

**ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG
DIVERIFIKASI DENGAN HASIL UJI *PILE DRIVING ANALYZER*
TEST DAN *CAPWAP*
(Studi Kasus Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel
di Pangkalpinang)**

Andi Yusti

Alumni Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Email:andiyusti.ay@gmail.com

Ferra Fahriani

Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Universitas Bangka Belitung
Email:f2_ferra@yahoo.com

ABTRAK

*Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997). Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi dan penurunan pondasi yang tepat. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis dan membandingkan daya dukung pondasi tiang tunggal secara analitis dan numeris dengan pengujian dinamik tes di lapangan atau *Pile Driving Analyzer (PDA)* dan *CAPWAP*. Secara analitis, perhitungan dilakukan dengan analisis manual menggunakan metode Bagemann, deRuiter dan Beringen, Mayerhof (1976), Mayerhof (1956), α , Tomlinson (1977) yang dilakukan dengan menghitung kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data-data dari lapangan yang didapat dari pengujian CPT dan SPT, sedangkan numeris yaitu menghitung dengan menggunakan metode elemen hingga menggunakan program *Plaxis 2D V.8*. Perhitungan dilakukan pada dua titik pengujian dilapangan yaitu titik S1, S2 untuk pengujian CPT sedangkan pengujian SPT yaitu titik BH1, BH2 yang akan diverifikasi dengan pengujian *PDA* dan *CAPWAP* pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang. Dari hasil analisis secara manual dan program, dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof (1956) memiliki nilai rentang paling kecil dibandingkan dengan metode-metode lainnya yang diverifikasi dengan pengujian *PDA* dan *CAPWAP*. Nilai Q_u sebesar 128,298 ton berbanding 118 ton, dan 102 ton pada titik BH1. Sedangkan pada titik BH2 Q_u sebesar 118,679 ton berbanding 165 ton, dan 163 ton.*

Kata kunci : *Pondasi, Daya dukung pondasi, Plaxis 2D, PDA, CAPWAP.*

PENDAHULUAN

Bangunan struktur gedung sipil terdiri dari struktur atas dan struktur bawah. Bangunan struktur atas terdiri dari konstruksi kolom, balok, plat, dll.

Sedangkan untuk struktur bawah terdiri dari konstruksi pondasi. Pondasi adalah struktur bagian bawah bangunan yang berhubungan langsung dengan tanah, atau bagian bangunan yang terletak dibawah

permukaan tanah yang mempunyai fungsi memikul beban bagian bangunan lain diatasnya (Joseph E. Bowles, 1997).

Pondasi merupakan bagian penting dari satu bangunan sipil, pondasi sebagai dasar penahan beban terdasar dari suatu konstruksi. Jalan, gedung, jembatan, bendungan, dan konstruksi sipil lainnya tanpa pondasi yang kuat pasti akan mengalami kegagalan konstruksi. Pada pengaplikasian dilapangan sering mengesampingkan analisis daya dukung pondasi yang tepat. Desain pondasi hanya berdasarkan pengalaman pribadi, sehingga penulis menganggap hal ini perlu di angkat karena pondasi menjadi landasan terpenting dari keberhasilan dalam bangunan sipil.

Pondasi ada dua jenis, yaitu pondasi dangkal dan pondasi dalam. Pondasi dangkal adalah pondasi yang tidak membutuhkan galian tanah terlalu dalam karena lapisan tanah dangkal sudah cukup keras, apalagi bangunan yang akan dibangun hanya rumah sederhana. Sedangkan pondasi dalam adalah pondasi yang membutuhkan pengeboran atau pemancangan dalam karena lapisan tanah yang keras berada di kedalaman cukup dalam, biasanya digunakan oleh bangunan besar, jembatan, struktur lepas pantai, dan sebagainya. Jenis pondasi dalam terbagi lagi menjadi dua, yaitu pondasi tiang dan pondasi bor. Tiang pancang merupakan salah satu contoh jenis pondasi tiang pada pondasi dalam. Penentuan jenis pondasi yang akan digunakan dipengaruhi beberapa faktor, diantaranya adalah kedalaman tanah keras, jenis tanah pada lokasi, dan beban yang akan dipikul oleh pondasi. Jenis tanah

lempung (*clay*) dengan tanah keras yang terletak pada kedalaman yang dalam dan apabila beban yang harus dipikul pondasi besar sangat cocok digunakan pondasi tiang pancang sebagai pilihan dalam konstruksi bangunan.

Ada beberapa metode yang dapat digunakan untuk perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang. Pemilihan metode yang digunakan tergantung dengan parameter data tanah yang dipakai. Pengujian tanah dilapangan yang paling sering dilakukan biasanya terdiri dari uji sondir dan bor log.

Pembahasan dalam penelitian ini adalah analisis daya dukung pondasi tiang pancang secara manual, program dengan beberapa metode yang akan diverifikasi dengan hasil dinamik tes dilapangan yaitu *PDA* dan *CAPWAP*. *PDA* (*Pile Driving Analyzer*) adalah sistem yang paling banyak digunakan untuk pengujian beban secara dinamik dan pengawasan pemancangan di dunia. *PDA* akan menghasilkan keluaran (*output*) berupa daya dukung ultimit pondasi (Q_u). Penginputan data *PDA* yang dianalisis dengan *CAPWAP* akan menghasilkan keluaran (*output*) berupa daya dukung ultimit pondasi (Q_u), daya dukung gesek tiang (Q_s), Daya dukung ujung tiang (Q_u), penurunan total, dan penurunan maksimum pada tiang.

TINJAUAN PUSTAKA **Parameter-Parameter Tanah**

Ada beberapa parameter-parameter tanah yang menjadi acuan untuk mendapatkan korelasi data laboratorium berdasarkan observasi di lapangan. Hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT)

selain mendapatkan nilai ($N-SPT$), juga dapat diketahui struktur geologi tanah pada titik lokasi pengujian. Dengan melakukan pendekatan struktur geologi tanah dapat diketahui angka pori (e), kadar air dalam

keadaan jenuh (w), berat volume kering, dan berat jenis tanah (G_s) untuk mendapatkan korelasi data yang akan digunakan untuk analisis daya dukung pondasi tiang pancang

Tabel 1 Hasil interpretasi data tanah titik BH1

Data Lapangan			Data Korelasi					
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	G_s	e	w (%)	c_u (kN/m ²)	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)
0-5,50	Lempung	6,4	2,715	1,15	40	36,667	1,768	1,798
5,5-7,7	Lanau	7,5	2,65	0,4	15	50	2,177	2,179
7,7-11	Lempung	9,2	2,715	1,15	40	60	1,768	1,798
Nop-15	Lempung	26	2,715	1,15	40	180	1,768	1,798
15-28	Lempung	60	2,715	1,15	40	375	1,768	1,798
28-30	Lempung	60	2,715	1,15	40	375	1,768	1,798

Tabel 2 Hasil interpretasi data tanah titik BH 2

Data Lapangan			Data Korelasi					
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	N-SPT	G_s	e	w (%)	c_u (kN/m ²)	γ (t/m ³)	γ_{sat} (t/m ³)
0-5,10	Lempung	7,5	2,715	1,15	40	50	1,768	1,798
5,10-7,60	Lanau	6,667	2,65	0,4	15	36,667	2,177	2,179
7,60-8,85	Lempung	8	2,715	1,15	40	56,667	1,768	1,798
8,85-13,5	Lanau	14,6	2,65	0,4	15	93,333	2,177	2,179
13,5-17	Lanau	39,8	2,65	0,4	15	253,333	2,177	2,179
17-18,5	Pasir	53	2,67	0,45	16	340	2,136	2,152
18,5-24,5	Lanau	56,571	2,65	0,4	15	356,667	2,177	2,179
24,5-30	Lanau	60	2,65	0,4	15	375	2,177	2,179

Kapasitas Dukung Ultimit Tiang Tunggal

Kapasitas dukung tiang adalah kemampuan atau kapasitas tiang dalam mendukung beban (Hardiyatmo, 2011). Jika dalam kapasitas dukung pondasi dangkal satuannya adalah satuan tekanan (kPa) maka dalam kapasitas dukung tiang pancang satuannya adalah satuan gaya (kN). Kapasitas ultimit tiang yang dipancang dalam tanah kohesif, adalah jumlah tahanan gesek sisi tiang dan tahanan ujungnya. Besar tahanan gesek tiang tergantung dari bahan dan bentuk

tiang. Umumnya, bila tanah homogen, tahanan gesek dinding yang berupa adhesi antara sisi tiang dan tanah akan berpengaruh besar pada kapasitas ultimitnya.

Kapasitas dukung ultimit tiang (Q_u), dihitung dengan persamaan umum yaitu :

$$Q_u = Q_b + Q_s \quad \dots\dots\dots(1)$$

$$Q_b = A_b f_b \quad \dots\dots\dots(2)$$

$$Q_s = A_s f_s \quad \dots\dots\dots(3)$$

dengan,

Q_s = kapasitas dukung ultimit tiang (kN)

Q_b = tahanan ujung ultimit (kN)

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_b = luas ujung bawah tiang (m^2)

A_s = luas selimut tiang (m^2)

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m)

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

Metode Bagemann

Untuk tiang dalam tanah kohesif, umumnya, tahanan konus (q_c) dihubungkan dengan kohesi tak terdrainase (*undrained cohesion*) (c_u), yaitu Bagemann, 1965 dalam (Hardiyatmo, 2011) :

$$c_u \cdot N_k = q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)} \dots\dots\dots (4)$$

Nilai N_k berkisar diantara 10-30, tergantung dari sensitifitas, kompresibilitas dan adhesi antara tanah dan mata sondir. Dalam hitungan biasanya N_k diambil antara 15-20. Tahanan ujung tiang diambil pada nilai q_c rata-rata yang dihitung dari 8d diatas dasar tiang sampai 4d dibawah dasar tiang. Tahanan gesek persatuan luas (f_s) dari tiang pancang, secara aman, dapat diambil sama dengan tahanan gesek sisi konus (q_f) Bagemann, 1965 (dalam Hardiyatmo, 2011), yaitu :

$$f_s = q_f \text{ (kN/m}^2\text{)} \dots\dots\dots (5)$$

Kapasitas ultimit tiang pancang, dinyatakan dengan dalam persamaan :

$$Q_u = A_b f_b + A_s f_s \dots\dots\dots (6)$$

Metode deRuiter dan Beringen

Untuk tiang pada lempung, tahanan ujung satuan dari analisis tegangan total seperti halnya pada teori kapasitas dukung pondasi dangkal pada tanah lempung :

$$f_b = 5c_u; \text{ dibatasi } f_b \leq 150 \text{ kg/cm}^2$$

$$(15000 \text{ kN/m}^2) \dots\dots\dots (7)$$

$$c_u = \frac{q_c}{N_k} \dots\dots\dots (8)$$

dengan,

f_b = tahanan ujung satuan, maksimum 150 kg/cm² (15000 kN/m²)

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*)

N_k = koefisien tak berdimensi, nilainya antara 15 sampai 20, biasanya diambil 20.

Untuk tiang pada tanah kohesif (lempung), tahanan gesek satuan ditentukan dari nilai kohesi tak terdrainase ($c_u = q_c / 20 = 0,05q_c$) :

$$f_s = \alpha(q_c / N_k) = 0,05\alpha q_c \dots\dots\dots (9)$$

dengan,

f_s = tahanan gesek satuan, maksimum 1,2 kg/cm² (120 kPa)

c_u = kohesi tak terdrainase (*undrained*)

α = faktor adhesi, diambil 1 untuk lempung terkonsolidasi normal, dan 0,5 untuk lempung terkonsolidasi berlebihan

N_k = koefisien tak berdimensi, nilainya antara 15 sampai 20, biasanya diambil 20.

Metode Mayerhof 1976

Kapasitas ultimit tiang dapat dihitung secara empiris dari nilai N hasil uji SPT. Mayerhof (1976) mengusulkan persamaan untuk menghitung tahanan ujung tiang :

$$Q_u = A_b (38 \bar{N}) (L_u / d) \leq 380 \bar{N} (A_b) \dots\dots\dots (10)$$

dengan $\bar{N}$ adalah nilai N rata-rata yang dihitung dari 8d di atas dasar tiang

sampai 4d di bawah dasar tiang, sedang L/d adalah rasio kedalaman yang nilainya dapat kurang dari L/d bila tanahnya belapis-lapis dan A_b adalah luas ujung bawah tiang.

Untuk tahanan ujung tiang dengan memperhatikan faktor kedalaman, Mayerhof (1976) menyarankan untuk tiang dalam lanau tidak plastis :

$$f_b = 0,4 N_{60}' (L/d) \sigma_r \leq 3 N_{60}' \sigma_r \dots (11)$$

dengan,

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)

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

σ_r = tegangan referensi = 100 kN/m²

L = kedalaman penetrasi tiang (m)

D = diameter tiang (m)

Nilai maksimum dari persamaan diberikan, bila $L/d \geq 7,5$. Dalam menghitung tahanan gesek satuan (f_s), Mayerhof, 1976 (dalam Hardiyatmo, 2011) menyarankan untuk tiang perpindahan besar (tiang pancang) pada tanah kohesif :

$$f_s = \frac{1}{50} \sigma_r N_{60} \dots (12)$$

dengan,

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kN/m²)

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

σ_r = tegangan referensi = 100 kN/m²

Metode Mayerhof 1956

$$Q_u = 40 N_b A_p + 0,2 \bar{N} A_s \dots (13)$$

dengan,

Q_u = kapasitas dukung ultimit tiang (ton)

N_b = harga N-SPT pada elevasi dasar

tiang

A_p = luas penampang dasar tiang (m²)

A_s = luas selimut tiang (m²)

$\bar{N}$ = harga N-SPT rata-rata

Kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan menggunakan koreksi data laboratorium dihitung dengan rumus umum untuk nilai Q_b :

$$Q_b = A_b f_b \dots (14)$$

$$f_b = c_b N_c + p_b \dots (15)$$

dengan,

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kN/m²)

A_b = luas penampang dasar tiang (m²) =
0,3 x 0,3 = 0,09 m²

c_b = c_u pada kedalaman ujung tiang = 13 meter

N_c = faktor kapasitas dukung ($N_c = 9$; Skempton, 1959)

p_b = p_0 ; tekanan overburden ujung bawah tiang.

Metode a

Untuk menentukan tahanan gesek tiang yang dipancang di dalam tanah lempung, digunakan faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974) pada Gambar 3.7. Tahanan gesek tiang dinyatakan oleh persamaan (3.12) :

$$Q_s = A_s f_s \dots (16)$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \dots (17)$$

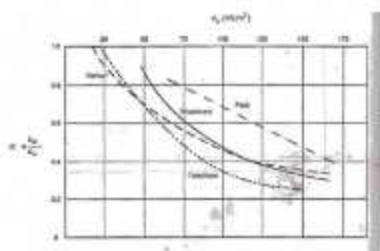
dengan,

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_s = luas selimut tiang (m²)

- f_s = tahanan gesek per satuan luas (kN/m²)
 c_d = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)
 α = faktor adhesi diambil dari Gambar 1
 c_u = kohesi tak terdrainase rata-rata di sepanjang tiang (kN/m²)

Berikut ini gambar faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974):



Gambar 1. Faktor adhesi (α) yang dikumpulkan McClelland (1974)

Metode Tomlinson 1977

Dalam metode Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011), tahanan gesek tiang juga dinyatakan dalam persamaan berikut ini :

$$Q_s = A_s f_s \dots\dots\dots (18)$$

$$f_s = c_d = \alpha c_u \dots\dots\dots (19)$$

dengan,

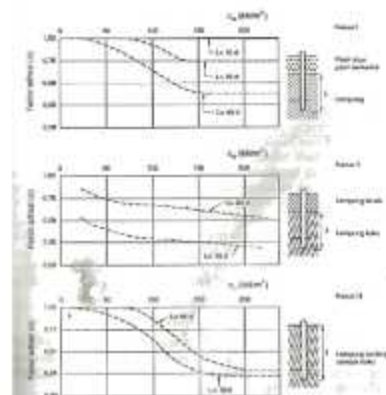
c_d = adhesi antara tiang dan tanah di sekitarnya (kN/m²)

α = faktor adhesi diambil dari Gambar 2

c_u = kohesi undrained (kN/m²)

Untuk faktor adhesi, Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011) memperhatikan pengaruh bentuk-bentuk lapisan tanah

seperti yang diperlihatkan dalam Gambar 2.



Gambar 2. Hubungan antara faktor adhesi dan kohesi untuk tiang pancang dalam tanah lempung (Tomlinson, 1977)

Kapasitas Dukung Tiang Kelompok

Terzaghi dan Peck, (1948) menyatakan kapasitas ultimit dalam persamaan :

$$Q_g = 2D(B+L)c + 1,3c_b N_c BL \dots\dots (20)$$

dengan,

Q_g = kapasitas ultimit kelompok tiang, nilainya harus tidak melampaui nQ_s (dengan n = jumlah tiang dalam kelompoknya) (kN)

c = kohesi tanah di sekelilingi kelompok tiang (kN/m²)

c_b = kohesi tanah di bawah dasar kelompok tiang (kN/m²)

B = lebar kelompok tiang, dihitung dari pinggir tiang-tiang (m)

L = panjang kelompok tiang (m)

D = kedalaman tiang di bawah permukaan tanah (m)

N_c = faktor kapasitas dukung

Faktor pengali 1,3 pada suku persamaan kedua adalah untuk luasan kelompok tiang yang berbentuk empat persegi panjang. Untuk bentuk-bentuk luasan yang lain dapat disesuaikan dengan persamaan-persamaan kapasitas dukung Terzaghi pada pondasi dangkal.

Kapasitas Ijin tiang

Untuk memperoleh kapasitas ijin tiang, maka kapasitas ultimit tiang dibagi dengan faktor aman tertentu. Fungsi faktor aman adalah :

1. Untuk memberikan keamanan terhadap ketidakpastian dari nilai kuat geser dan kompresibilitas yang mewakili kondisi lapisan tanah.
2. Untuk meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi.
3. Untuk meyakinkan bahwa bahan tiang cukup aman dalam mendukung beban yang bekerja.
4. Untuk meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih dalam batas-batas toleransi.
5. Untuk mengantisipasi adanya ketidakpastian metode hitungan yang digunakan.

Sehubungan dengan butir (4) dari hasil banyak pengujian-pengujian beban tiang, baik tiang pancang maupun tiang bor yang berdiameter kecil sampai sedang (600

mm), penurunan akibat beban kerja (*working load*) yang terjadi lebih kecil dari 10 mm untuk faktor aman yang tidak kurang dari 2,5 Tomlinson, 1977 (dalam Hardiyatmo, 2011). Besarnya beban kerja (*working load*) atau kapasitas dukung tiang ijin (Q_u) dengan memperhatikan keamanan terhadap keruntuhan adalah nilai kapasitas ultimit (Q_u) dibagi dengan faktor aman (F) yang sesuai.

Variasi besarnya faktor aman yang telah banyak digunakan untuk perancangan tiang pancang :

$$Q_u = \frac{Q_u}{2,5} \dots\dots\dots (21)$$

dengan,

Q_u = kapasitas dukung tiang ijin

Q_u = kapasitas ultimit

2,5 = Nilai faktor aman yang disarankan Tomlinson, (1977).

METODE PENELITIAN

Lokasi Penelitian

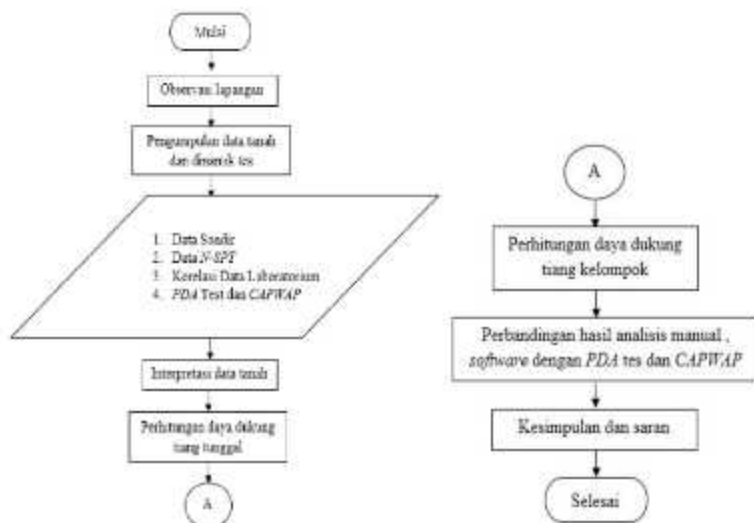
Lokasi penelitian dalam penelitian ini berada pada Jl. Jendral Sudirman Pangkalpinang. Adapun titik penelitian adalah proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel. Peta Lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.

Tahapan Penelitian

Tahapan ini disederhanakan dalam bentuk flowchart atau diagram alir sesuai Gambar 4. Diagram alir dimaksudkan untuk mempermudah tahapan-tahapan yang akan dilakukan dalam proses penelitian.



Gambar 3. Peta lokasi penelitian



Gambar 4. Diagram alir penelitian

Metode Analisis

Analisis daya dukung pondasi tiang pancang dilakukan secara manual menggunakan beberapa metode dengan data pengujian yang didapatkan dilapangan berupa, hasil *Cone Penetration Test (CPT)* dengan Metode Bagemann, deRuiter dan Beringan. Hasil *Standard Penetration Test (SPT)* dengan Metode Mayerhof 1976 dan 1956. Hasil Korelasi Data Laboratorium

dengan Metode α dan Tomlinson 1977. Analisis Program dengan *Plaxis 2D V.8* untuk mendapatkan daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u).

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil analisis manual kapasitas dukung tiang tunggal dan kapasitas ijin tiang untuk

tiang pancang dapat dilihat pada Tabel 3 dan 4 berikut ini :

Tabel 3 Kapasitas ultimit tiang dan kapasitas ijin tiang BH1

Metode	Q_u (ton)	F	Q_u (ton)
Bagemann	578,6	2,5	231,44
deRuiter dan Beringen	220,95		88,38
Mayerhof 1976	64,289		25,716
Mayerhof 1956	128,298		51,319
α	73,181		29,272
Tomlinson 1977	104,051		41,62

Tabel 4 Kapasitas ultimit tiang dan kapasitas ijin tiang BH2

Metode	Q_u (ton)	F	Q_u (ton)
Bagemann	431,92	2,5	172,768
deRuiter dan Beringen	211,5		84,6
Mayerhof 1976	57,707		23,083
Mayerhof 1956	118,679		47,471
α	64,16		25,664
Tomlinson 1977	74,455		29,782

Tabel 5 Parameter-parameter tanah dari titik pengujian BH1

Data Lapangan		Data Korelasi							
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	c_u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ρ (Clay)	μ	E (kN/m ²)	K_r (m/hari)	K_y (m/hari)
0-5,50	Lempung	36,667	17,679	17,977	29,96	0,35	2000	0,001	0,001
5,5-7,7	Lempu	50	21,768	21,786	31,5	0,3	2000	0,001	0,001
7,7-11	Lempung	60	17,679	17,977	33,88	0,35	2000	0,001	0,001
11-15	Lempung	180	17,679	17,977	40,6	0,35	7000	0,001	0,001
15-28	Lempung	375	17,679	17,977	46	0,35	7000	0,001	0,001
28-30	Lempung	375	17,679	17,977	46	0,35	7000	0,001	0,001

Tabel 6 Parameter-Parameter Tanah Dari Titik Pengujian BH2

Data Lapangan		Data Korelasi							
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	c_u (kN/m ²)	γ (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)	ρ (Clay)	μ	E (kN/m ²)	K_r (m/hari)	K_y (m/hari)
0-3,10	Lempung	50	17,679	17,977	31,5	0,35	2000	0,001	0,001
3,10-7,60	Lempu	36,667	21,768	21,786	30,33	0,3	2000	0,001	0,001
7,60-8,85	Lempung	36,667	17,679	17,977	32,2	0,35	2000	0,001	0,001
8,85-13,5	Lempu	93,333	21,768	21,786	36,61	0,3	2000	0,001	0,001
13,5-17	Lempu	253,333	21,768	21,786	41,92	0,3	2000	0,001	0,001
17-18,5	Passir	340	21,36	21,517	46	0,3	100000	36,4	36,4
18,5-24,5	Lempu	356,667	21,768	21,786	46	0,3	2000	0,001	0,001
24,5-30	Lempu	375	21,768	21,786	46	0,3	2000	0,001	0,001

Perhitungan daya dukung tiang tunggal dengan program PLAXIS 2D Versi 8

Perhitungan daya dukung pondasi menggunakan metode elemen hingga dengan program *Plaxis 2D* versi 8 untuk mendapatkan kapasitas ultimit (Q_u) tiang tunggal sebagai perbandingan lain berdasarkan analisis program. Parameter-parameter tanah yang digunakan adalah berdasarkan korelasi data tanah dari hasil pengujian SPT yang didapatkan di lapangan. Parameter tanah yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Hasil analisis program *Plaxis 2D* versi 8 yang diperoleh dari pemasukan data input (Tabel 5 dan 6) berupa data korelasi berdasarkan data tanah di lapangan dan data spesifikasi tiang pancang dari Proyek Pembangunan Gedung Kantor Bank Sumsel Babel di Pangkalpinang sebagai berikut.



Gambar 5 Hasil kalkulasi dari fase-fase titik BH1, Nilai $\Sigma -Msf$

Besarnya nilai $\Sigma -Msf = 1,8361$ dengan data korelasi titik BH1, maka nilai daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah :

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\Sigma -Msf}$$

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma -Msf$$

dengan,
 $Q_{all} = P_{all}$ = daya dukung ijin tiang = 60 ton

Q_u = daya dukung ultimit (ton)
 $\Sigma -Msf$ = hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi.

Jadi, daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah :

$$Q_u = 60 \text{ Ton} \times 1,8361 = 110,166 \text{ Ton.}$$



Gambar 6 Hasil kalkulasi dari fase-fase titik BH2, Nilai $\Sigma -Msf$

Besarnya nilai $\Sigma -Msf = 1,5648$ dengan data korelasi titik BH2, maka nilai daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah :

$$Q_{all} = P_{all} = \frac{Q_u}{\Sigma -Msf}$$

$$Q_u = P_{all} \times \Sigma -Msf$$

dengan,
 $Q_{all} = P_{all}$ = daya dukung ijin tiang = 60 ton
 Q_u = daya dukung ultimit (ton)
 $\Sigma -Msf$ = hasil bagi dari parameter kekuatan sebenarnya terhadap parameter kekuatan yang telah direduksi.

Jadi, daya dukung ultimit tiang (Q_u) adalah :

$$Q_u = 60 \text{ Ton} \times 1,5648 = 93,888 \text{ Ton.}$$

Perhitungan Daya Dukung Tiang Kelompok

Formula untuk menghitung kapasitas dukung kelompok tiang yang disarankan Terzaghi dan Peck, 1948 (dalam Hardiyatmo 2011) yang digunakan untuk menghitung daya dukung tiang kelompok.

$$Q_u = 2D(B+L)c + 1,3c_u N_c BL$$

Hasil perhitungan daya dukung tiang kelompok dan daya dukung ijin tiang kelompok dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7 Kapasitas ultimit kelompok tiang dan kapasitas ijin kelompok tiang

Titik pengujian	Q_u (ton)	F	$Q_{u_{ijin}}$ (ton)
BH1	2193,487	2,5	877,395
BH2	1741,716		696,686

Perbandingan Hasil Analisis Manual, Plaxis 2D dengan PDA dan CAPWAP

Perbandingan analisis manual, program Plaxis dengan hasil PDA dan CAPWAP dapat dilihat pada Tabel 8 dan Tabel 9. Analisis manual, hasil analisis program Plaxis pada titik BH1 akan dibandingkan dengan titik hasil PDA dan CAPWAP pada pengujian nomor tiang pancang 175. Analisis manual, hasil analisis program Plaxis pada titik BH2 akan dibandingkan dengan titik hasil PDA dan CAPWAP pada pengujian nomor tiang pancang 126.

Tabel 8. Perbandingan hasil analisis manual, Plaxis 2D pada titik BH1 dengan hasil PDA dan CAPWAP

Metode	Q_u (ton)	PDA No.175 (ton)	CAPWAP No.175 (ton)
Bagemann	578,6	118	102
deRuiter dan Beringen	220,95		
Mayerhof 1976	64,289		
Mayerhof 1956	128,298		
Alpha	73,181		
Tomlinson 1977	104,051		
PLAXIS 2D V.8	110,166		

Tabel 9. Perbandingan hasil analisis manual, Plaxis 2D pada titik BH2 dengan hasil PDA dan CAPWAP

Metode	Q_u (ton)	PDA No.126 (ton)	CAPWAP No.126 (ton)
Bagemann	431,92	165	163
deRuiter dan Beringen	211,5		
Mayerhof 1976	57,707		
Mayerhof 1956	118,679		
Alpha	64,16		
Tomlinson 1977	74,455		
PLAXIS 2D V.8	93,888		

Dari hasil perbandingan pada Tabel 8 dan 9 untuk daya dukung ultimit tiang pancang (Q_u) dapat disimpulkan bahwa metode Mayerhof (1956) dengan menggunakan data tanah hasil pengujian SPT memiliki nilai rentang paling kecil dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan. Sedangkan metode Bagemann dengan menggunakan data tanah hasil pengujian CPT memiliki nilai rentang paling besar dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan, hal tersebut dikarenakan pada metode ini tidak memperhatikan faktor koreksi kondisi lapangan. Dari hasil analisis dapat disimpulkan bahwa daya dukung pondasi tiang pancang dengan menggunakan data tanah hasil pengujian *N-SPT* lebih mendekati kondisi lapangan

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis secara manual beserta program yang telah dilakukan dapat disimpulkan :

1. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal yang dihitung secara manual dengan beberapa metode yaitu,
 - a. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Bagemann adalah 578,6 ton untuk titik S1 dan 431,92 ton untuk titik S2
 - b. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode deRuiter dan Beringen adalah 220,95 ton untuk titik S1, untuk titik S2 adalah 211,5 ton
 - c. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Mayerhof (1976) adalah 64,289 ton untuk titik BH1 dan 57,707 ton untuk titik BH2
 - d. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Mayerhof (1956) adalah 128,298 ton untuk titik BH1 dan 118,679 ton untuk titik BH2
 - e. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode α adalah 73,181 ton untuk titik BH1 dan 64,160 ton untuk titik BH2
 - f. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal dengan metode Tomlinson (1977) adalah 104,051 ton untuk titik BH1 dan 74,455 ton untuk titik BH2
 - g. Daya dukung ultimit tiang kelompok (Q_g) adalah 2193,487 ton untuk titik BH1 dan 1741,716 ton untuk titik BH2.
2. Daya dukung ultimit (Q_u) pondasi tiang tunggal yang dihitung dengan program *Plaxis 2D* versi 8 adalah 110,166 ton untuk titik BH1 dan 93,888 ton untuk titik BH2.
3. Metode Mayerhof (1956) dengan menggunakan data tanah hasil pengujian *Standar Penetration Test* (SPT) paling mendekati dengan hasil pengujian *PDA* dan *CAPWAP* yang didapatkan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, Joseph E, 1993, *Analisis dan Disain Pondasi, Edisi Kedua*, Erlangga, Jakarta.
- Craig, R. F, 1974, *Mekanika Tanah*, Edisi Keempat.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M, 1998, *Mekanika Tanah*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 1992, *Mekanika Tanah 1*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2007, *Mekanika Tanah 2*, Edisi Keempat, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi I*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, Hary Christady, 2011, *Analisis dan Perancangan Fondasi II*, Edisi Kedua, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hidayad, R.A, 2011, *Perbandingan Hitungan Daya Dukung Tiang Pancang Secara Manual dengan Hasil Output Pemeriksaan Pile Driving Analyzer (PDA) pada Proyek Pembangunan FKIK UIN*, Jurnal Teknik Sipil Universitas Islam Negeri.
- Kasturi, S. dan Iskandar, R. 2012, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga*, Jurnal Universitas Sumatera Utara.
- Napitupulu, E.D.S. dan Iskandar, R. 2013, *Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang dengan Metode Analitis dan Elemen Hingga*, Jurnal Universitas Sumatera Utara.
- Plaxis Version 8 Material Model Manual