

Perhitungan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Tunggal Berdasarkan Data N-SPT dan CPT Studi Kasus: Proyek Pembangunan Stasiun Kereta Cepat Jakarta-Bandung

Yoshi Wiweka Praba Pudyastawa¹, Djoko Setyanto^{1*}

¹Program Studi Program Profesi Insinyur, Fakultas Teknik, Universitas Katolik Indonesia Atma Jaya, Jalan Jend. Sudirman Kav.51, Jakarta Selatan, DKJ Jakarta, Kode Pos 12930

Article Info	Abstract
<i>Article history:</i> Received 19 November 2024 Accepted 26 November 2024 <i>Keywords:</i> Bearing capacity, N-SPT, CPT, piles	<i>The Jakarta-Bandung High-Speed Railway Project is one of the Indonesian government's initiatives to enhance connectivity between Jakarta and Bandung, while also promoting economic growth in West Java. This case study focuses on soil investigation for calculating the bearing capacity of pile foundations required for constructing a high-speed rail station in Karawang, West Java. The calculations for the pile foundation use N-SPT and CPT data based on methods developed by Luciano Decourt and Begemann. Field investigation results reveal that the soil at the study site consists of two primary clay layers: the first layer, from 0–20 m deep, with a medium stiff to very stiff consistency, and the second layer, from 20–50 m deep, with a very stiff to hard consistency. The maximum allowable bearing capacity of the pile foundation, calculated using N-SPT data, is 50.3 tons, while calculations based on CPT data show a bearing capacity of 46.02 tons.</i>

Article Info	Abstrak
<i>Article history:</i> Diterima 19 November 2024 Disetujui 26 November 2024 <i>Keywords:</i> Daya dukung izin, N-SPT, CPT, Tiang pancang	Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung merupakan salah satu upaya pemerintah Indonesia untuk meningkatkan konektivitas antara Jakarta dan Bandung serta mendukung pertumbuhan ekonomi di Jawa Barat. Studi kasus ini berfokus pada penyelidikan tanah untuk menghitung daya dukung pondasi tiang pancang pada pembangunan stasiun kereta cepat di Karawang, Jawa Barat. Perhitungan pondasi tiang pancang menggunakan data N-SPT dan CPT berdasarkan metode Luciano Decourt dan Begemann. Hasil penyelidikan lapangan menunjukkan bahwa tanah di lokasi penelitian terdiri dari dua lapisan utama berupa lempung pada kedalaman 0-20 dengan konsistensi <i>medium stiff</i> hingga <i>very stiff</i> dan pada kedalaman 20-50 dengan konsistensi <i>very stiff</i> hingga <i>hard</i> . Hasil perhitungan daya dukung izin tiang pancang berdasarkan data N-SPT tertinggi mencapai 50,3 ton dan 46,02 ton berdasarkan data CPT.

1. PENDAHULUAN

Proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung merupakan salah satu upaya pemerintah Indonesia dalam mengembangkan transportasi yang lebih modern. Pembangunan kereta cepat ini dimaksudkan untuk mempercepat konektivitas antara dua kota besar, Jakarta dan Bandung, serta untuk memacu pertumbuhan ekonomi di wilayah Jawa Barat, selain itu juga diharapkan sekaligus mengurangi kemacetan dan beban lalu lintas di jalur darat antara kedua kota tersebut. Studi kasus praktik keinsinyuran yang diambil adalah penyelidikan tanah pada proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung khususnya penyelidikan tanah untuk

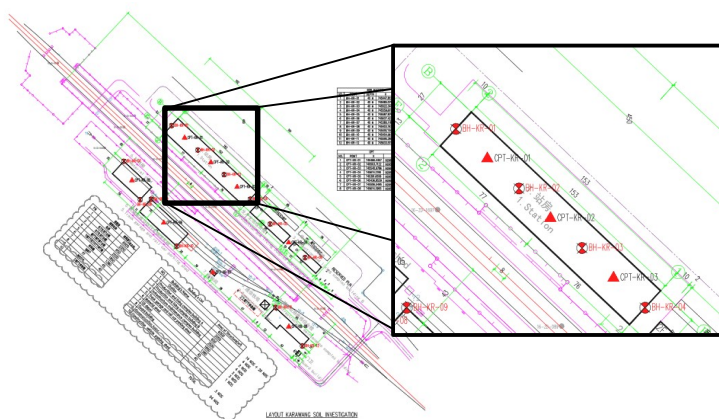
*Corresponding author. Djoko Setyanto
Email address: djoko.setyanto@atmajaya.ac.id

pembangunan stasiun kereta cepat yang terletak di Karawang Jawa Barat. Metode yang umum digunakan dalam penyelidikan tanah untuk perencanaan pondasi adalah uji *Standard Penetration Test* (SPT) dan *Cone Penetration Test* (CPT). Hasil dari kedua uji ini dapat digunakan untuk menilai sebuah kondisi tanah dan memperkirakan daya dukung pondasi secara empiris. SPT merupakan uji penetrasi dinamis yang memberikan informasi tentang resistensi tanah terhadap pemancangan, sedangkan sondir/CPT memberikan informasi kuantitatif yang lebih detail melalui data hambatan ujung konus.

Pondasi tiang pancang merupakan salah satu jenis pondasi yang sering digunakan pada proyek konstruksi. Pondasi tiang pancang merupakan struktur bagian bawah yang menumpu pada tanah keras atau pada tanah padat dan bekerja sebagai penopang struktur yang berada di atasnya (Mulyono, 2022). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kondisi lapisan tanah pada suatu daerah berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan bagaimana menghitung daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data SPT dan CPT berdasarkan metode Luciano Decourt (1995) dan Begemann (1965). Studi ini diharapkan dapat memberikan gambaran mengenai metode perhitungan daya dukung pada proyek infrastruktur di Indonesia.

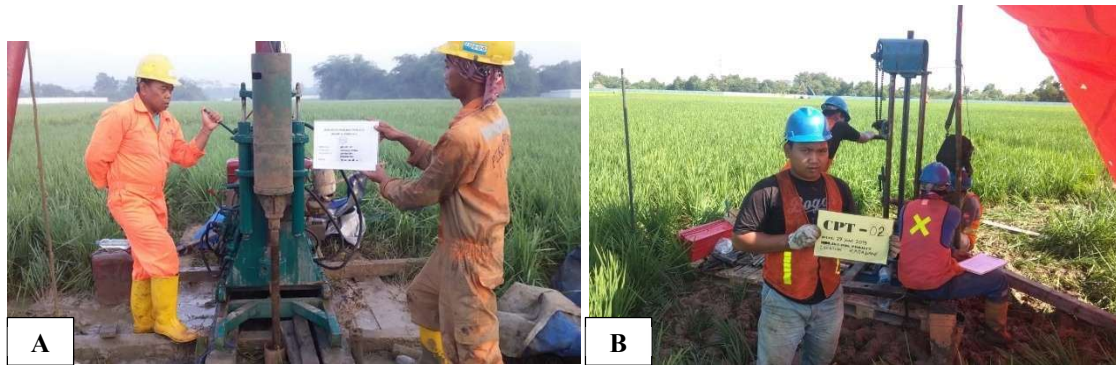
2. METODE KAJIAN

Lokasi penyelidikan tanah yang dilakukan adalah pada proyek Kereta Cepat Jakarta-Bandung yang berfokus pada daerah yang akan dibangun stasiun kereta. Salah satu stasiun kereta berada di daerah Karawang, Jawa Barat. Luas rencana area stasiun yang akan dibangun adalah 6000 m² dengan jumlah titik penyelidikan tanah berupa pengeboran inti untuk melakukan pengujian SPT dan pengambilan sampel laboratorium sebanyak 4 titik dan sondir/CPT sebanyak 3 titik seperti terlihat pada Gambar 1. Kegiatan praktik keinsinyuran dalam hal ini adalah pada saat melakukan pengawasan pekerjaan penyelidikan tanah di lapangan mulai dari peralatan dan metode yang digunakan dan perlengkapan APD para pekerja, serta melakukan analisis empiris perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang berdasarkan data N-SPT dan CPT dari lapangan berdasarkan metode Luciano Decourt dan Begemann. Dokumentasi kegiatan SPT dan CPT dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1.

Layout Lokasi Penyelidikan Tanah Stasiun Karawang Proyek Kereta Cepat
(Sumber: PT. Wijaya Karya)

**Gambar 2.**

Dokumentasi Pengujian SPT (A) dan Pengujian Sondir/CPT (B)

(Sumber: Dokumentasi pribadi)

Kegiatan pengeboran dalam pekerjaan penyelidikan tanah daerah ini menggunakan mesin bor *rotary* dengan diameter lubang bor adalah 89 mm. Mata bor menggunakan jenis tungsten (*steel bits*) 76 mm. Pengambilan contoh inti lapisan tanah dilakukan dengan tabung tipe *single core barrel* secara kontinu hingga mencapai kedalaman target masing-masing titik pengeboran. Pengambilan sampel UDS (*undisturbed sample*) dan DS (*disturbed sample*) juga dilakukan dengan interval setiap 2 meter. Sampel yang didapatkan dari pengeboran dicatat tentang kondisi dan jenis tanah untuk kemudian dituangkan dalam laporan berupa Bor Log.

Metode pengujian SPT dilakukan untuk memperoleh nilai N-SPT dari lapisan tanah menggunakan peralatan standar yang terdiri dari *hammer* dengan berat 63.5 kg dan *split spoon sampler* dengan diameter luar 2 inch dan diameter dalam 1.5 inch. Pelaksanaan uji SPT adalah dengan menjatuhkan *hammer* dengan tinggi jatuh 76 cm untuk penetrasi tanah sedalam 45 cm. Nilai SPT dinyatakan dengan N yang diperoleh dari jumlah tumbukan yang diperlukan untuk penetrasi sedalam 15 cm. Uji SPT dilakukan dengan interval setiap 2 meter. Jika pada kedalaman tertentu SPT harus dilakukan bersamaan dengan pengambilan sampel UDS, maka uji SPT dilakukan sesudah pengambilan contoh UDS. Untuk melakukan analisis, nilai SPT lapangan harus dilakukan koreksi terhadap energi rata-rata sekitar 60% dan prosedur penggunaan alat. Koreksi tersebut dengan cara mengalikan nilai NSPT dengan faktor koreksi dengan rumus di bawah ini (Skempton, 1986 dikutip dalam Look, 2007):

$$N_{60} = C_N \cdot C_{ER} \cdot N \quad (1)$$

Keterangan:

- N₆₀ = Nilai SPT terkoreksi
- C_N = Faktor koreksi akibat tekanan overburden
- C_{ER} = C_H · C_R · C_S · C_B
- C_H = Koreksi efisiensi *hammer*
- C_R = Koreksi panjang stang bor
- C_S = Koreksi jenis sampler
- C_B = Koreksi diameter lubang bor
- N = Nilai SPT sebelum koreksi (N₂+N₃)

Metode pengujian sondir (CPT) yang digunakan dalam proyek ini adalah menggunakan sondir manual dengan kapasitas 2,5 ton. Pengujian dihentikan pada saat alat sudah tidak dapat melakukan penetrasi kedalam tanah ditandai dengan nilai pembacaan *dial gauge* antara 180 sampai 250 kg/cm².

Metode perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data N-SPT menggunakan metode Luciano Decourt (1995, dikutip dalam Mulyono, 2022) dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{ultimate} : Q_p + Q_s \quad (2)$$

$$Q_{ultimate} : \alpha \cdot (N_p \cdot K) \cdot A_p + \beta \cdot (N_s/3 + 1) \cdot A_s \quad (3)$$

$$Q_{allowable} : \frac{Q_{ult}}{S_f} \quad (4)$$

$$Q_{netto} : Q_{all} - W \quad (5)$$

Keterangan:

$Q_{ultimate}$: Daya dukung tanah maksimum pada pondasi (ton)

$Q_{allowable}$: Daya dukung izin tiang pancang (ton)

Q_{netto} : Daya dukung bersih yang bekerja pada tiang (ton)

S_f : *Safety factor* (nilai S_f diambil 2.5 berdasarkan SNI 8460-2017)

W : Berat tiang pancang (ton)

Q_p : Tahanan ujung di dasar tiang (ton)

Q_s : Tahanan selimut akibat lekatan (ton)

N_p : Nilai rata-rata SPT 8D di atas ujung tiang dan 4D di bawah dasar tiang

D : Diameter pondasi tiang (m)

N_s : Nilai rata-rata SPT sepanjang tiang yang tertanam

A_s : Luas keliling selimut tiang (m²)

A_p : Luas penampang dasar tiang (m²)

α : Koefisien dasar tiang (Decourt, 1995, dikutip dalam Mulyono, 2022)

β : Koefisien selimut tiang (Decourt, 1995, dikutip dalam Mulyono, 2022)

K : Koefisien tanah (Decourt, 1995, dikutip dalam Mulyono, 2022)

Metode perhitungan daya dukung tiang pancang berdasarkan data CPT menggunakan metode Begemann (1965, dikutip dalam Raharjo, 2005) dengan rumus sebagai berikut:

$$Q_{all} : \frac{Q_p \cdot A_p}{3} + \frac{Q_s \cdot A_s}{5} \quad (6)$$

$$Q_p : \frac{qc1 + q}{2} \quad (7)$$

Keterangan:

Q_{all} : Daya dukung izin tiang (ton)

$qc1$: nilai qc rata-rata sepanjang 8D di atas ujung tiang

$qc2$: nilai qc rata-rata sepanjang 4D di bawah ujung tiang

Q_s : Jumlah hambatan pelekak

A_p : luas penampang dasar tiang (m²)

A_s : luas keliling tiang (m²)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pembahasan hasil penyelidikan tanah pada penelitian ini hanya berfokus pada area yang akan dibangun Stasiun Karawang pada proyek kereta cepat. Jumlah titik penyelidikan tanah pada area tersebut yaitu 4 (empat) titik bor (BH-1 hingga BH-4) dan 3 (tiga) titik sondir (CPT-1 hingga CPT-3).

3.1 Hasil Pengeboran

Data yang diperoleh dari kegiatan pengeboran dapat dilihat pada Tabel 1, 2, 3, dan 4 yang merinci kedalaman dan jenis lapisan tanah pada masing-masing titik pengeboran.

Tabel 1.

Deskripsi Jenis Lapisan Tanah Titik Bor BH-01

Kedalaman Lapisan (m)	Ketebalan Lapisan (m)	Nilai N-SPT	Deskripsi Tanah
0-14	14	4-18 pukulan	Lempung lanauan, berwarna coklat keabu-abuan, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>medium stiff</i> hingga <i>very stiff</i> .
14-17	3	15-23 pukulan	Lanau lempungan bercampur pasir dan gravel dengan ukuran gravel maksimum 7cm, berwarna abu-abu kecoklatan, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>stiff</i> hingga <i>very stiff</i> .
17-40	23	30-60 pukulan	<i>Clayshale</i> berwarna abu-abu gelap, tersementasi lemah, tingkat plastisitas tinggi.

Tabel 2.

Deskripsi Jenis Lapisan Tanah Titik Bor BH-02

Kedalaman Lapisan (m)	Ketebalan Lapisan (m)	Nilai N-SPT	Deskripsi Tanah
0-19	19	7-16 pukulan	Lempung lanauan, berwarna coklat kehijauan, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>medium stiff</i> hingga <i>stiff</i> .
19-22	3	23-43 pukulan	Lanau lempungan, berwarna abu-abu, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>very stiff</i> .
22-40	18	31-60 pukulan	<i>Clayshale</i> berwarna abu-abu gelap, tersementasi lemah, tingkat plastisitas tinggi.

Tabel 3.

Deskripsi Jenis Lapisan Tanah Titik Bor BH-03

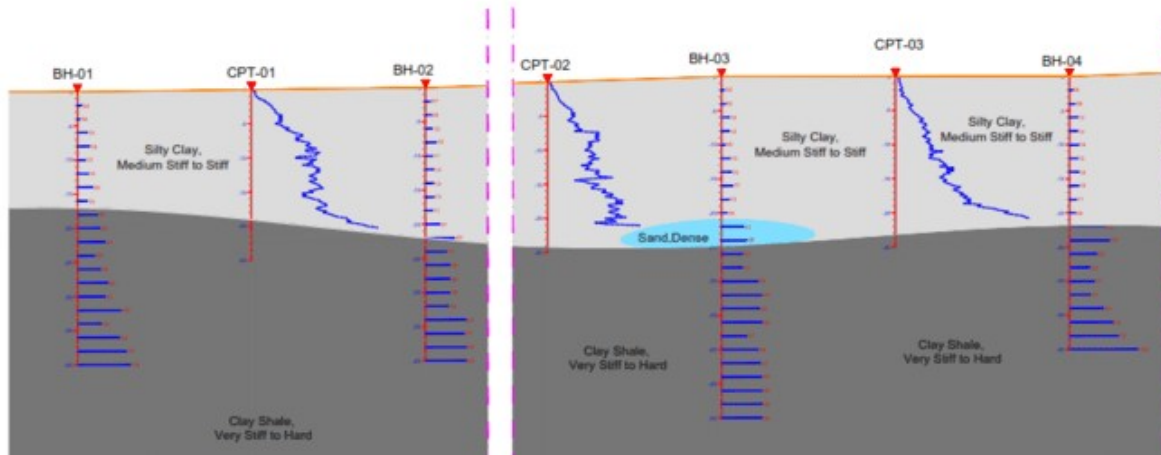
Kedalaman Lapisan (m)	Ketebalan Lapisan (m)	Nilai N-SPT	Deskripsi Tanah
0-22	22	4-17 pukulan	Lempung lanauan, berwarna abu-abu dan cokelat kehijauan, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>medium stiff</i> hingga <i>very stiff</i> .
22-25	3	33-38 pukulan	Pasir lanauan dengan gravel, ukuran butir pasir halus, ukuran butir gravel maksimum 3cm, berwarna abu-abu, tingkat kepadatan relatif padat.
25-50	25	31-60 pukulan	<i>Clayshale</i> dengan sisipan pasir halus, berwarna abu-abu gelap hingga hitam, tersementasi lemah, tingkat plastisitas tinggi.

Tabel 4.

Deskripsi Jenis Lapisan Tanah Titik Bor BH-04

Kedalaman Lapisan (m)	Ketebalan Lapisan (m)	Nilai N-SPT	Deskripsi Tanah
0-21	21	4-18 pukulan	Lempung lanauan, berwarna abu-abu kecokelatan hingga cokelat keabu-abuan, tingkat plastisitas tinggi, tingkat konsistensi <i>medium stiff</i> hingga <i>stiff</i> .
22-40	18	30-60 pukulan	<i>Clayshale</i> dengan sisipan pasir halus, berwarna abu-abu gelap hingga hitam, tersementasi lemah, tingkat plastisitas tinggi.

Dari tabel diatas dapat dilihat bahwa kondisi lapisan tanah stasiun Karawang secara umum didominasi oleh lempung. Lapisan lempung dibagi menjadi 2 lapisan, lapisan pertama dari kedalaman 0-20 m memiliki karakteristik lempung lanauan dengan konsistensi *medium stiff* hingga *very stiff*, nilai N-SPT bervariasi antara 4 hingga 26 pukulan/30 cm. Lapisan kedua pada kedalaman 20-50 m terdiri dari *clayshale* dengan tingkat konsistensi *very stiff* hingga *hard*, nilai N-SPT bervariasi antara 23 hingga 60 pukulan/ 30 cm, serta ditemukan lapisan melensa pasir (mengacu titik BH-3) yang berukuran butir halus pada kedalaman 22-25 m, tingkat kepadatan relatif padat, nilai N-SPT antara 33 hingga 38 pukulan/30 cm. Penampang melintang kondisi bawah permukaan dengan plot grafik N-SPT dan grafik CPT daerah penelitian disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3.

Penampang melintang kondisi bawah permukaan lokasi penelitian
(Sumber: PT. WSP-Engineering)

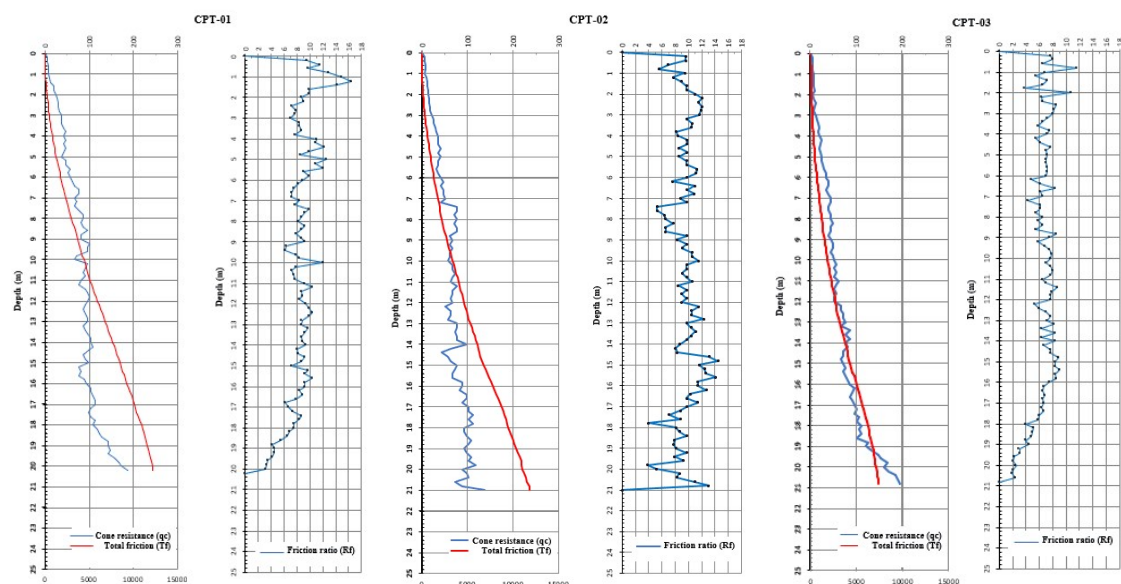
3.2 Hasil Pengujian CPT

Hasil pengujian sondir/CPT diambil dari tiga titik pengujian yang diringkas pada Tabel 5. Grafik hubungan antara nilai tahanan konus (q_c) dan *friction ratio* terhadap kedalaman tanah untuk masing-masing titik ditampilkan pada Gambar 4.

Tabel 5.

Data Hasil Pengujian Sondir

Kode Titik	Kedalaman Maksimum Pengujian (m)	Tahanan Konus (kg/cm^2)
CPT-1	20,20	188,01
CPT-2	21,00	138,15
CPT-3	20,80	195,07



Gambar 4.

Grafik Hubungan Nilai Tahanan Konus (q_c) dan *Friction Ratio* (Fr) terhadap kedalaman pada titik CPT-01, CPT-02, dan CPT-03

Klasifikasi jenis lapisan tanah berdasarkan data pengujian sondir/CPT didapatkan dari hubungan tahanan ujung (q_c) dengan rasio gesekan (R_f). Hasil sondir jika dibandingkan dengan hasil pengeboran terdapat adanya kesamaan lapisan tanah sesuai uraian berikut ini:

- Pada titik CPT-01 lapisan tanah lempung lanauan dengan konsistensi *medium stiff* berada pada kedalaman 0-6 m dengan nilai q_c rata-rata 31,25 kg/cm². Hasil pengujian SPT pada titik BH-01 dan BH-02 yang memiliki lokasi berdekatan dengan titik CPT-01, memiliki nilai SPT rata-rata 8 pukulan yang termasuk dalam kelompok lapisan tanah lempung lanauan dengan konsistensi *medium stiff*. Kemudian kedalaman 6-15 m hasil pengujian sondir menunjukkan nilai q_c bervariasi antara 50 kg/cm² hingga 97 kg/cm², nilai SPT rata-rata pada kedalaman tersebut adalah 16 pukulan mengindikasikan lapisan tanah memiliki konsistensi *very stiff*, lalu lapisan tanah dari kedalaman 15-20 m dengan rentang nilai q_c antara 112 kg/cm² hingga nilai maksimum yaitu 188 kg/cm², nilai SPT rata-rata pada kedalaman ini adalah 32 pukulan mengindikasikan tingkat konsistensi tanah *very stiff* hingga *hard*.
- Pada titik CPT-02 kedalaman 0-7 m memiliki nilai q_c rata-rata 26,52 kg/cm². Hasil pengujian SPT pada titik BH-02 dan BH-03 memiliki nilai SPT rata-rata 7 pukulan mengindikasikan kedalaman ini memiliki konsistensi tanah *medium stiff*. Kemudian kedalaman 7-17 m, memiliki rentang nilai q_c dari 41 kg/cm² hingga 102,5 kg/cm², nilai SPT rata-rata kedalaman ini adalah 12 pukulan mengindikasikan lapisan tanah pada kedalaman 7-17 m memiliki tingkat konsistensi *stiff*, lalu lapisan tanah dari kedalaman 17-20 m memiliki rentang nilai q_c antara 102 kg/cm² hingga 138 kg/cm² dengan nilai SPT rata-rata kedalaman ini adalah 28 pukulan mengindikasikan tingkat konsistensi tanah *very stiff*.
- Pada titik CPT-03 kedalaman 0-7 m memiliki nilai q_c rata-rata 20,06 kg/cm². Hasil pengujian SPT pada titik BH-03 dan BH-04 memiliki nilai SPT rata-rata 8 pukulan yang mengindikasikan kedalaman ini memiliki konsistensi tanah *medium stiff*. Kemudian pada kedalaman 7-16 m memiliki rentang nilai q_c dari 45 kg/cm² hingga 87 kg/cm² dan nilai SPT rata-rata adalah 12 pukulan mengindikasikan lapisan tanah pada kedalaman 7-16 m memiliki tingkat konsistensi *stiff*, lalu lapisan tanah dari kedalaman 16-20 m memiliki rentang nilai q_c antara 97 kg/cm² hingga 195 kg/cm² dan nilai SPT rata-rata adalah 12 pukulan mengindikasikan tingkat lapisan tanah pada kedalaman konsistensi *stiff* hingga *very stiff*.

3.3 Perhitungan Daya Dukung Aksial Tiang Pancang

Perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal pada tulisan ini menggunakan parameter tiang sebagai berikut:

Tipe tiang	: Driven Pile berbentuk lingkaran
Diameter tiang (D)	: 40 cm
Luas tiang (A_p)	: 1256,64 cm ²
Keliling tiang (K)	: 125,6 cm
Berat jenis beton	: 2,4 ton/m ³

3.3.1 Daya dukung tiang berdasarkan data N-SPT

Hasil perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data N-SPT dari titik bor BH-1 hingga BH-4 menggunakan metode Luciano Decourt (1995) dapat dilihat pada Tabel 6 hingga Tabel 9 (tanda “.” merupakan notasi untuk memisahkan angka desimal) sedangkan grafik plot hubungan antara daya dukung izin dengan kedalaman tiap titik bor dapat dilihat pada Gambar 5.

Tabel 6.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data N-SPT BH-01

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	N-SPT koreksi (N60)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qallow (ton)	Berat tiang (ton)	Daya Dukung ljin (ton)
0	Clay								
1	Clay								
2	Clay	6	5	5.7	6.3	11.9	4.8	0.6	4.2
4	Clay	4	3	9.4	11.3	20.7	8.3	1.2	7.1
6	Clay	15	11	13.9	23.2	37.2	14.9	1.8	13.1
8	Clay	18	14	17.0	37.1	54.0	21.6	2.4	19.2
10	Clay	12	9	17.3	47.1	64.5	25.8	3.0	22.8
12	Clay	16	12	19.2	59.7	78.9	31.6	3.6	27.9
14	Clay	23	17	20.4	76.7	97.0	38.8	4.2	34.6
16	Clay	15	11	25.6	88.6	114.2	45.7	4.8	40.9
18	Clay	30	23	29.4	110.0	139.4	55.7	5.4	50.3
20	Clay	33	25	39.2	133.2	172.4	69.0	6.0	62.9
22	Clay	41	31	37.7	161.5	199.2	79.7	6.6	73.0
24	Clay	26	20	38.1	180.3	218.4	87.4	7.2	80.1
26	Clay	34	26	39.6	204.2	243.8	97.5	7.8	89.7
28	Clay	45	34	45.2	235.0	280.2	112.1	8.4	103.6
30	Clay	41	31	56.5	263.3	319.8	127.9	9.0	118.9
32	Clay	64	48	52.8	306.0	358.8	143.5	9.7	133.9
34	Clay	35	26	60.7	330.5	391.2	156.5	10.3	146.2
36	Clay	62	47	63.7	372.0	435.7	174.3	10.9	163.4
38	Clay	72	54	79.9	419.7	499.6	199.9	11.5	188.4
40	Clay	78	59	84.8	471.2	556.1	222.4	12.1	210.4

Tabel 7.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data N-SPT BH-02

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	N-SPT koreksi (N60)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qallow (ton)	Berat tiang (ton)	Daya Dukung ljin (ton)
0	Clay								
1	Clay								
2	Clay	7	5	8.5	6.9	15.4	6.2	0.6	5.6
4	Clay	8	6	9.4	14.5	23.9	9.6	1.2	8.3
6	Clay	10	8	12.8	23.2	36.1	14.4	1.8	12.6
8	Clay	16	12	13.9	35.8	49.8	19.9	2.4	17.5
10	Clay	11	8	14.7	45.2	59.9	24.0	3.0	21.0
12	Clay	12	9	13.2	55.3	68.5	27.4	3.6	23.8
14	Clay	12	9	13.9	65.3	79.3	31.7	4.2	27.5
16	Clay	13	10	13.6	76.0	89.6	35.8	4.8	31.0
18	Clay	11	8	17.0	85.5	102.4	41.0	5.4	35.5
20	Clay	21	16	28.3	101.2	129.4	51.8	6.0	45.7
22	Clay	43	32	35.8	130.7	166.5	66.6	6.6	60.0
24	Clay	31	23	41.5	152.7	194.2	77.7	7.2	70.4
26	Clay	36	27	38.8	177.8	216.6	86.7	7.8	78.8
28	Clay	36	27	40.7	202.9	243.7	97.5	8.4	89.0
30	Clay	36	27	40.0	228.1	268.0	107.2	9.0	98.2
32	Clay	34	26	49.0	252.0	301.0	120.4	9.7	110.7
34	Clay	60	45	56.9	292.2	349.1	139.6	10.3	129.4
36	Clay	57	43	66.7	330.5	397.2	158.9	10.9	148.0
38	Clay	60	45	66.7	370.7	437.4	175.0	11.5	163.5
40	Clay	60	45	67.9	410.9	478.8	191.5	12.1	179.4

Tabel 8.

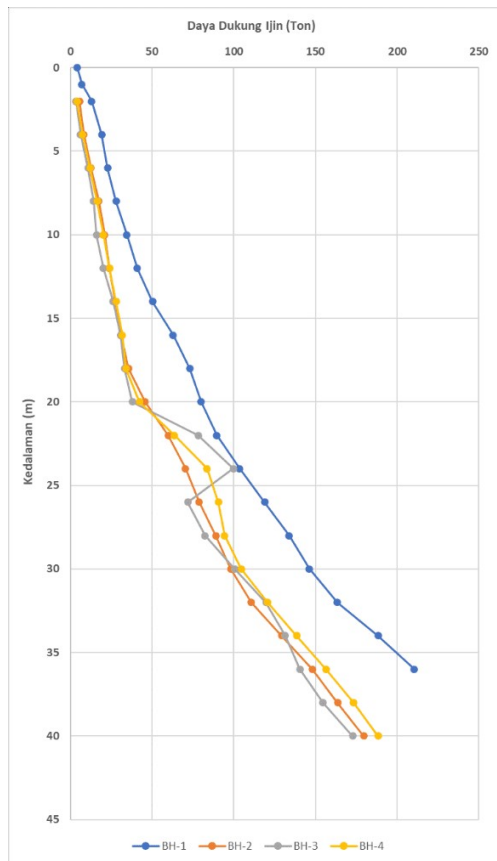
Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data N-SPT BH-03

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	N-SPT koreksi (N60)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qallow (ton)	Berat tiang (ton)	Daya Dukung ljin (ton)
0	Clay								
1	Clay								
2	Clay	4	3	5.1	5.0	10.1	4.0	0.6	3.4
4	Clay	5	4	7.9	10.7	18.6	7.4	1.2	6.2
6	Clay	12	9	10.9	20.7	31.7	12.7	1.8	10.9
8	Clay	12	9	10.9	30.8	41.7	16.7	2.4	14.3
10	Clay	5	4	11.3	36.4	47.8	19.1	3.0	16.1
12	Clay	13	10	12.4	47.1	59.6	23.8	3.6	20.2
14	Clay	15	11	17.0	59.1	76.0	30.4	4.2	26.2
16	Clay	17	13	16.6	72.3	88.8	35.5	4.8	30.7
18	Clay	12	9	13.9	82.3	96.3	38.5	5.4	33.1
20	Clay	8	6	20.0	89.8	109.8	43.9	6.0	37.9
22	Sand	33	25	99.3	113.1	212.4	84.9	6.6	78.3
24	Sand	38	29	128.2	139.5	267.7	107.1	7.2	99.8
26	Clay	31	23	37.7	161.5	199.2	79.7	7.8	71.8
28	Clay	31	23	43.7	183.5	227.2	90.9	8.4	82.4
30	Clay	54	41	54.3	219.9	274.2	109.7	9.0	100.6
32	Clay	59	44	63.7	259.5	323.2	129.3	9.7	119.6
34	Clay	56	42	57.3	297.2	354.5	141.8	10.3	131.5
36	Clay	37	28	55.4	323.0	378.4	151.3	10.9	140.5
38	Clay	54	41	55.8	359.4	415.2	166.1	11.5	154.6
40	Clay	57	43	64.1	397.7	461.8	184.7	12.1	172.7

Tabel 9.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data N-SPT BH-04

Kedalaman	Jenis Tanah	N-SPT	N-SPT koreksi (N60)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qult (ton)	Qallow (ton)	Berat tiang (ton)	Daya Dukung Ijin (ton)
0	Clay								
1	Clay								
2	Clay	4	3	6.79	5.03	11.81	4.72	0.60	4.12
4	Clay	8	6	9.05	12.57	21.61	8.65	1.21	7.44
6	Clay	12	9	12.06	22.62	34.68	13.87	1.81	12.06
8	Clay	12	9	14.33	32.67	47.00	18.80	2.41	16.39
10	Clay	14	11	14.33	43.98	58.31	23.32	3.02	20.31
12	Clay	12	9	15.08	54.04	69.12	27.65	3.62	24.03
14	Clay	14	11	15.08	65.35	80.42	32.17	4.22	27.95
16	Clay	14	11	14.70	76.65	91.36	36.54	4.83	31.72
18	Clay	11	8	12.44	86.08	98.52	39.41	5.43	33.98
20	Clay	8	6	27.52	93.62	121.14	48.46	6.03	42.42
22	Clay	54	41	45.62	130.06	175.68	70.27	6.64	63.64
24	Clay	59	44	57.68	169.65	227.33	90.93	7.24	83.69
26	Clay	40	30	48.63	197.29	245.92	98.37	7.84	90.53
28	Clay	30	23	38.45	218.65	257.11	102.84	8.44	94.40
30	Clay	32	24	42.60	241.27	283.87	113.55	9.05	104.50
32	Clay	51	38	50.14	275.83	325.97	130.39	9.65	120.74
34	Clay	50	38	62.20	309.76	371.96	148.79	10.25	138.53
36	Clay	64	48	65.60	352.49	418.08	167.23	10.86	156.38
38	Clay	60	45	69.37	392.70	462.07	184.83	11.46	173.37
40	Clay	60	45	67.86	432.91	500.77	200.31	12.06	188.24

**Gambar 5.**

Grafik Hubungan Daya Dukung Izin Terhadap Kedalaman Pada Titik BH-01 hingga BH-04

Berdasarkan tabel perhitungan diatas, dapat dilihat bahwa titik BH-01 memiliki tingkat daya dukung yang paling tinggi yaitu 210 ton pada kedalaman 40 m. Sedangkan nilai daya dukung masing-masing titik BH-02 hingga BH-03 pada kedalaman 40 meter adalah 179 ton, 172 ton, dan 188 ton.

3.3.2 Perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data CPT

Hasil perhitungan daya dukung tiang berdasarkan data CPT pada titik CPT-01 hingga CPT-03 menggunakan metode Begemann dapat dilihat pada Tabel 9 hingga Tabel 11 (tanda “.” merupakan notasi untuk memisahkan angka desimal), sedangkan grafik plot hubungan daya dukung izin tiang terhadap kedalaman tiap titik sondir dapat dilihat pada Gambar 6.

Tabel 10.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT-01

Depth (m)	qc1 (kg/cm ²)	qc2 (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Tf (kg/cm)	Qs/ meter (ton)	Qallow (ton)	Berat Tiang (ton)	Daya Dukung Ijin (ton)
1	5.0	20.5	1256.6	16.1	72	0.02	5.37	0.30	5.07
2	10.9	32.6	1256.6	27.3	268	0.07	9.17	0.60	8.57
3	17.2	40.7	1256.6	36.4	508	0.13	12.26	0.90	11.35
4	26.9	44.2	1256.6	44.7	858	0.22	15.10	1.21	13.89
5	35.8	54.9	1256.6	57.0	1308	0.33	19.32	1.51	17.81
6	42.9	68.3	1256.6	69.9	1818	0.46	23.76	1.81	21.95
7	52.7	79.6	1256.6	83.1	2348	0.59	28.29	2.11	26.18
8	62.5	89.7	1256.6	95.7	3018	0.76	32.64	2.41	30.23
9	74.4	87.6	1256.6	101.8	3758	0.94	34.89	2.71	32.17
10	81.6	86.7	1256.6	105.7	4438	1.12	36.36	3.02	33.35
11	87.1	90.7	1256.6	111.7	5138	1.29	38.52	3.32	35.20
12	88.7	93.1	1256.6	114.2	5978	1.50	39.56	3.62	35.95
13	89.1	96.5	1256.6	116.6	6858	1.72	40.60	3.92	36.68
14	93.1	91.1	1256.6	115.7	7738	1.94	40.52	4.22	36.30
15	95.6	91.8	1256.6	117.7	8528	2.14	41.39	4.52	36.86
16	92.5	103.6	1256.6	123.2	9318	2.34	43.41	4.83	38.58
17	96.4	111.5	1256.6	130.7	10128	2.55	46.10	5.13	40.98
18	98.0	134.5	1256.6	146.1	10948	2.75	51.45	5.43	46.02

Tabel 11.

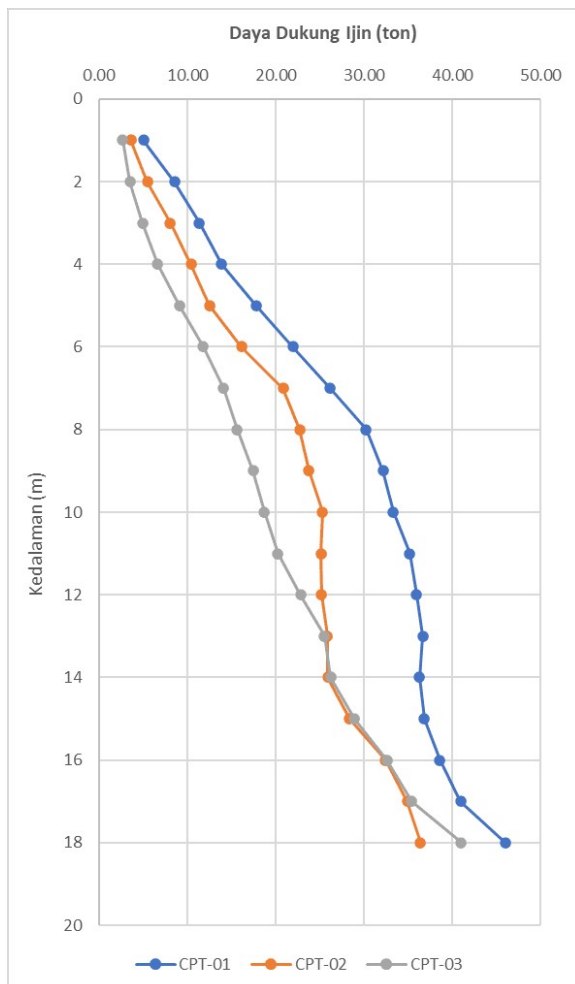
Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT-02

Depth (m)	qc1 (kg/cm ²)	qc2 (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Tf (kg/cm)	Qs/ meter (ton)	Qallow (ton)	Berat Tiang (ton)	Daya Dukung Ijin (ton)
1	5.2	13.4	1256.6	11.7	50	0.01	3.91	0.30	3.61
2	8.6	20.2	1256.6	18.1	172	0.04	6.09	0.60	5.48
3	11.5	30.8	1256.6	26.6	384	0.10	8.97	0.90	8.06
4	18.3	36.4	1256.6	34.4	654	0.16	11.62	1.21	10.41
5	26.6	39.3	1256.6	41.4	1004	0.25	14.05	1.51	12.54
6	32.5	51.7	1256.6	52.9	1374	0.35	17.97	1.81	16.16
7	39.1	68.5	1256.6	67.6	1814	0.46	23.00	2.11	20.88
8	48.7	68.6	1256.6	73.7	2244	0.56	25.13	2.41	22.72
9	58.8	64.3	1256.6	77.4	2784	0.70	26.49	2.71	23.78
10	64.6	66.7	1256.6	82.5	3414	0.86	28.34	3.02	25.33
11	67.1	64.0	1256.6	82.4	4064	1.02	28.48	3.32	25.16
12	65.1	67.0	1256.6	83.0	4684	1.18	28.84	3.62	25.22
13	64.7	71.0	1256.6	85.2	5354	1.35	29.76	3.92	25.84
14	69.2	67.2	1256.6	85.7	6154	1.55	30.13	4.22	25.91
15	67.0	81.8	1256.6	93.5	6834	1.72	32.89	4.52	28.37
16	71.6	97.0	1256.6	105.9	7774	1.95	37.25	4.83	32.43
17	77.9	102.7	1256.6	113.4	8774	2.21	40.02	5.13	34.89
18	88.9	99.5	1256.6	118.4	9534	2.40	41.85	5.43	36.42

Tabel 12.

Hasil Perhitungan Daya Dukung Tiang Berdasarkan Data CPT-03

Depth (m)	qc1 (kg/cm ²)	qc2 (kg/cm ²)	Ap (cm ²)	Qp (ton)	Tf (kg/cm)	Qs/ meter (ton)	Qallow (ton)	Berat Tiang (ton)	Daya Dukung Ijin (ton)
1.00	5.03	9.08	1256.64	8.87	48	0.01	2.97	0.30	2.67
2.00	6.55	13.00	1256.64	12.28	102	0.03	4.12	0.60	3.52
3.00	7.92	19.80	1256.64	17.42	184	0.05	5.85	0.90	4.95
4.00	12.02	24.94	1256.64	23.22	314	0.08	7.82	1.21	6.61
5.00	16.69	33.42	1256.64	31.48	470	0.12	10.61	1.51	9.10
6.00	23.06	41.11	1256.64	40.32	692	0.17	13.61	1.81	11.81
7.00	30.56	45.70	1256.64	47.91	952	0.24	16.21	2.11	14.10
8.00	37.17	47.50	1256.64	53.20	1202	0.30	18.04	2.41	15.62
9.00	42.90	51.53	1256.64	59.33	1512	0.38	20.16	2.71	17.44
10.00	46.62	55.01	1256.64	63.86	1872	0.47	21.76	3.02	18.74
11.00	50.29	59.59	1256.64	69.04	2282	0.57	23.59	3.32	20.27
12.00	52.20	70.84	1256.64	77.31	2702	0.68	26.45	3.62	22.83
13.00	59.10	77.65	1256.64	85.92	3172	0.80	29.44	3.92	25.52
14.00	66.60	74.45	1256.64	88.62	3762	0.95	30.49	4.22	26.26
15.00	71.74	82.93	1256.64	97.18	4332	1.09	33.48	4.52	28.96
16.00	76.88	95.85	1256.64	108.52	4992	1.25	37.43	4.83	32.60
17.00	82.02	104.87	1256.64	117.43	5612	1.41	40.55	5.13	35.43
18.00	89.80	124.46	1256.64	134.62	6212	1.56	46.44	5.43	41.01

**Gambar 6.**

Grafik Hubungan Daya Dukung Izin Terhadap Kedalaman Pada Titik CPT-01 hingga CPT-03

Berdasarkan hasil pengujian sondir didapatkan data sondir maksimum kedalaman rata-rata 20 m. Perhitungan daya dukung membutuhkan data nilai tahanan konus (q_c) rata-rata 8D di atas ujung tiang dan 4D di bawah ujung tiang. Untuk itu dalam perhitungan diasumsikan bahwa panjang tiang pancang adalah 18 m, sehingga perhitungan daya dukung hanya dilakukan hingga kedalaman 18 m. Nilai daya dukung tertinggi terletak pada titik CPT-01 dengan nilai 46 ton, sedangkan nilai paling rendah terletak pada titik CPT-02 dengan nilai 36 ton.

3.3.3 Perbandingan daya dukung N-SPT dan CPT

Berdasarkan hasil penyelidikan lapangan, data sondir berada pada maksimum kedalaman rata-rata 20 m. Perbandingan nilai daya dukung berdasarkan nilai N-SPT dan CPT dilakukan pada kedalaman yang sama yaitu 18 m. Hasil rekapitulasi nilai daya dukung untuk setiap titik bor dan sondir dapat dilihat pada Tabel 12. Berdasarkan tabel tersebut metode Lois Decourt dan metode Begemann menunjukkan perbedaan hasil yang tidak terlalu jauh, dapat dilihat bahwa nilai daya dukung izin paling tinggi terdapat pada titik BH-01 berdasarkan data N-SPT yaitu 50,3 ton dengan rata-rata daya dukung dari 4 titik bor tersebut adalah 38,22 ton, sedangkan nilai daya dukung izin pada data sondir terletak pada titik CPT-01 yaitu 46,02 ton dengan rata-rata daya dukung dari 3 titik sondir tersebut adalah 41,15 ton.

Tabel 12.

Hasil Rekapitulasi Nilai Daya Dukung Berdasarkan N-SPT dan CPT

Borehole ID	Dimensi Tiang		N-SPT Luciano Decourt (1996)			CPT ID	Dimensi Tiang		CPT Begemann (1965)		
	Diameter (m)	Panjang (m)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qallow (ton)		Diameter Tiang (m)	Panjang (m)	Qp (ton)	Qs (ton)	Qallow (ton)
BH-01	0.4	18	29.41	109.96	50.32	CPT-01	0.4	18	146.1	13.76	46.02
BH-02	0.4	18	16.96	85.45	35.54	CPT-02	0.4	18	118.4	11.98	36.42
BH-03	0.4	18	13.95	82.31	33.07	CPT-03	0.4	18	134.62	7.81	41.01
BH-04	0.4	18	12.44	86.08	33.98						

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil penyelidikan tanah dan perhitungan daya dukung tiang pancang tunggal maka dapat disimpulkan bahwa Berdasarkan hasil data pengeboran dan sondir, kondisi tanah daerah penelitian terdiri dari 2 lapisan lempung. Kedalaman 0-20 m memiliki tingkat konsistensi *medium stiff* hingga *very stiff*, kedalaman 20-50 m memiliki tingkat konsistensi *very stiff* hingga *hard*. Hasil perhitungan daya dukung izin berdasarkan data N-SPT menggunakan metode Luciano Decourt dari titik BH-01 hingga BH-04 masing-masing adalah 50,3 ton, 35,54 ton, 33,07 ton, dan 33,98 ton. Hasil perhitungan daya dukung izin berdasarkan data CPT menggunakan metode Begemann (1965) dari titik CPT-01 hingga CPT-03 masing-masing adalah 46,02 ton, 36,42 ton, dan 41,01 ton.

Saran dari penelitian ini adalah dalam penyelidikan tanah lapangan sebaiknya digunakan peralatan dan prosedur yang standar agar data yang dihasilkan dapat akurat dan dapat digunakan dalam analisis daya dukung pondasi. Perhitungan daya dukung tanah sebaiknya juga dikombinasikan dengan data lainnya seperti data laboratorium agar perencanaan daya dukung dapat dilakukan secara efisien.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT.Wijaya Karya Persero (Tbk) dan PT. WSP-Engineering yang telah membantu menyediakan data penyelidikan tanah dan memberikan izin kepada penulis untuk mempublikasikan penelitian ini.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Begemann. (1965). *The maximum pulling force on a single tension pile calculated on the basis of result of the adhesion jacket cone*. The 6th International conference on soil mechanics and foundation engineering, Montreal 2, pp. 229.
2. Decourt L. (1995). *Prediction of load-settlement relationships for foundation on the basis of the SPT*. Ciclo de Conferencias Internacionales, Leonardo Zeevaert, UNAM, Mexico, 1995, pp. 85-104.
3. Mulyono & Agustina, D. (2022). *Perhitungan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal dan Kelompok (Studi Kasus Proyek Hangar Lion Air Batam)*. Sigma Teknik, Vol. 5, No.2 : 372-382.
4. Look, Burt G. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*. London: Taylor & Francis Group.
5. PT. WSP Engineering. (2019). *Geotechnical Investigation for Stations and Buildings High Speed Railway Jakarta Bandung*. Bandung: PT WSP.
6. PT. Wijaya Karya. (2019). *Soil Investigation for Stations and Buildings High Speed Railway Jakarta Bandung*. Jakarta: PT. Wijaya Karya.
7. Rahardjo, Paulus P. (2005). *Manual Pondasi Tiang Edisi 3*. Bandung: Geotechnical Engineering Center.
8. SNI 8460. (2017). *Standard Nasional Indonesia untuk Persyaratan Perancangan Geoteknik*.