dan pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Pada perbandingan daya dukung pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan metode statik dan uji beban, didapatkan nilai rasio perbandingan yang kemudian diketahui bahwa hasil metode Shio & Fukui (1982) merupakan metode statik yang paling mendekati hasil uji beban (Metode Mazurkiewicz, 1972). Dengan rasio perbandingan 1,10 pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dan rasio perbandingan 1,17 pada TP No.297/TP No.16 (BH-3). Dengan demikian, berdasarkan hasil rasio tersebut maka Metode Shio & Fukui (1982) merupakan metode statik yang paling disarankan dalam menghitung perencanaan daya dukung tiang pancang tunggal.
2. Pada perbandingan penurunan pondasi tiang pancang tunggal berdasarkan metode statik dan uji beban, didapatkan nilai rasio perbandingan yang kemudian diketahui bahwa hasil metode Luciano Decourt (1987) merupakan metode statik yang paling mendekati hasil uji beban. Dengan rasio perbandingan 1,08 terhadap hasil analisa Program CAPWAP pada TP No.04/TP No.89 (BH-2) dan rasio perbandingan 1,05 terhadap hasil pengujian *Static Loading Test* (SLT) pada TP No.297/TP No.16 (BH-3). Dengan demikian, berdasarkan hasil rasio tersebut maka Metode Luciano Decourt (1987) merupakan metode statik yang paling

disarankan dalam menghitung perencanaan penurunan tiang pancang tunggal.

DAFTAR PUSTAKA

- Adriani, R.N., 2013, *Analisa Daya Dukung Tiang Spunpile dengan Metode Uji Pembebanan Statik (Loading Test)*, Jurnal Teknik Sipil Tanjung Pura.
- ASTM D1143-07 Standart Test Method for Deep Foundations Under Static Axial Compressive Load, 2007, *Annual Book of ASTM Standards*, United States.
- ASTM D4945-12 Standart Test Method for High-Strain Dynamic Testing of Deep Foundations, 2012, *Annual Book of ASTM Standards*, United States.
- Bowles, J.E., 1998, *Analisis dan Desain Pondasi*, Jilid 1, Edisi ke-4, Silaban, P., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Bowles, J.E., 1998, *Analisis dan Desain Pondasi*, Jilid 2, Edisi ke-4, Silaban, P., Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2014, *Analisis dan Perancangan Fondasi I*, Edisi ke-3, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H.C., 2015, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Edisi ke-3, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Rahardjo, P.P., 2015, *Manual Pondasi Tiang*, Universitas Katolik Parahyangan, Bandung.