



MODIFIKASI KOEFISIEN DAYA DUKUNG AKSIAL PONDASI TIANG BERDASARKAN BACK ANALYSIS PADA DATA LOADING TEST

Fauzi Lukman Najib*, Herwan Dermawan, Rakhmat Yusuf

Program Studi Teknik Sipil Fakultas Pendidikan Teknologi dan Kejuruan Universitas Pendidikan
Indonesia, Bandung, Indonesia

*Corresponding author, email: fauziluqmann@gmail.com

ABSTRACTS

The axial bearing capacity of the pile foundation is needed to determine the number of foundations required to carry the structural load. Calculation of the axial bearing capacity pile foundation produces a carrying capacity different from the results of loading tests in the field. The difference between the bearing capacity design with loading test result can make a waste of the number of poles used. To make effective use of the number of piles, the bearing capacity design is necessary to modify the coefficient so that bearing capacity design is closer to the results of the loading test. The result of the modification the bearing capacity of the clay soil in an increase that is not much different from the initial coefficient but is strongly influenced by the value of the internal friction angle which can make the coefficient increase twice. For cohesionless soil, ultimate base resistance there is an average value of 56.75 tsf for N-SPT 50.

ARTICLE INFO

Article history:

Submitted/Received: 12
September 2021

First revised: 10 November 2021

Accepted: 25 November 2021

First Available online: 28
Desember 2021

Publication Date: 01 Januari
2022

Keywords:

Bearing capacity, Coefficient,
modification, Loading test, Pile
foundation

1. PENDAHULUAN

Pondasi merupakan suatu konstruksi paling bawah yang berfungsi untuk meneruskan beban ke tanah. Tanah berfungsi sebagai media penahan beban dari struktur yang dibuat di atasnya. Kekuatan tanah memikul suatu beban yang diteruskan pondasi disebut daya dukung tanah. Nilai dari daya dukung akan mempengaruhi jumlah tiang yang digunakan dalam mendesain pondasi untuk menahan beban struktur.

Daya dukung tanah dapat dihitung menggunakan beberapa metode pendekatan yang berbeda. Dimana metode-metode analisis daya dukung tanah mengacu kepada koefisien, parameter dan beberapa faktor yang mempunyai nilai dalam sebuah interval dari berbagai jenis dan kondisi tanah. Beberapa metode masih menggunakan metode korelasi dari luar negeri yang karakteristiknya tanahnya dapat berbeda dengan kondisi di Indonesia (Das, 1995).

Dalam hal ini penentuan nilai koefisien dari interval yang ada merupakan hal penting dalam analisis, pasalnya dalam beberapa kasus yang terjadi hasil analisis yang didapat berbeda dengan hasil dari pengujian di lapangan baik itu pengujian tiang static maupun dinamik. Dengan demikian perubahan daripada nilai koefisien yang ada dapat mendekati hasil antara perhitungan kapasitas daya dukung dan hasil interpretasi loading test (Bouafia, 2002).

Maka dari itu diperlukan penelitian dengan melihat pengaruh dari beberapa faktor yang dapat merubah hasil dari analisa kapasitas daya dukung pondasi tiang yang mendekati hasil pengujian di lapangan. Hal ini dapat berguna untuk mengurangi jumlah pondasi dalam suatu konstruksi dan menghemat nilai proyek (Zumrawi dan Elnour, 2016).

2. METODE

Lokasi penelitian pada penelitian ini adalah di beberapa proyek pada kota Jakarta. Berikut merupakan lokasi detail proyek yang akan ditinjau;

2.1. Data- Data Penelitian

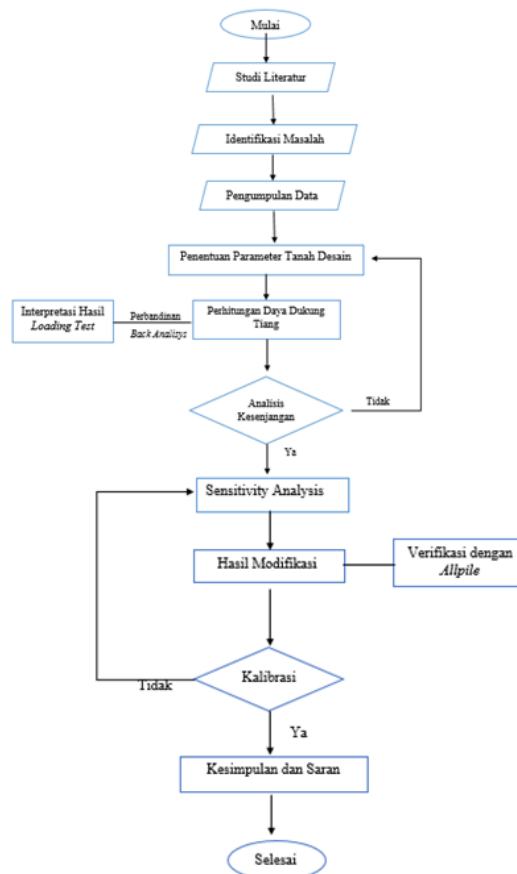
Data umum yang digunakan dalam penelitian berupa data hasil lapangan dari project yang telah dilaksanakan. Data hasil lapangan yang digunakan merupakan pekerjaan hasil penyelidikan tanah lapangan, data hasil laboratorium, dan data hasil pengujian desain. Dalam tahap persiapan penelitian data akan dikategorikan menjadi 4 jenis (Dias & Bezuijen, 2018).

1. Hasil pengujian static loading test tiang bor
2. Hasil pengujian static loading test tiang pancang
3. Hasil pengujian PDA Dynamic test tiang bor
4. Hasil pengujian PDA Dynamic test tiang pancang

2.2. Teknik Analisis

Secara garis besar prosedur penelitian dipaparkan sebagai berikut:

1. Studi literature dan pengelompokan data
2. Analisis data yang terdiri dari :
 - Penentuan nilai parameter tanah
 - Perhitungan daya dukung empirik
 - Hasil daya dukung dari pengujian tiang
 - Penyesuaian pengambilan parameter dengan sensitivity analysis
 - Analisis modifikasi rumus empirik
 - Kalibrasi dengan software Allpile



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Parameter Tanah

Nilai parameter ditentukan berdasarkan kondisi tanah yang didapat dari data lapangan dan data uji laboratorium. Parameter tanah yang diperlukan untuk analisis daya dukung yaitu berat isi tanah, kuat geser tanah (c_u), sudut geser dalam. Untuk lapisan yang tidak memiliki

data uji laboratorium maka digunakan nilai dari korelasi yang telah ada (Fakharian, K., & Khanmohammadi, M. 2022).

Tabel 1. Analisis Daya Dukung

Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Panjang (m)	Tanah Ujung	Daya Duk
						Ujung (ton)
Bintaro Pavillion	BP 204	1	60	24.5	pasir	75
	BP 23	1	80	24	pasir	132.52
	BP 70	1	80	22.8	pasir	147.25
	BP 61	2	80	25.9	pasir	132.52
	BP 147	3	80	22.5	pasir	196
Soho Pancoran	BP 32	1	100	26	pasir	307
	BP 44	1	100	24	pasir	306.77
	BP 87	3	100	24	pasir	306.77
Tree Park City Cikokol	BP 196	9	80	31.25	lempung	54
	BP 281	8	80	30.1	lempung	36.10
Menara Selaras Semanggi	TP 1	DB-01	120	45	lempung	201.54
	TP 2	BH-02	100	45	lempung	91.89

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Tabel 2. Interpretasi Loading Test

Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Panjang (m)	Tanah Ujung	Loading Test	
						Ujung (ton)	Selimut (ton)
Bintaro Pavillion	BP 204	1	60	24.5	pasir	34.3	537.2
	BP 23	1	80	24	pasir	35	796.9
	BP 70	1	80	22.8	pasir	111.8	667.5
	BP 61	2	80	25.9	pasir	10.3	512.1
	BP 147	3	80	22.5	pasir	236.5	321.17
Soho Pancoran	BP 32	1	100	26	pasir	507	953
	BP 44	1	100	24	pasir	434	863
Tree Park CityCikokol	BP 87	3	100	24	pasir	430.6	1107.36
	BP 196	9	80	31.25	lempung	120.8	440.2
nara Selaras Semanggi	BP 281	8	80	30.1	lempung	93.9	440.830
	TP 1	DB-01	120	45	lempung	496.0	1754.02
	TP 2	BH-02	100	45	lempung	185.9	1364.06

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Hasil dari uji beban tiang diinterpretasikan kedalam daya dukung tiang. *Dynamic Loading Test* (PDA) terdapat hasil daya dukung selimut tiang dan ujung tiang pada hasil dari analisis CAPWAP (Kosasi, Budi & Wijaya, 2014).

3.2. Selisih Hasil Daya Dukung Dengan Loading Test

Hasil daya dukung ultimit dari tiang pancang maupun tiang bor terdapat selisih daya dukung dari hasil analisis dan juga hasil loading test. Pada tiang bor rata-rata selisih pada nilai daya dukung ujung sebesar 126.89 ton, selisih maksimum sebesar 294.44 ton dan selisih terkecil didapat nilai 40.15 ton. Daya dukung selimut tiang juga terdapat selisih yang cukup besar dengan rata-rata selisih sebesar 189.93 ton, selisih selimut maksimum sebesar 416.63 ton dan selisih minimum sebesar 31.33 ton (Dussa & Mujawar, 2018).

DOI:

Tabel 3. Modifikasi Koefisien Daya Dukung

No	Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Panjang (m)	Tanah Ujung	Analisis		Loading Test			Selisih Ujung (ton)	Selisih Selimut (ton)
							Ujung (ton)	Selimut (ton)	Ujung (ton)	Selimut (ton)	Tipe		
1	Bintaro Pavillion	BP 204	1	60	24.5	pasir	75	121	34.3	537.2	PDA	416.63	
		BP 23	1	80	24	pasir	132.52	658.62	35	796.9	PDA	138.28	
		BP 70	1	80	22.8	pasir	147.25	494.78	111.8	667.5	PDA	172.72	
		BP 61	2	80	25.9	pasir	132.52	433.18	10.3	512.1	PDA	78.92	
		BP 147	3	80	22.5	pasir	196	290	236.5	321.17	Statik	40.15	31.33
2	Soho Pancoran	BP 32	1	100	26	pasir	307	807	507	953	PDA	200.23	145.62
		BP 44	1	100	24	pasir	306.77	712.28	434	863	PDA	127.23	150.72
		BP 87	3	100	24	pasir	306.77	893.92	430.6	1107.36	Statik	123.87	213.44
3	Tree Park City Cikokol	BP 196	9	80	31.25	lempung	40	269	120.8	440.2	Statik	81.02	170.93
		BP 281	8	80	30.1	lempung	39.81	283.1	93.9	440.83	Statik	54.12	157.73
		TP 1	DB-01	120	45	lempung	201.54	1495.25	496	1754.02	Statik	294.44	258.77
4	Selaras Semanggi	TP 2	BH-02	100	45	lempung	91.89	1026.66	185.9	1364.06	Statik	94.04	337.41

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

3.3. Modifikasi Koefisien Daya Dukung Tiang Bor

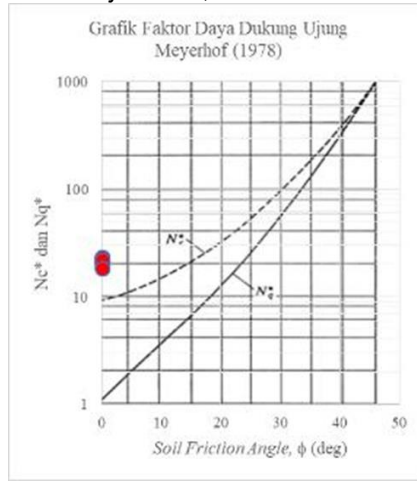
Sebaran data ultimate base resistance dapat diambil nilai minimum Ultimate Base Resistance untuk tanah pasir dengan NSPT 50 = 48.62 tsf. Nilai maksimum pada sebaran data Ultimate Base Resistance adalah 64.88 tsf dan untuk nilai tengah pada sebaran data tersebut didapat 56.72 (Mijena, 2012).

Tabel 4. Koefisien Daya Dukung Ujung Lempung

No	Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Bentuk	Tanah Ujung	Panjang (m)	Nspt Ujung	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
									Koef Ujung	Ujung
1	Paradise Mansion	IP 107	1	60	Spun	Lempung	20	50	21.6	122.1
		IP 2 No.47 7	2	50	Square	Lempung	19	50	22	85.3
2	Yos Sudarso	IP 06 No.50 5	3	50	Square	Lempung	18.7	50	176	169.3
		IP 19 No.24 6	3	50	Square	Lempung	18.5	50	200	196.999
3	Tamansari Prama	IP No.1	2	60	Spun	Lempung	25	33	224	220.6
		IP No.2	1	60	Spun	Lempung	25.5	48	22.6	87.6

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

DOI:



Gambar 2. Grafik Faktor Daya Dukung Ujung Meyerhof (1978)

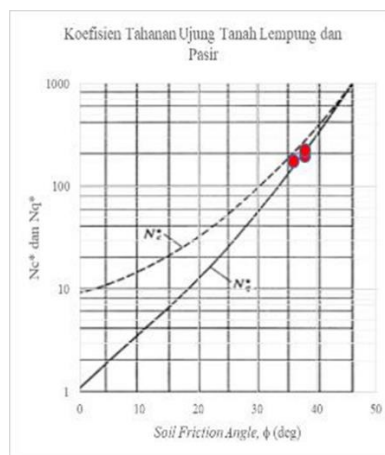
Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Pada desain umumnya nilai N_c^* pada tanah lempung bernilai 9. Klasifikasi untuk N_c^* 9 menurut hasil temuan dalam percobaan modifikasi diharuskan kategori lempung murni yang tidak memiliki sudut geser dalam. Apabila lempung tersebut memiliki sudut geser dalam maka kenaikan dari nilai koefisien N_c^* sangat berpengaruh (Thai, P. B., et.al. 2022).

Tabel 5. Koefisien Daya Dukung Ujung Pasir

No	Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Bentuk	Tanah Ujung	Panjang (m)	Ø (deg)	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
									Koef Ujung	Ujung
1	Yos Sudarso	IP 9 No. 293	3	50	Square	Pasir	17.5	36	176	169.3
		IP 16 No. 103	1	50	Square	Pasir	17	38	200	196.999
		IP 17 No.15	1	50	Square	Pasir	18	38	224	220.6

Sumber: Hasil Olah Data (2022)



Gambar 3. Koefisien Tahanan Ujung Tanah Lempung dan Pasir

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

DOI:

Hasil modifikasi koefisien N_q^* untuk tahanan ujung tanah pasir ini berada tidak jauh dari garis dalam grafik yang dibuat oleh Meyerhoff. Koefisien yang diperoleh pada 3 tiang yang ujung tiangnya berada pada tanah pasir, nilai koefisien N_q^* berada diatas garis Meyerhoff yang digunakan selama ini untuk mencari tahanan ujung tiang pancang pada tanah pasir.

Tabel 6. Koefisien Selimut Lempung Alfa Reese

No	Proyek	No Tiang	Bor	Diameter (cm)	Panjang (m)	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
						α	metode α
1	Bintaro Pavillion	BP 204	1	60	24.5	0.6709	537.18
		BP 23	1	80	24	0.8125	796.85
		BP 70	1	80	22.8	0.718	667.48
		BP 61	2	80	25.9	0.603	512.1
		BP 147	3	80	22.5	0.652	321.11
2	Soho Pancoran	BP 32	1	100	26	0.6663	952.96
		BP 44	1	100	24	0.7675	862.95
		BP 87	3	100	24	0.6635	1107.31
3	Tree Park City Cikokol	BP 196	9	80	31.25	0.77	439.78
		BP 281	8	80	30.1	0.685	440.3
4	Menara Selaras Semanggi	TP 1	DB - 01	120	45	0.6115	1753.97
		TP 2	BH - 02	100	45	0.7306	1363.77

Sumber: Hasil Olah Data (2022)



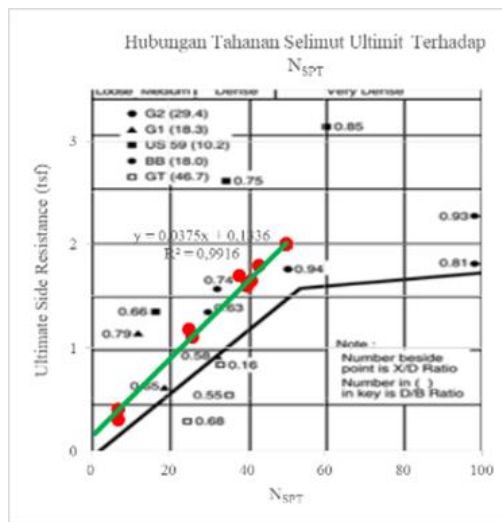
Gambar 4. Fluktuasi Koefisien Alfa

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Nilai 0.5889 dapat menjadi batas minimum koefisien α untuk tiang bor. Sementara nilai rata rata untuk koefisien α tiang bor dari sebaran data didapat sebesar 0.7045. untuk digunakan dalam desain dapat menggunakan batas minimum ataupun rata-rata apabila pertimbangannya memadai (Nurdian, Seytando dan Afriani, 2015).

Bintaro Pavvilion			Solo Pancoran			Menara Selaras Semanggi		
No. Tiang	NSPT	ultimate shaft resistance (tsf)	No. Tiang	NSPT	ultimate shaft resistance (tsf)	No. Tiang	NSPT	ultimate shaft resistance (tsf)
BP 23	13	0.55	BP 44	50	2	TP 01	43	1.8
	38	1.7		41	1.65		50	2
	50	2	40	1.6	50		2	
	50	2	BP 87	26	1.1			
13	0.7	50		2				
BP 70	38	1.5	BP 27	50	2			
	50	2		25	1.18			
	50	2		50	2			
BP 174	7	0.4						
	50	2						
	50	2						
BP 61	7	0.4						
	50	2						
	50	2						

Sumber: Hasil Olah Data (2022)



Gambar 5. Hubungan Tahanan Selimut Ultimit Terhadap N_{SPT}

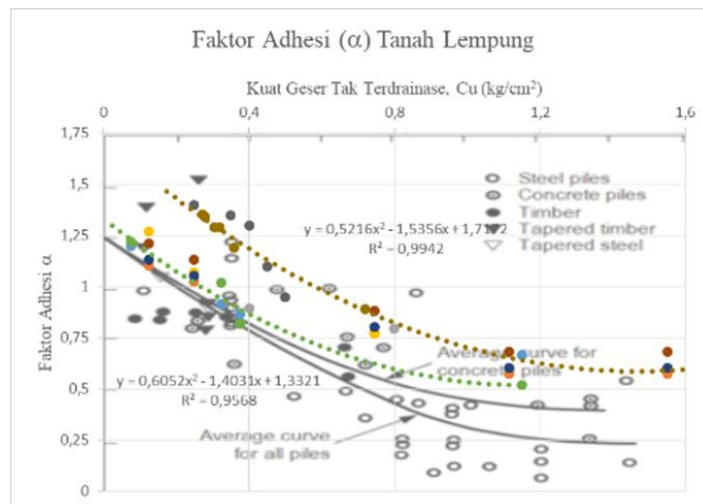
Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Grafik hasil plot Ultimate Shaft Resistance hasil modifikasi menunjukkan bahwa, nilai Ultimate Shaft Resistance memiliki kenaikan dari grafik semula. Sebaran data Ultimate Shaft Resistance modifikasi berada diatas grafik yang dibuat oleh Reese and Wirght (Sekaran, U., et. al. 2021).

Tabel 8. Koefisien Selimut Lempung Alfa

No	Proyek	No. Tiang	Bor	Diameter (cm)	Bentuk	Tanah Ujung	Panjang (m)	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
								$\alpha(\alpha+\alpha_0)$	Metode α (ton)
1	Paradise Mansion	IP 107	1	60	Spun	Lempung	20	0.193	300.8
		IP 2 No. 477	2	50	Square	Lempung	19	0.024	166.4
2	Yos Sudarso	IP 9 No. 293	3	50	Square	Pasir	17.5	0.17	102.3
		IP 16 No. 103	1	50	Square	Pasir	17	0.117	101.957
		IP 17 No. 15	1	50	Square	Pasir	18	0.02	105.5
		IP 06 No. 05	2	50	Square	Lempung	18.7	0.053	167.5
		IP 19 No. 246	2	50	Square	Lempung	18.5	0.133	181
		IP No. 1	2	60	Spun	Lempung	25	0.197	214.2
3	Tamansari Prama	IP No. 2	1	60	Spun	Lempung	25.5	0.191	227.1

Sumber: Hasil Olah Data (2022)



Gambar 6. Faktor Adhesi tanah Lempung

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Garis merah menunjukkan rata-rata dari hasil modifikasi terhadap nilai kuat geser tak terdrainase (cu).Garis coklat menunjukkan hasil modifikasi tertinggi untuk metode dan garis hijau adalah hasil metode terendah dari metode. Grafik yang direkomendasikan oleh Tomlinson memiliki sebaran data yang cukup banyak dan diambil nilai rata-rata untuk grafik yang digunakan. Seluruh sebaran data hasil temuan berada diatas grafik rata-rata yang

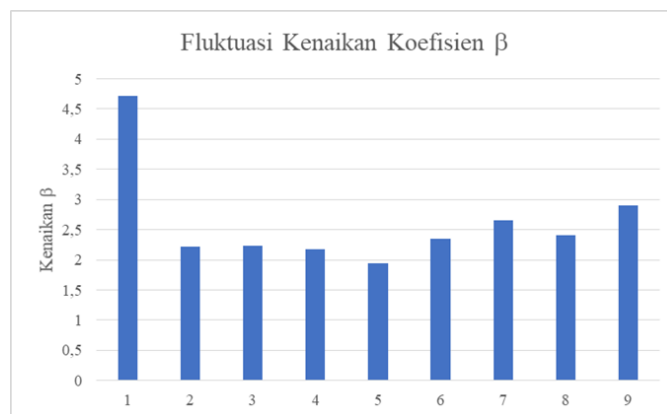
DOI:

direkomendasikan oleh Tomlinson. Hal ini menyebabkan terjadinya selisih daya dukung apabila menggunakan grafik Tomlinson. Grafik baru hasil temuan dapat digunakan memiliki kenaikan rata rata sebesar sebesar 0.122 yang ditunjukkan oleh garis merah. Apabila selisih dari hasil daya dukung bisa dikurangi maka dapat mengefektifkan jumlah tiang yang digunakan.

Tabel 9. Koefisien Selimut Lempung Beta

No	Proyek	No. Tiang	Bor	Diameter (cm)	Bentuk	Tanah Ujung	Panjang (m)	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
								$\beta(\beta+\beta_0)$	Metode β (ton)
1	Paradise Mansion	IP 107	1	60	Spun	Lempung	20	4.71	300.5
2	Yos Sudarso	IP 2 No. 477	2	50	Square	Lempung	19	2.22	165.7
		IP 9 No. 293	3	50	Square	Pasir	17.5	2.234	102.9
		IP 16 No. 103	1	50	Square	Pasir	17	2.18	101.146
		IP 17 No. 15	1	50	Square	Pasir	18	1.94	105.2
		IP 06 No. 05	2	50	Square	Lempung	18.7	2.35	167.4
		IP 19 No. 246	2	50	Square	Lempung	18.5	2.65	181.1
3	Tamansari Prama	IP No. 1	2	60	Spun	Lempung	25	3.04	226
		IP No. 2	1	60	Spun	Lempung	25.5	3.06	240

Sumber: Hasil Olah Data (2022)



Gambar 7. Fluktuasi Kenaikan Koefisien β

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

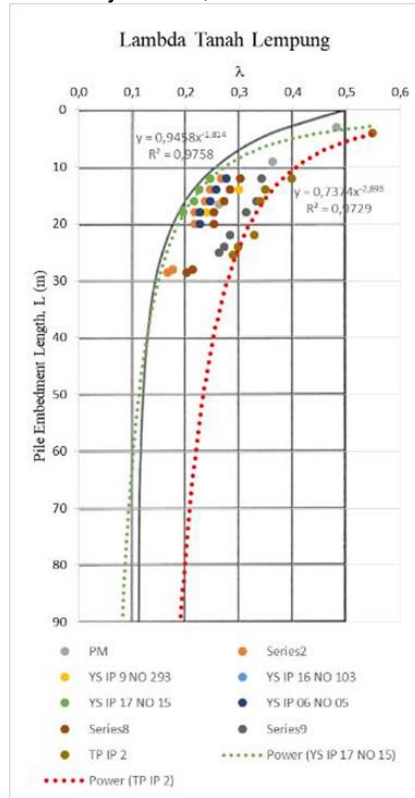
Hasil modifikasi koefisien yang didapatkan memiliki kenaikan yang sangat signifikan yaitu rata –rata sebesar 2.62 kalilipat dari yang semula. Kenaikan beta yang signifikan kemungkinan disebabkan karena ketidkasesuaian metode analisis dengan perbandingan hasil loading test dilapangan (Sundaram dan Gupta, 2016).

Tabel 10. Koefisien Selimut Lempung Lambda

No	Proyek	No. Tiang	Bor	Diameter (cm)	Bentuk	Tanah Ujung	Panjang (m)	Hasil Modifikasi Koef	Hasil Daya Dukung Modifikasi
								$\lambda(\lambda+\lambda_0)$	Metode λ (ton)
1	Paradise Mansion	IP 107	1	60	Spun	Lempung	20	0.132	301.2
		IP 2 No. 477	2	50	Square	Lempung	19	0.036	166.1
2	Yos Sudarso	IP 9 No. 293	3	50	Square	Pasir	17.5	0.089	102.9
		IP 16 No. 103	1	50	Square	Pasir	17	0.038	102.211
		IP 17 No. 15	1	50	Square	Pasir	18	0.015	105.9
		IP 06 No. 05	2	50	Square	Lempung	18.7	0.0458	167.8
		IP 19 No. 246	2	50	Square	Lempung	18.5	0.072	181.5
3	Tamansari Prama	IP No. 1	2	60	Spun	Lempung	25	0.132	226.3
		IP No. 2	1	60	Spun	Lempung	25.5	0.148	240

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

Hasil dari kenaikan koefisien lambda kemudian diplot kedalam grafik dari Vijayvergiya & Focht terhadap kedalaman dari tiang. Sebaran data yang telah diplotkan diambil grafik batas atas, batas bawah serta garis tengah diantara sebaran data yang ada. Batas bawah dari hasil modifikasi mendekati dengan grafik yang direkomendasikan oleh Vijayvergiya & Focht berdasarkan kedalaman tiang yang tertanam (Xiao dan Yang, 2011).



Gambar 8. Lambda Tanah Lempung

Sumber: Hasil Olah Data (2022)

4. KESIMPULAN

Dalam studi modifikasi koefisien daya dukung aksial pondasi tiang berdasarkan *back analysis* pada data *loading test* ini disimpulkan bahwa parameter tanah yang berpengaruh dalam analisis daya dukung aksial pondasi tiang diantaranya adalah nilai kuat geser tanah tak terdarainase (cu) untuk tanah lempung. Terdapat selisih yang cukup signifikan antara hasil daya dukung dengan hasil *loadng test* terutama pada nilai daya dukung selimut. Tiang pancang menghasilkan selisih daya dukung ujung maksimal adalah 72,07 ton dan daya dukung selimut metode alfa menghasilkan selisih maksimum sebesar 76.5 ton, metode beta menghasilkan selisih maksimum 237 ton sementara metode lambda menghasilkan selisih maksimum sebesar 132,82 ton. Tiang Bor menghasilkan selisih ujung maksimum sebesar 294,44 ton dan daya dukung selimut menghasilkan selisih maksimum sebesar 416,63 ton. Modifikasi koefisien daya dukung ujung (*end bearing*) dari metode mayerhoff untuk tanah lempung sangat diperngaruhi oleh sudut geser dalam menjadikan koefisien naik menjadi dua kali lipat dari nilai 9. Pada tanah pasir hasil plot masih lebih tinggi dalam SPT 50 dari grafik yang direkomendasikan oleh reese. Daya dukung selimut (*shaft resistance*) metode alpha untuk tiang pancang terdapat modifikasi grafik baru yang berada diatas grafik yang direkomendasikan sebelumnya. . Nilai pada metode alpha untuk tiang bor menjadi 0.694 diambil dari rata rata sebaran data koefisien alpha untuk tiang bor. Pada modifikasi koefisien beta kenaikan yang terjadi cukup besar yaitu 2.22. Hal ini kemungkinan karena

DOI:

ketidakcocokan metode perbandingan yang digunakan. Metode ketiga yaitu koefisien membuat grafik baru yang berada dibawah grafik Vijayvergiya & Focht.

REFERENSI

- Bouafia, A., & Derbala, A. (2002). Assessment of SPT-based method of pile bearing capacity—analysis of a database. *In Proceedings of the International Workshop on Foundation Design Codes and Soil Investigation in View of International Harmonization and Performance-Based Design* (pp. 369-374).
- Das, B. M. (1995). Mekanika tanah (prinsip-prinsip rekayasa geoteknis) Jilid 1 Alih Bahasa oleh Ir. Noor E. Mochtar. M. Sc (*Doctoral dissertation, Ph. D. dan Ir. Indrasurya B. Mochtar M. Sc., Ph. D.* Jakarta: Erlangga).
- Dias, T. G. S., & Bezuijen, A. (2018). Load-transfer method for piles under axial loading and unloading. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 144(1), 04017096.
- Dussa, P. S., & Mujawar, K. C. (2016). New approach for determination of bearing capacity of soil using direct shear test (Lab test). *Int J Innov Eng Technol (IJJET)*, 7, 426-430.
- Fakharian, K., & Khanmohammadi, M. (2022). Effect of OCR and Pile Diameter on Load Movement Response of Piles Embedded in Clay over Time. *International Journal of Geomechanics*, 22(7), 04022091.
- Kosasi, M., Wijaya, D. H., & Budi, G. S. (2014). Korelasi daya dukung pondasi tiang antara static loading test dengan pile driving analyzer. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, 3(2).
- Mijena, E. H. (2012). *A comparison of friction piles bearing capacity based on theoretical and empirical mathematical models* (Master's thesis, Institutt for bygg, anlegg og transport).
- Nurdian, S., Setyanto, S., & Afriani, L. (2015). Korelasi parameter kekuatan geser tanah dengan menggunakan uji triaksial dan uji geser langsung pada tanah lempung substitusi pasir. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Disain (JRSDD)*, 3(1), 13-25.
- Sekaran, U., Lai, L., Ussiri, D. A., Kumar, S., & Clay, S. (2021). Role of integrated crop-livestock systems in improving agriculture production and addressing food security—A review. *Journal of Agriculture and Food Research*, 5, 100190.
- Sundaram, R., & Gupta, S. (2016). Back-analysis of pile load test results—a case study. *ISRM India Journal-Half Yearly Technical Journal of Indian National Group of ISRM*, 5(2), 30-35.

DOI:

- Thai, P. B., Nguyen, D. D., Thi, Q. A. B., Nguyen, M. D., Vu, T. T., & Prakash, I. (2022). Estimation of load-bearing capacity of bored piles using machine learning models. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 44(4).
- Xiao, D., & Yang, H. (2011). Back analysis of static pile load test for SPT-based pile design: a Singapore experience. In *Advances in Pile Foundations, Geosynthetics, Geoinvestigations, and Foundation Failure Analysis and Repairs* (pp. 144-152).
- Zumrawi, M. M., & Elnour, H. (2016). Predicting bearing strength characteristics from soil index properties. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 7(2), 266-277.