



Terbit *online* pada laman web jurnal :
<https://ejournal.sttp-yds.ac.id/index.php/js/index>

SAINSTEK

| ISSN (Print) 2337-6910 | ISSN (Online) 2460-1039 |



Analisis Kuat Dukung Fondasi Dengan Metode Statik Berdasarkan Data Sondir

Muhammad Toyeb^a, Anas Puri^{b*}

^aJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Abdurrah, 28291, Indonesia

^bJurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Riau, 28284, Indonesia

INFORMASI ARTIKEL

Sejarah Artikel:

Diterima Redaksi: 28 November 2024

Revisi Akhir: 30 Desember 2024

Diterbitkan Online: 31 Desember 2024

KATA KUNCI

Kuat Dukung, Metode Statis, Sondir

KORESPONDENSI

Telepon: -

E-mail: anaspuri@yahoo.com

ABSTRACT

Stabilitas bangunan sangat bergantung dari kuat dukung fondasi. Perhitungan kuat dukung fondasi harus menggunakan metode yang efektif. Besaran kuat dukung fondasi dihitung menggunakan beberapa metode statis yaitu metode Bustamante & Gianceselli, Schmertmann & Nottingham, Aoki & De Alencar. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kuat dukung fondasi tiang pancang tunggal yang memberikan keamanan pada struktur atas. Tiang pancang memiliki ukuran dimensi 25 cm x 25 cm dan data penyelidikan tanah diperoleh dari dua uji Sondir. Faktor aman kelas struktur dianggap permanen dengan faktor aman (SF) sebesar 2.0. Hasil perhitungan dengan menggunakan metode Aoki & De Alencar memperoleh kuat dukung tiang pancang terendah dari lainnya. Penyertaan faktor koreksi dalam perhitungan tahanan kulit dan ujung tiang, memberikan sifat kehati-hatian yang lebih dapat dipercaya untuk memperoleh kuat dukung fondasi yang lebih handal sebagai acuan perencanaan.

1. PENDAHULUAN

Analisis kuat dukung fondasi merupakan aspek penting dalam rekayasa sipil yang bertujuan untuk menentukan kemampuan suatu fondasi dalam menahan beban yang diterima dari struktur atas. Analisis kuat dukung fondasi dapat menjadi pedoman pelaksanaan pemancangan dan kontrol dilapangan [1]. Kuat dukung fondasi sangat dipengaruhi oleh karakteristik tanah dimana tempat fondasi diletakkan, desain bangunan dan dimensi fondasi itu sendiri. Fondasi harus diletakkan di tanah keras supaya bangunan tetap kokoh dan stabil. Analisis kuat dukung fondasi merupakan langkah awal untuk menghindari bangunan mengalami kejadian sudden collapse dimasa mendatang [2]. Berbagai metode telah banyak digunakan untuk menganalisis kuat dukung fondasi. Metode Schertmann dan Nottingham lebih optimis dalam hasil perhitungan kuat dukung fondasi dari data sondir, sedangkan metode Meyerhof lebih optimis dari data SPT

[3]. Fondasi punya peran sangat penting karena struktur pertama yang harus didirikan sebelum struktur lainnya yang akan memikul beban-beban bangunan yang diteruskan sampai ke tanah dasar [4].

Perbedaan sifat tanah menjadi tantangan dalam analisis kuat dukung fondasi. Adapun kinerja fondasi dipengaruhi oleh variasi parameter tanah, seperti kekuatan geser, sudut gesekan internal, dan kohesi [5]. Jenis tanah dan distribusi ukuran butiran mempengaruhi daya dukung fondasi [6]. Jenis tanah lunak memiliki kapasitas dukung yang rendah dan kompresibilitas tinggi, sehingga lebih memerlukan pendekatan khusus seperti penggunaan fondasi tiang untuk meningkatkan kapasitas dukungnya [7]. Fondasi tiang pancang adalah salah satu jenis fondasi yang sesuai untuk perencanaan fondasi ditanah lunak [8]. Oleh karena itu, pemilihan formula analisis yang tepat dan pemahaman mendalam tentang kondisi geoteknik dilokasi pembangunan fondasi sangat penting untuk memastikan keamanan dan stabilitas struktur.

Analisis kuat dukung fondasi tidak hanya melibatkan perhitungan matematis tetapi juga pemahaman tentang interaksi antara struktur dan tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui hasil kuat dukung fondasi dari beberapa metode statik yang dipengaruhi dari pemberian faktor keamanan. Sehingga dapat menambah referensi dan memperkaya pengetahuan tentang perhitungan kuat dukung fondasi.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Fondasi

Struktur fondasi berada dibawah permukaan tanah dan harus kuat dalam menopang beban yang berada diatasnya [9]. Tanah dalam ketekniksipilan punya peran penting sebagai dasar konstruksi yang menopang beban bangunan yang diteruskan oleh fondasi. Jenis fondasi yang sesuai untuk kondisi tanah keras adalah fondasi dangkal [10]. Sedangkan bangunan yang direncanakan diatas tanah lunak lebih sesuai untuk fondasi dalam seperti tiang pancang atau tiang bor [11]. Perencanaan fondasi penting dilakukan guna menjamin keamanan dan kestabilan bangunan terhadap beban-beban yang bekerja dan gaya eksternal. Penentuan tipe fondasi dipengaruhi oleh daya dukung tanah berdasarkan uji sondir [12].

2.2. Uji Sondir

Uji Sondir atau *Cone Penetration Test* (CPT) sangat berguna untuk peralatan penyelidikan tanah karena memberikan data penting bagi keamanan desain fondasi dalam berbagai lapisan tanah dan ekonomis. Data sondir digunakan untuk memperkirakan jenis tanah menurut kedalaman hasil pengujiannya. Uji sondir adalah metode untuk penyelidikan kekuatan tanah dan penentuan jenis fondasi [13]. Hasil uji sondir memberikan data tahanan konus (q_c) dan friksi (f_s) tiap interval 20 cm kedalamannya yang membantu untuk mengidentifikasi jenis fondasi yang sesuai seperti fondasi tiang. Uji Sondir memberikan data tanah untuk desain fondasi dan kuat dukung tanah serta kedalaman lapisan tanah keras agar dapat menentukan tipe fondasi dalam atau dangkal [14]. Data Sondir digunakan untuk menghitung daya dukung fondasi tiang bor dengan nilai optimal pada diameter dan kedalaman tertentu [15]. Data Sondir digunakan untuk memperkirakan klasifikasi tanah. Tahanan ujung dan hambatan pelekat dipakai untuk menghitung rasio gesekan dengan persamaan :

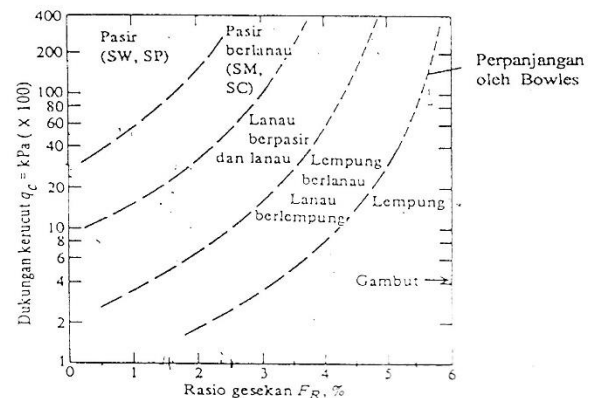
$$f_R = \frac{f_s}{q_c} \times 100\% \quad (1)$$

dimana :

f_s = Hambatan setempat

q_c = Tahanan konus

Pasir mempunyai rasio gesekan kecil dari 1% dan lempung lebih besar, serta gambut besar dari 5%. Pada Gambar 1 dapat dilihat klasifikasi tanah yang ditentukan dari rasio gesekan menurut Robertson & Campanella, 1983 [16].



Gambar 1. Klasifikasi Tanah Menurut Data Sondir

2.3. Metode Statis

Kuat dukung tiang tunggal (*single pile*) merupakan kuat dukung tiang yang berdiri sendiri. Besarnya kuat dukung tiang dipengaruhi oleh jenis material tiang dan kekuatan tanah. Penelitian ini menggunakan data dari uji sondir untuk menghitung kuat dukung fondasi tiang pancang berdasarkan tiga metode statis yaitu metode Bustamante & Gianeselli, metode Schmertmann & Nottingham, dan metode Aoki & Alencar.

Kapasitas kuat dukung ultimit ditentukan dengan persamaan:

$$Q_u = Q_b + Q_s = q_b \cdot A_b + f \cdot A_s \quad (2)$$

dimana :

Q_u = Kuat dukung aksial ultimit tiang pancang

Q_b = Kapasitas tahanan di ujung tiang

Q_s = Kapasitas tahanan kulit

q_b = Kuat dukung di ujung tiang persatuan luas

A_b = Luas di ujung tiang

f = Satuan tahanan kulit persatuan luas

A_s = Luas kulit tiang pancang

2.3.1. Metode Bustamante & Gianeselli

Kapasitas dukung ujung (q_b) dan tahanan kulit (f) untuk persatuan luas tiang pancang diperoleh dari perlawanan konus pada ujung tiang (*cone resistance*) dari nilai q_c sondir. *Sleeve friction* atau hambatan setempat (f_s) tidak digunakan.

Perhitungan kuat dukung ujung (q_b) dengan persamaan :

$$q_b = k_b \times q_{eq} \text{ (base)} \quad (3)$$

Dimana :

q_b = Kuat dukung ujung tiang persatuan luas.

k_b = Faktor empirik kapasitas dukung.

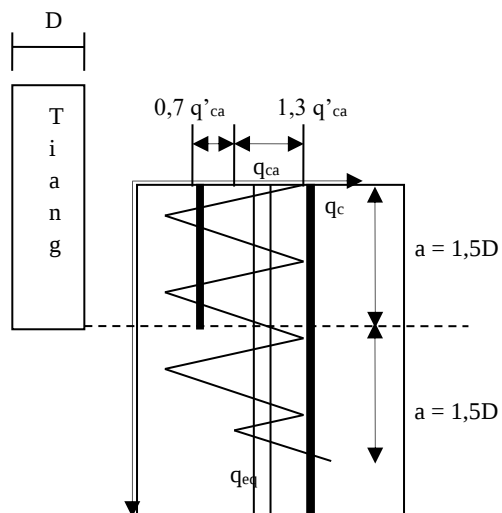
$q_{eq} \text{ (base)}$ = Perlawanan ujung konus rata-rata ekuivalen disekitar ujung tiang.

Faktor empirik terhadap kapasitas dukung pada tipe tanah dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Empirik Kapasitas Dukung

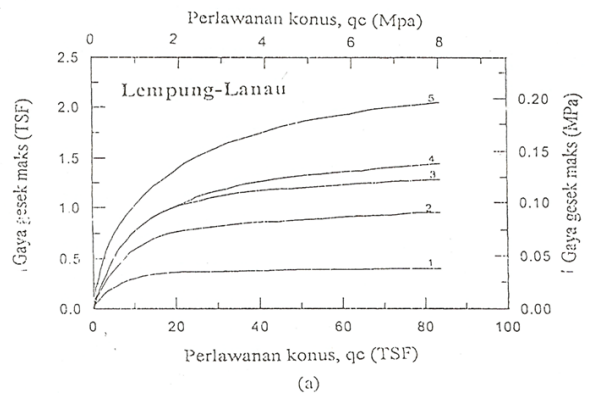
Tipe Tanah	Tiang Bor	Tiang Dipancang
Lempung – Lanau	0.375	0.6
Pasir – Kerikil	0.15	0.375

Perlawanan ujung konus rata-rata ekuivalen $q_{eq} \text{ (base)}$ disekitar ujung tiang dengan menghitung perlawanan ujung rata-rata (q_{ca}). Pada ujung tiang pancang dengan merata-ratakan nilai-nilai q_c pada rentang $a = 1,5 D$ diatas ujung tiang dan $a = 1,5 D$ dibawah ujung tiang, dengan D adalah diameter tiang pancang seperti Gambar 2.

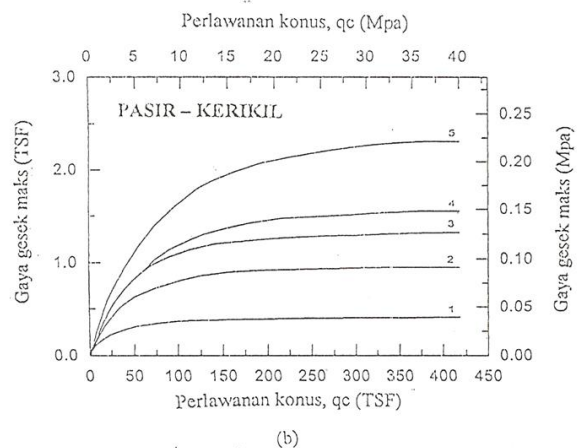


Gambar 2. Perkiraan Perlawanan Ujung Konus Rata-rata

Tahanan kulit persatuan luas (f) pada tiap lapisan tanah yang diperkirakan dari perlawanan konus ekuivalen sepanjang lapisan tanah ($q_{eq} \text{ (side)}$) Gambar 3, 4 dan tipe tanah serta prosedur pemancangan Tabel 2 dan 3.



Gambar 3. Kurva Tahanan Kulit untuk Tanah Kohesif



Gambar 4. Kurva Tahanan Kulit untuk Tanah Granular

Prosedur penentuan kurva tahanan kulit berdasarkan pemilihan kategori tiang pancang dan batasan nilai parameter untuk lempung dan lanau serta tanah pasir dan kerikil dapat dilihat pada Tabel 2 dan 3.

Tabel 2. Parameter untuk Lempung dan Lanau [17]

Kurva	Perlawanan Konus, q_c (kg/cm ²)	Prosedur
1	> 7	Untuk seluruh tiang pancang baja, pengalaman menunjukkan bahwa penggunaan kurva 2 pada tanah-tanah plastis Q_s nya sering rendah, dipakai kurva 1 bila tidak ada pengujian beban (loading test) atau PDA (Pile Driving Analyzyer)
2	> 12	Untuk tiang pancang beton gunakan kurva 3 pada tanah-tanah yang plastisitas rendah dengan pasir atau pasir dengan kerikil.
2	> 12	Untuk kondisi lubang yang kering, dianjurkan untuk menggetarkan beton sesudah pengangkatan cetakan.

Kurva	Perlawanan Konus, q_c (kg/cm ²)	Prosedur
		Pada kasus-kasus apabila kondisi di bawah muka air tanah, pemompaan digunakan dan Bergeraknya cetakan tersebut sering diperlukan, gunakan kurva 1, kecuali kalau ada pengujian pembebanan (<i>loading test</i>) dapat digunakan kurva 2.

Tabel 3. Parameter untuk Pasir dan Kerikil [17]

Kurva	Perlawanan Konus, q_c (kg/cm ²)	Prosedur
1	< 36	-
2	> 36	Untuk tanah pasir padat, karena tiang pancang baja dapat menimbulkan nilai Q_s yang kecil pada kasus ini gunakan kurva 1, kalau nilai-nilai tersebut lebih besar dapat diambil berdasarkan hasil-hasil percobaan pembebanan. Untuk tiang pancang beton gunakan kurva 2 pada tanah pasir padat dengan nilai $q_c > 78$ kg/cm ² .
2	> 52	Hanya untuk tanah-tanah pasir padat dan tiang pancang bor yang panjangnya kurang dari 30 meter dan untuk tanah pasir padat boleh digunakan kurva 1 dan kurva 2, bila tidak ada tes pembebanan gunakan kurva 1.
3	> 78	Untuk tanah pasir berkerikil kasar atau hanya kerikil, untuk tiang pancang beton gunakan kurva 4 jika tidak ada uji pembebanan.
3	> 78	Untuk pasir berkerikil atau kerikil dan tiang pancang bor yang panjangnya kurang dari 30 meter.
4	> 78	Untuk kerikil apabila $q_c > 42$ kg/cm ²

2.3.2. Metode Schmertmann & Nottingham

Schmertmann & Nottingham mengusulkan untuk memprediksi nilai q_b dengan persamaan:

$$q_b = \frac{qc1 + qc2}{2} \quad (4)$$

Dimana :

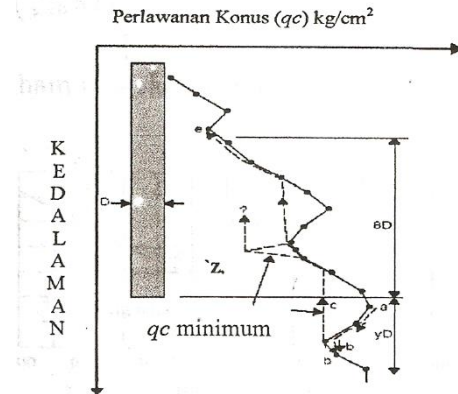
q_b = Kuat dukung ujung tiang persatuan luas.

$qc1$ = Nilai minimum rata-rata 0.7D-4D dibawah ujung tiang.

$qc2$ = Tahanan konus rata-rata 8D diatas ujung-ujung.

D = Diameter tiang pancang.

Untuk menentukan $qc1$ aturan penggunaan zona minimum (Gambar 5) yang mewakili keruntuhan permukaan dengan perkiraan melalui *spiral logarithmic*. Schmertmann menyarankan batas $q_b = 150$ TSF (15 MPa) untuk tanah pasir dan 100 TSF (10 MPa) untuk pasir kelanauan.



Gambar 5. Perkiraan Perlawanan Konus Minimum

Penentuan nilai tahanan kulit (f) untuk tiang pancang pada tanah lempung dan lanau dengan persamaan :

$$f = \alpha c \times f_s \quad (5)$$

Dimana :

f = Kuat dukung kulit tiang persatuan luas.

αc = Faktor reduksi antara 0,2-1,25 untuk lempung.

f_s = Hambatan setempat diplot pada Gambar 4 variasi αc dengan f_s untuk tipe-tipe tiang pancang pada tanah lempung.

Tiang pancang pada tanah pasir memperoleh nilai f dengan persamaan :

$$Q_s = \alpha s \left(\sum_{y=0}^{8D} \frac{y}{8D} f_s \cdot A_s + \sum_{y=8D}^L f_s \cdot A_s \right) \quad (6)$$

Dimana :

Q_s = Kapasitas dukung kulit tiang pancang.

αs = Faktor koreksi untuk pasir.

y = Kedalaman pada sisi tiang pancang yang dihitung.

L = Panjang tiang pancang.

D = Diameter tiang pancang.

f_s = Hambatan setempat

A_s = Luas kulit tiang pancang

Apabila tanah terdiri dari lapisan pasir dan lempung, maka nilai αs dan αc dihitung berdasarkan total kedalaman tiang pancang dengan persamaan :

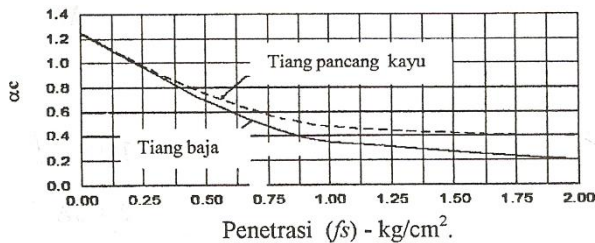
$$Q_s = \alpha s \cdot \alpha c \left(\sum_{y=0}^{8D} \frac{y}{8D} f_s \cdot A_s + \sum_{y=8D}^L f_s \cdot A_s \right) \quad (7)$$

Dimana :

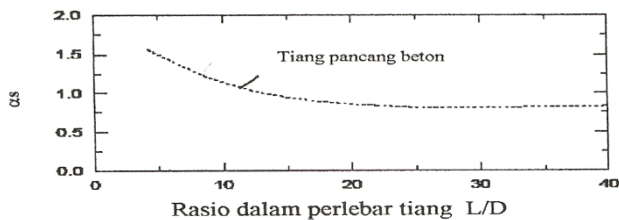
α_c = Faktor koreksi antara 0,2-1,25 untuk lempung.

Schmertmann & Nottingham menyarankan nilai $f_s = 120$ KPa.

Bentuk kurva penetrasi untuk gesekan kulit tiang pancang pada tanah lempung dan lanau serta pasir dan kerikil dapat dilihat dalam Gambar 5 dan 6.



Gambar 5. Faktor Koreksi untuk Lempung dan Lanau [17]



Gambar 6. Faktor Koreksi untuk Pasir dan Kerikil [17]

2.3.3. Metode Aoki & De Alencar

Perkiraan kuat dukung ultimit dari data Sondir, nilai q_b dan f diperoleh dengan persamaan :

$$Q_b = \frac{qca(base)}{F_b} \quad (8)$$

$$f = qc(side) \frac{\alpha_s}{F_s} \quad (9)$$

dimana :

Q_b = Kapasitas kuat dukung di ujung tiang.

q_{ca} = Perlawanan konus disekitar ujung tiang

F_b = Faktor empirik, bergantung pada tipe tiang

f = kuat dukung kulit tiang persatuan luas.

$q_c(side)$ = Perlawanan konus rata-rata tiap lapisan tanah sepanjang tiang

F_s = Faktor empirik bergantung pada jenis tiang

α_s = Nilai empirik untuk tipe tanah berbeda

Faktor empirik untuk tipe tanah berbeda, α_s dapat dilihat pada Tabel 4 dan untuk F_b dan F_s pada Tabel 5.

Tabel 4. Faktor Empirik untuk Tipe Tanah Berbeda [17]

Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir	1,4

Tipe Tanah	α_s (%)
Pasir berlanau	2,2
Lempung berpasir	2,4
Pasir kelanauan	2,0
Pasir berlanau dengan lempung	2,8
Lempung berpasir dengan lanau	2,8
Pasir kelanauan dengan lempung	2,4
Lanau	3,0
Lempung berlanau dengan pasir	3,0
Pasir berlempung dengan lanau	2,8
Lanau berlempung dengan pasir	3,0
Lempung berlanau	4,0
Pasir berlempung	3,0
Lanau berlempung	3,4
Lempung	6,0

Tabel 5. Faktor Empirik F_b dan F_s [17]

Tipe Tiang	F_b	F_s
Tiang bor	3,5	7,0
Tiang baja	1,75	3,5
Tiang beton	1,75	3,5

2.4. Faktor Aman

Dalam menentukan kapasitas dukung izin tiang, maka diperlukan membagi kapasitas ultimit tiang dengan faktor aman tertentu. Faktor aman ini perlu diberikan dengan maksud a) Memberikan keamanan terhadap ketidakpastian metode hitungan; b) Memberikan keamanan terhadap variasi kuat geser kompresibilitas tanah; c) Meyakinkan bahwa bahan tiang cukup untuk aman dalam mendukung beban yang bekerja; d) Meyakinkan bahwa penurunan total yang terjadi pada tiang tunggal atau kelompok tiang masih tetap dalam batas-batas toleransi; e) Meyakinkan bahwa penurunan tidak seragam diantara tiang-tiang masih dalam batas-batas toleransi [18]. Reese dan O'Neill (1989) dalam Hardiyatmo 2006 menyarankan faktor-faktor aman (SF) untuk perancangan pondasi tiang seperti pada Tabel 6.

Tabel 6. Faktor Aman yang Disarankan

Kelas Struktur	Faktor Aman			
	Baik	Normal	Buruk	Sangat Buruk
Monumental	2.3	3.0	3.5	4
Permanen	2.0	2.5	2.8	3.4
Sementara	1.4	2.0	2.3	2.8

3. METODOLOGI

Data-data penelitian diperoleh dari konsultan perencana sebagai data sekunder, antara lain data Sondir dan data pemancangan. Data sondir kemudian dijadikan sebagai rujukan untuk memperoleh klasifikasi jenis tanah. Setelah itu dilanjutkan dengan tahapan selanjutnya antara lain:

- Analisa kuat dukung tiang dengan formula statik. Besarnya kapasitas kuat dukung tiang dengan formula statik tergantung pada jenis material tiang dan kekuatan

tanah pendukung. Tiang pancang dilokasi penelitian menggunakan tipe *mini pile* dengan dimensi penampang tiang 25 x 25 cm. Analisa data yang digunakan adalah klasifikasi tanah dari uji sondir dan kedalaman tiang pancang berdasarkan catatan data pemancangan dan gambar tiang pancang.

- b. Analisis pengaruh faktor keamanan terhadap kuat dukung tiang.

Menganalisis pengaruh faktor keamanan dari beberapa formula statik, tentukan kuat dukung ultimit masing-masing tiang. Setelah analisis kuat dukung tiang dengan formula statik diperoleh, maka nilai kuat dukungnya dibagi dengan faktor keamanan yang telah ditentukan.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Perkiraan Jenis Tanah

Perkiraan jenis tanah untuk analisis kuat dukung fondasi tiang pancang dilakukan berdasarkan data penyelidikan tanah menggunakan uji Sondir. Terdapat dua titik uji Sondir yang telah dilaksanakan dengan hasil perkiraan jenis tanah seperti yang disajikan pada Tabel 7.

Tabel. 7. Perkiraan Jenis Tanah Dari Data Sondir

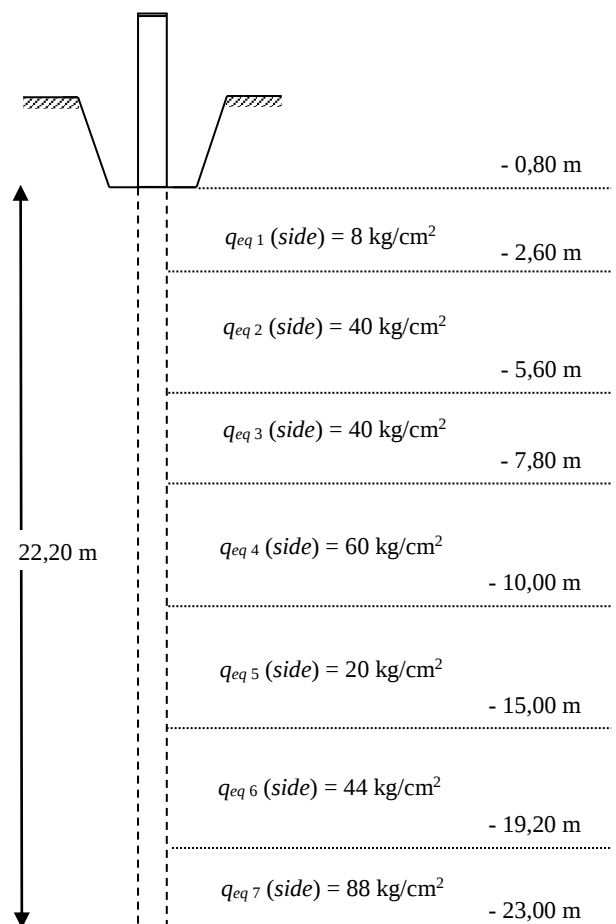
No	Sondir 1		Sondir 3	
	Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Kedalaman (m)	Jenis Tanah
1	0.00 – 2.60	Lempung	0.00 – 1.80	Lempung
2	2.60 – 3.40	Lanau berpasir	1.80 – 2.40	Lanau berpasir
3	3.40 – 5.60	Pasir berlanau	2.40 – 5.00	Pasir berlanau
4	5.60 – 6.60	Pasir	5.00 – 10.40	Pasir
5	6.60 – 7.80	Lanau berpasir		
6	7.80 – 10.20	Pasir		
7	10.20 – 11.60	Lempung berlanau	10.40 – 12.20	Pasir berlanau
8	11.60 – 12.20	Lanau berpasir	12.20 – 13.80	Lanau berpasir
9	12.20 – 12.80	Pasir berlanau	13.80 – 15.00	Pasir berlanau
10	12.80 – 14.80	Lempung berlanau	15.00 – 16.00	Pasir
11	14.80 – 15.60	Pasir berlanau	16.00 – 17.00	Pasir berlanau
12	15.60 – 16.60	Lanau berpasir	17.00 – 18.20	Pasir
13	16.60 – 19.20	Pasir berlanau	18.20 – 18.80	Pasir berlanau
14	19.20 – 25.40	Pasir	19.00 – 26.20	Pasir

Pelaksanaan uji Sondir memperoleh variasi jenis tanah disepanjang kedalaman kerucut statis. Pada uji Sondir satu

diperoleh penyelidikan tanah sampai kedalaman 25.40 m dan untuk Sondir dua kedalaman 26.20 m. Tiap Interval penetrasi kerucut statis menunjukkan nilai perlawanan konus dengan interpretasi tipe tanah berbeda. Jarak titik uji Sondir satu dan dua hanya berjarak ± 35 m yang berada disekitar lokasi pemancangan fondasi tiang pancang. Hasil perkiraan jenis tanah menunjukkan bahwa dilokasi rencana tiang pancang memiliki jenis tanah yang hampir sama antara titik Sondir satu dan dua. Jenis tanah dari permukaan sampai kedalaman 2.60 m berdasarkan gesekan, f_R dengan perkiraan lapisan lempung. Kemudian jenis tanah dari kedalaman 2.60 m sampai 19 m dengan perkiraan lapisan tanah sebagian besar antara lanau berpasir dan pasir berlanau. Selanjutnya untuk kedalaman lebih dari 19 m diperkirakan lapisan pasir yang sudah memiliki karakteristik lapisan tanah keras.

4.2. Kuat Dukung Fondasi Tiang Pancang

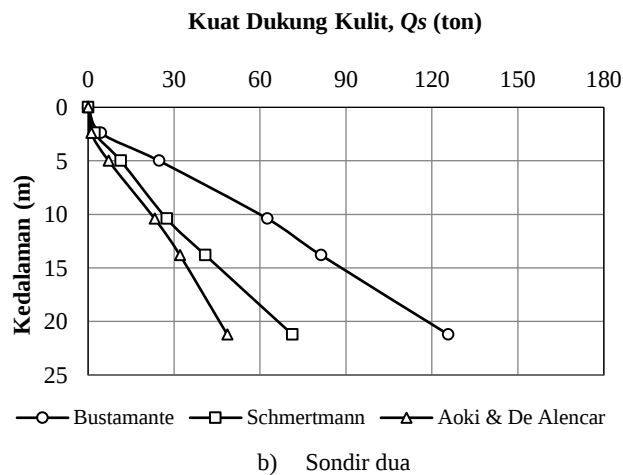
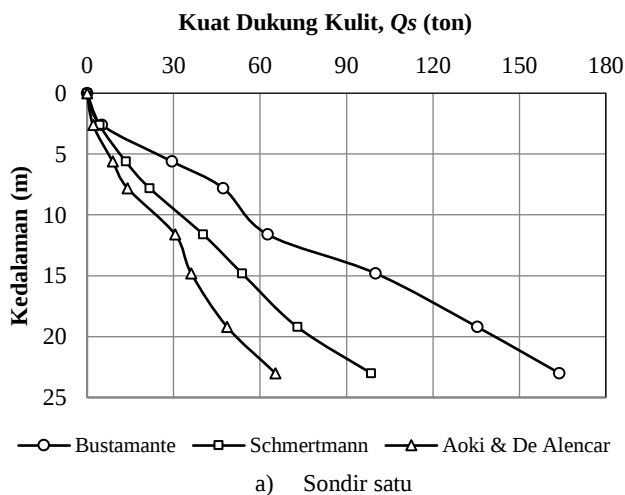
Kuat dukung fondasi tiang pancang diperoleh dari kumulatif antara kapasitas tahanan kulit (Q_s) dan kuat dukung ujung (Q_b) tiang pancang. Hasil perhitungan kapasitas tahanan kulit dengan metode Bustmante & Gianeselli untuk titik Sondir satu dengan kedalaman pemancangan 23.0 m disajikan pada Gambar 7.



Gambar 7. Perkiraan Tahanan Kulit Tiang Sondir Satu

Perlawanan nilai tahanan konus rata-rata disepanjang sisi tiang semakin meningkat seiring kedalaman. Nilai tahanan konus tersebut memberikan pengaruh pada besaran interaksi dinding tiang pancang beton yang digunakan terhadap tipe tanah disekitar tiang. Tahanan sisi tiang semakin meningkat dari kedalaman 0.8 - 23.0 m dari 8.0 kg/cm² sampai 88.0 kg/cm². Sedangkan penurunan tahanan disisi tiang hanya terjadi pada kedalaman 10.0 – 15.0 m karena dikedalaman tersebut masih terdapat tipe lempung pada sebagian komposisi tanahnya.

Hasil perhitungan kapasitas tahanan kulit (Q_s) untuk titik Sondir satu dan dua berdasarkan beberapa metode statis disajikan pada Gambar 8.

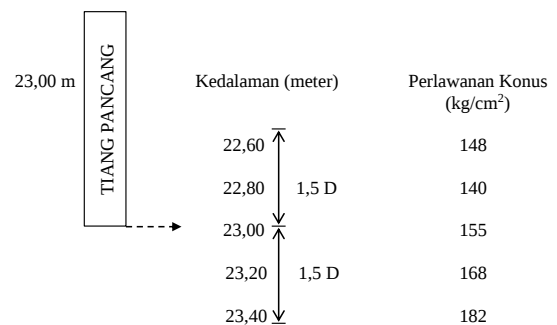


Gambar 8. Kuat Dukung Kulit Tiang

Perhitungan tahanan kulit tiang pancang dari titik Sondir satu dan dua menunjukkan bahwa metode Aoki & De Alencar memperoleh nilai terendah dan metode Bustamante & Gianceselli memperoleh nilai tertinggi disepanjang kedalaman tiang. Perbedaan parameter perhitungan dari masing-masing metode dalam menentukan kuat dukung kulit menjadikan hasil yang berbeda. Metode

Bustamante & Gianceselli menggunakan kurva tahanan kulit berdasarkan tipe tanah kohesif atau granular. Masing-masing kurva tahanan kulit dipilih berdasarkan nilai tahanan ujung konus dan prosedur pemancangan dilapangan serta jenis tiang pancang. Sedangkan metode Aoki & De Alencar berdasarkan nilai empirik menurut tipe tanah dan tiang pancang. Sedangkan metode Schmertmann & Nottingham memperhitungkan faktor reduksi dari bahan tiang berdasarkan nilai hambatan setempat dari uji Sondir.

Kemudian perhitungan kapasitas ujung tiang (Q_b) dari metode Bustamante & Gianceselli disajikan pada Gambar 9.



Gambar 9. Perkiraan Tahanan Ujung Tiang Sondir Satu

Rata-rata nilai perlawanan konus sepanjang 1.5 Diameter dari atas dan bawah ujung tiang pancang dihitung untuk menentukan kuat dukung ujungnya. Hasil perhitungan kuat dukung ujung pada kedalaman 23.0 m dari beberapa metode statis disajikan dalam Tabel 8.

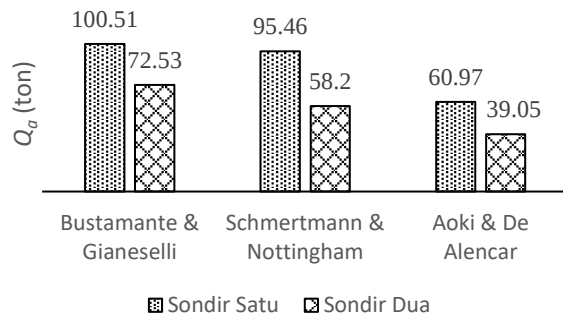
Tabel 8. Kuat Dukung Ujung Tiang Pancang

Titik Sondir	Metode Statik, Q_b (ton)		
	Bustamante & Gianceselli	Schmertmann & Nottingham	Aoki & De Alencar
Satu	37.17	92.40	56.64
Dua	19.41	45.16	29.57

Berbeda dari tahanan kulit, hasil kuat dukung ujung dengan metode Schmertmann & Nottingham memperoleh nilai tertinggi dari metode lainnya. Nilai rata-rata perlawanan konus diujung tiang menjadi faktor utama yang mempengaruhi besaran kuat dukung. Selain faktor perlawanan ujung rata-rata, metode Bustamante & Gianceselli menambahkan faktor empirik kapasitas dukung berdasarkan tipe tanah dan tiang bor atau dipancang. Sedangkan metode Aoki & De Alencar menambahkan faktor empirik untuk tipe tiang saja dengan ketentuan nilai yang lebih besar.

Hasil perhitungan kuat dukung ijin tiang pancang setelah diberikan faktor keamanan berdasarkan kelas struktur

permanenen dengan kontrol baik $SF = 2.0$ dan dapat dilihat pada Gambar 10.



Gambar 10. Kuat Dukung Ijin Tiang Pancang

Hasil perhitungan kuat dukung ijin dari beberapa metode statis memberikan nilai kuat dukung yang berbeda. Perhitungan dengan metode Aoki & De Alencar memperoleh kuat dukung ijin terendah. Penyertaan faktor-faktor empirik berupa rasio antara tipe tanah dan tiang dalam perhitungan tahanan kulit dan kuat dukung ujung tiang telah menjadikan hasil perhitungan kapasitas dukung tiang lebih hati-hati. Metode Schmertmann & Nottingham hanya memberikan faktor koreksi pada tipe tanah untuk perhitungan tahanan kulit. Sedangkan metode Bustamante & Gianeselli memberikan koreksi tipe tanah untuk tahanan kulit tiang dan faktor empirik untuk kapasitas dukung.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis kuat dukung tiang pancang dari beberapa metode statis. Perhitungan kuat dukung tiang pancang menggunakan metode Aoki & De Alencar memperoleh kuat dukung ijin terendah dari lainnya. Penyertaan faktor koreksi dalam menghitung tahanan kulit dan ujung tiang pancang, menunjukkan metode ini lebih komprehensif.

5.2. Saran

Penelitian lanjutan dapat mengambil analisis kuat dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] C. S. R. Hildayani, M. Sungkar, and H. Yunita, "Kajian Daya Dukung Izin Pondasi Tiang Pancang Beton dengan Metode Statis dan Metode Dinamis," *J. Civ. Eng. Student*, vol. 5, no. 1, pp. 64–70, 2023.
- [2] A. Junaid, "Perbaikan dan Perkuatan Pondasi Tiang Bor pada Bangunan Gedung Perkuliahan dengan Penambahan Tiang Pancang Bulat," *Bull. Civ. Eng.*, vol. 1, no. 2, pp. 55–60, 2021.
- [3] U. Jusi, "Analisa Kuat Dukung Pondasi Bored Pile Berdasarkan Data Pengujian Lapangan (Cone Dan N-Standard Penetration Test)," *SIKLUS J. Tek. Sipil*, vol. 1, no. 2, pp. 50–82, 2018..
- [4] S. S. Abadi, R. Roestaman, and S. Permana, "Analisis Perbandingan Kapasitas Kuat Dukung Pondasi Bore Pile Berdasarkan Hasil Pengujian SPT dan CPT," *J. Konstr.*, vol. 19, no. 2, pp. 449–460, 2022.
- [5] S. Harabinova, E. Panulinova, E. Kormaniková, and K. Kotrasová, "Effects of soil variability on bearing capacity of foundations," *Adv. Trends Eng. Sci. Technol. III*, 2019.
- [6] J. Han, X. Liu, Y. Wu, and X. Zhou, "Importance of Distribution Type on Bearing Capacity of an Embedded Foundation in Spatially Varying Soils," *Adv. Civ. Eng.*, vol. 2020, no. 1, p. 8858325, 2020.
- [7] D. M. N. Sandi, E. Suryani, and A. W. Febrian, "PLANNING OF FLOATING FOUNDATION FOR SOFT SOIL IN GLAGAH AGUNG, BANYUWANGI CITY," *J. Rekayasa Sipil dan Lingkungan*, 2019.
- [8] L. A. Schipper, "Analisis Penentuan Jenis Pondasi Pada Tanah Lunak dengan Menggunakan Metoda Meyerhof Dan Brom (Ref.Tomlinson, Page 229-232) (Studi Kasus: Perencanaan Pembangunan Sisi Udara Taxi Way, Exit Taxi Way, Dan Apron, Bandar Udara Aji Pangeran Tumenggung Pranoto S)," *GEOPLANART*, 2022.
- [9] T. Seamditia, H. Wijaya, and A. Yuwono, "Analisis Fondasi Akibat Beban Dinamik Mesin Genset Di Jakarta Timur Dan Tangerang," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, vol. 5, no. 2, pp. 341–348, 2022.
- [10] L. Herlina, A. Kawanda, A. O. Irlan, E. Kurniyaningrum, and M. Rahmat, "Bantuan Teknis Perencanaan Fondasi Dangkal Untuk Rumah Tinggal di Kelurahan Bendung Kota Serang," *J. AKAL Abdimas dan Kearifan Lokal*, 2024.
- [11] H. Hanif and G. S. Sentosa, "STUDI BANDING JENIS-JENIS FONDASI RAFT PILE DENGAN ASUMSI FRICTION PILE UNTUK GEDUNG KAMPUS II UNIVERSITAS TARUMANAGARA," *JMTS J. Mitra Tek. Sipil*, 2018.
- [12] B. Doloksaribu and D. S. Nababan, "Pemetaan Daya Dukung Tanah Dan Pemilihan Jenis Fondasi Konstruksi Bangunan Di Distrik Merauke," *MUSTEK ANIM HA*, 2018.
- [13] K. R. Bela and P. Sianto, "Penyelidikan Tanah Menggunakan Metode Uji Sondir," *Eternitas J. Tek. Sipil*, 2022.
- [14] U. Ukiman, S. Utomo, and Y. Yusetiyowati, "Alat Uji Sondir," *Bangun Rekaprima*, 2017.
- [15] N. asiah Jamil and C. A. Siregar, "Analisis Daya Dukung Pondasi Tiang Bor (Bored Pile) Berdasarkan Data Penetrasi Standar (SPT) dan Data Sondir (CPT)," *Sist. Infrastruktur Tek. Sipil*, 2023.
- [16] J. E. Bowles, *Analisa dan Desain Pondasi*, Edisi 4. Erlangga, Jakarta., 1988.
- [17] Titi, H. H. and Farsakh, M. A. Y., "Evaluation of Bearing Capacity of Piles from Cone Penetration Test," *Lousiana Transp. Res. Cent.*, 1999.
- [18] H. C. Hardiyatmo, *Teknik Pondasi 2*, 3rd ed. Yogyakarta: Beta Offset, 2006.