

ANALISIS DAYA DUKUNG PONDASI TIANG PANCANG PADA PEMBANGUNAN JEMBATAN SICANANG KECAMATAN MEDAN BELAWAN KOTA MEDAN

CINDY MERRY C TAMBUNAN¹ KARTIKA INDAH SARI²

^{1,2,3}Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik dan Komputer, Universitas Harapan Medan
cindymerrytambunan21@gmail.com

Abstrak

Bagian terpenting dalam struktur jembatan adalah pondasi. Sebagai pendukung struktur atas, maka pemilihan jenis pondasi dan analisis daya dukungnya harus dilakukan dengan teliti. Tujuan dari penulisan skripsi ini untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari hasil *Cone Penetration Test* (CPT), *Standar Penetrasi Test* (SPT). Pada perhitungan daya dukung tiang tunggal dilakukan dengan menggunakan metode *Meyerhoff* variasi dimensi 20cm dan 25cm berdasarkan data CPT dan dimensi 25cm berdasarkan data SPT, dan menghitung daya dukung izin tiang pancang kelompok dimensi 20cm berdasarkan data CPT dan 25cm berdasarkan data SPT menggunakan metode *Converse-Labarre*. Hasil dan pembahasan analisis perhitungan diperoleh kesimpulan yaitu untuk daya dukung izin (Q_i) pada pondasi tiang pancang tunggal dari data CPT S-1 dengan kedalaman 17,60 meter menggunakan metode *Meyerhoff* diperoleh untuk dimensi 20cm = 36,39 Ton, 25cm = 53,82 Ton dan dari data SPT BH-1 kedalam 75,45 meter untuk dimensi 25cm = 158,632 Ton, hasil analisis perhitungan daya dukung izin (Q_i) untuk pondasi tiang pancang kelompok dimensi 20cm dari data CPT menggunakan metode *Converse – Labarre* = 145,414 Ton dengan jumlah tiang sebanyak = 4 tiang dan hasil analisis daya dukung izin (Q_i) pondasi tiang pancang kelompok dimensi 25cm dari data SPT = 505,084 Ton dengan jumlah tiang sebanyak = 4 tiang.

Kata Kunci: Tiang Pancang, CPT, SPT

Abstract

The most important part in the bridge structure is the foundation. As a support for the superstructure, the selection of the type of foundation and its bearing capacity analysis must be carried out carefully. The purpose of writing this thesis is to calculate the bearing capacity of the piles from the results of the *Cone Penetration Test* (CPT), *Standard Penetration Test* (SPT). The calculation of the carrying capacity of a single pile is carried out using the *Meyerhoff* method with variations in dimensions of 20cm and 25cm based on CPT data and dimensions of 25cm based on SPT data, and calculating the permit carrying capacity of the 20cm dimension group piles based on CPT data and 25cm based on SPT data using the *Converse-Labarre* method. The results and discussion of the analysis of the calculations obtained the conclusion that for the permit carrying capacity (Q_i) on a single pile foundation from CPT S-1 data with a depth of 17.60 meters using the *Meyerhoff* method obtained for dimensions of 20cm = 36.39 tons, 25cm = 53.82 Tons and from SPT BH-1 data into 75.45 meters for dimensions of 25cm = 158.632 Tons, the results of the analysis of the permit bearing capacity (Q_i) calculation for pile foundations of the 20cm dimension group from CPT data using the *Converse – Labarre* method = 145.414 Tons with the number of piles = 4 piles and the results of the allowable bearing capacity (Q_i) analysis of the 25cm dimension group pile foundation from the SPT = 505.084 Tons with a total of = 4 piles.

Keywords: Pile Foundation, CPT, Pile Carrying Capacity.

1. PENDAHULUAN

Jembatan mempunyai peranan yang sangat penting dalam aktifitas bermasyarakat, berbangsa dan bernegara di berbagai bidang, sehingga perlu adanya perhatian khusus dalam pembangunan dan perawatannya. Jembatan Sicanang yang terletak di kawasan pulau Sicanang ini merupakan akses utama dan satu-satunya yang menghubungkan kota Belawan dengan penduduk yang berada di Kelurahan Belawan Sicanang, sehingga kerusakan yang terjadi pada jembatan ini sangat mengganggu aktivitas penduduk baik sosial budaya maupun akses perekonomian karena sebahagian besar penduduk yang mendiami kelurahan sicanang menggantungkan ekonominya dari perdagangan dan buruh/karyawan. Tata guna lahan disekitar jembatan Sicanang merupakan kawasan permukiman dan alur, dimana disisi kiri jembatan terdapat konstruksi utilitas pipa gas milik Pertamina, sedangkan disisi kanan hilir jembatan terdapat bangunan kantor milik masyarakat yang lahannya belum dibebaskan. Pembangunan Jembatan ini dengan maksud untuk melanjutkan pembangunan jembatan Sicanang sebelumnya karena pembangunan jembatan sebelumnya sempit terbengkalai pembangunannya. Kini jembatan kembali dilanjutkan dan akan ditargetkan rampung di tahun ini dan direncanakan oleh Dinas Pekerjaan Umum Kota Medan

Tujuan pada penulisan skripsi ini untuk Menganalisis kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang tunggal menggunakan metode *Meyerhoff* berdasarkan data *Cone Penetration Test* dan *Standard Penetration Test* serta menganalisis kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang kelompok menggunakan metode *Converse-Labarre* data *Cone Penetration Test* dan *Standard Penetration Test* , kemudian membandingkan hasil perhitungan data lapangan dan hasil perhitungan penulis menggunakan metode *Mayerhoff* .

2. DASAR TEORI

Pondasi merupakan unsur penting untuk semua bangunan teknik sipil. Setiap bangunan: Gedung, jembatan, jalan raya, terowongan, kanal atau bendungan di bangunan di atas permukaan tanah. Dalam hal ini perlu mengetahui daya dukung tanah.

Macam-macam bentuk pondasi terbagi menjadi dua jenis antara lain:

1. Pondasi dangkal
2. Pondasi dalam

Banyak metode yang dapat digunakan untuk menghitung daya dukung pondasi, diantaranya dengan menggunakan data lapangan dari data sondir dan data SPT .

A. Berdasarkan Data Sondir

Kapasitas daya dukung pondasi tiang pancang dengan data Sondir dinyatakan dalam rumus sebagai berikut:

$$Q_u = q_c \times A_p + JHL \times K_t \quad (1)$$

$$Q_u \text{ ijin} = \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K_t}{5} \quad (2)$$

Dimana :

- Q_u = Kapasitas daya dukung tiang (kg),
- Q_{ijin} = Kapasitas daya dukung ijin (kg),
- q_c = Tahanan ujung Sondir (kg/cm^2),
- JHL = Jumlah hambatan lekat (kg/cm),
- K_t = Keliling tiang (cm),
- A_p = Luas penampang tiang (cm^2),
- 3 = Faktor keamanan daya dukung tiang,
- 5 = Faktor keamanan gesekan selimut.

B. Berdasarkan Data SPT

Untuk menghitung daya dukung tiang pancang dari nilai "N" hasil pengujian *Standard Penetration Test* (SPT) tiang pancang dipakai persamaan "*Mayerhoff*" sebagai berikut :

$$Q_u = Q_p + Q_s \quad (3)$$

$$Q_i = \frac{Q_p}{FK_1} + \frac{Q_s}{FK_2} \quad (4)$$

Dimana :

- Q_u = Daya Dukung Ultimate Tiang Pancang (ton)
- Q_i = Daya Dukung Izin tiang pancang (ton)

C. Kapasitas Daya Dukung Izin Tiang Pancang Kelompok

Kapasitas daya dukung tiang pancang kelompok dengan persamaan *Converse-Labarre* berikut :

$$Q_{ijin} \text{ Kelompok} = \text{Eff} \times Q_{ijin} \text{ Tunggal} \times n \quad (5)$$

Dengan :

- n = Jumlah tiang kelompok
- Q_{ijin} = Kapasitas dukung ijin tiang tunggal (dipakai nilai terkecil)
- Eff = Efisiensi kelompok tiang

3. METODE PENELITIAN

A. Lokasi Penelitian

Lokasi Proyek Pembangunan Jembatan Sicanang berada di kawasan Pulau Sicanang, Kecamatan Medan Belawan, Kota Medan, Provinsi Sumatera Utara.



Gambar 1. Lokasi Penyelidikan Tanah

B. Data Teknis Proyek

Data teknis pada Proyek Pembangunan Jembatan Sicanang yang diperoleh dari lapangan adalah sebagai berikut :

1. Bentang Jembatan = 60 m
2. Lantai Girder = 30 m
3. Oprit 1 bentang = 60 m (2 bentang = 120 m)
4. Lebar Lalu Lintas = 8 m
5. Jenis Jembatan = Rangka baja
6. Abutment = Beton Bertulang K-400 $f_c= 33$
7. Jenis Pondasi = Tiang Pancang
8. Pondasi = 4 Buah
9. Panjang Tiang Pancang = 6 m
10. Kedalaman Tiang Pancang = 18 m
11. Diameter Tiang Pancang (D) = 20

C. Metode Pengumpulan Data

Penulis agar dapat menyelesaikan dan menyempurnakan penulisan Skripsi ini dilakukan beberapa metode pengumpulan data antara lain:

1. Pengambilan data diperoleh dari Kantor PT. FIFO PUSAKA ABADI selaku penanggung jawab proyek, data yang diambil meliputi:
 - a. Gambar Kerja (layout struktur, denah, potongan, detail – detail)
 - b. Data Lapangan (Data SPT/ Data CPT)
2. Melakukan *review* dan studi kepustakaan terhadap *Text Book* dan jurnal – jurnal yang terkait dengan fondasi tiang pancang, kapasitas dukung tiang dan melakukan analisis antara data yang diperoleh dengan buku yang sesuai.
3. Melakukan peninjauan kelapangan bertujuan agar mengetahui lokasi pembangunan pada jembatan Sicanang Kecamatan Medan Belawan Kota Medan dan pengamatan terhadap prosedur pelaksanaan pada saat dilakukan pemancangan.
4. Mendokumentasikan Foto-foto kegiatan proyek dan prosedur pelaksanaan pada saat dilakukan pemancangan.

Metode yang digunakan dalam menganalisis daya dukung tiang pancang dapat dilihat sebagai berikut :

A. Metode Meyerhoff

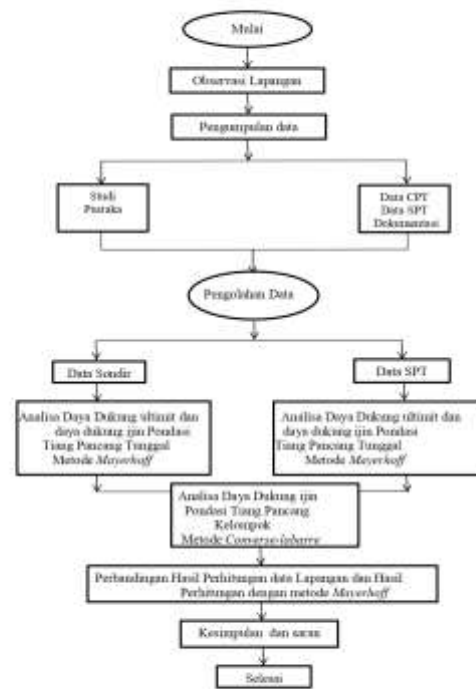
Metode *Meyerhoff* adalah metode yang digunakan oleh penulis dalam menganalisis daya dukung izin tiang pancang tunggal variasi diameter 20cm dan 25 cm berdasarkan data sekunder sondir dan Menganalisis Daya dukung Izin tiang pancang tunggal variasi 25 berdasarkan data SPT yang diperoleh Dari Proyek Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan Belawan.

B. Metode Converse-Labarre

Metode *Converse-Labarre* adalah metode yang digunakan oleh penulis dalam menganalisis daya dukung izin tiang pancang kelompok diameter 20cm berdasarkan data sekunder sondir dan diameter 25cm berdasarkan data SPT yang diperoleh dari Proyek Pembangunan Jembatan Sicanang Kecamatan Belawan.

D. Bagan Alir Penelitian

Secara keseluruhan proses kegiatan penyusunan skripsi ini dapat digambarkan seperti bagan berikut.



Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal Berdasarkan Data CPT

1. Data yang diperoleh dari titik S-1 dimensi 20 cm Kedalaman = 17,6 m

$$\text{Perlawanan penetrasi konus (qc)} = 200 \text{ Kg/cm}^2$$

$$q_{c,r} = 185,0 \text{ kg/cm}^2$$

$$\text{Jumlah hambatan lekat (JHL)} = 608 \text{ Kg/cm}$$

$$\text{Luas penampang tiang (Ap)} = 20 \text{ cm} \times 20 \text{ cm} = 400 \text{ cm}^2$$

$$\text{Keliling pondasi tiang (K)} = 4 \times 20 = 80 \text{ cm}^2$$

Untuk menghitung daya dukung ultimit metode *Meyerhoff* digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_u &= (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \\
 &= (200 \times 400) + (608 \times 80) \\
 &= 80000 + 48640 \\
 &= 128,64 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

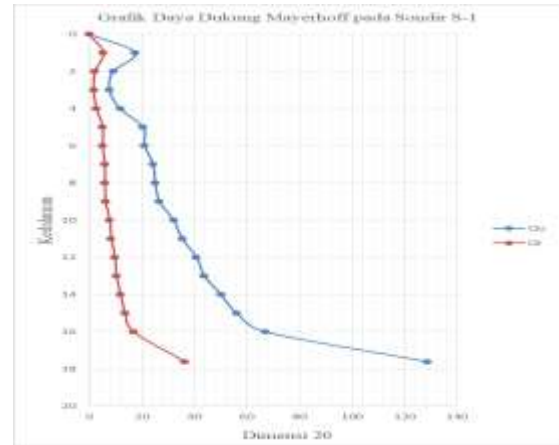
Untuk menghitung daya dukung izin tiang metode Meyerhoff digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_{ijin} &= \frac{q_c \times A_p}{3} + \frac{JHL \times K}{5} \\
 &= \frac{200 \times 400}{3} + \frac{608 \times 80}{5} \\
 &= 26666,66 + 9728 \\
 &= 36,39 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 1 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal S-1 dimensi 20

Kapabilitas Daya Dukung Meyerhoff pada CPT S-1				
Kedalaman	qc (Kg/Cm2)	TSF	Dimensi = 20 cm	
			Qu	Qi
0	0	0	0	0
1.00	35	44	17,520	5,371
2.00	7	78	9,040	2,181
3.00	2	86	7,680	1,643
4.00	8	106	11,680	2,763
5.00	20	156	20,480	5,163
6.00	16	184	21,120	5,077
7.00	20	204	24,320	5,931
8.00	18	224	25,120	5,984
9.00	18	244	26,720	6,304
10.00	25	276	32,080	7,749
11.00	25	318	35,440	8,421
12.00	30	360	40,800	9,760
13.00	30	398	43,840	10,368
14.00	36	446	50,080	11,936
15.00	46	472	56,160	13,685
16.00	65	514	67,120	16,891
17.00	150	576	106,080	29,216
17.60	200	608	128,640	36,395

(Sumber : Hasil perhitungan ,2023)



(Sumber : Hasil perhitungan ,2023)

2.Data yang diperoleh dari titik S-1 dimensi 25 cm

Kedalaman = 17,6 m

Luas penampang tiang (Ap) = 25 cm × 25 cm = 625 cm²

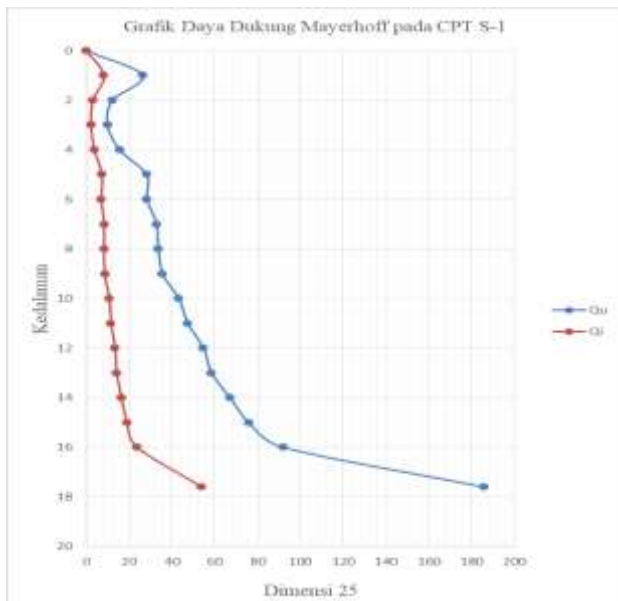
Keliling pondasi tiang (K) = 4 × 25 = 100 cm²

Untuk menghitung daya dukung ultimit metode Meyerhoff digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 Q_u &= (q_c \times A_p) + (JHL \times K) \\
 &= (200 \times 625) + (608 \times 100) \\
 &= 125000 + 60800 \\
 &= 185,8 \text{ ton}
 \end{aligned}$$

Tabel 2 Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal S-1 dimensi 20

Kapabilitas Daya Dukung Meyerhoff pada CPT S-1				
Kedalaman	qc (Kg/Cm2)	TSF	Dimensi = 25 cm	
			Qu	Qi
0	0	0	0	0
1.00	35	44	26,275	8,172
2.00	7	78	12,175	3,018
3.00	2	86	9,850	2,137
4.00	8	106	15,600	3,787
5.00	20	156	28,100	7,287
6.00	16	184	28,400	7,013
7.00	20	204	32,900	8,247
8.00	18	224	33,650	8,230
9.00	18	244	35,650	8,630
10.00	25	276	43,225	10,728
11.00	25	318	47,425	11,568
12.00	30	360	54,750	13,450
13.00	30	398	58,550	14,210
14.00	36	446	67,100	16,420
15.00	46	472	75,950	19,023
16.00	65	514	92,025	23,822
17.00	150	576	151,350	42,770
17.60	200	608	185,800	53,827



(Sumber : Hasil perhitungan ,2023)

B. Analisis Kapasitas Daya Dukung Pondasi Tiang Tunggal Berdasarkan Data SPT

Analisa daya dukung tiang pancang dimensi 25 cm BH-1
Data yang diperoleh dari titik BH-1
Kedalaman = 75,45 m

$$\begin{aligned} \text{Luas penampang tiang (Ap)} &= 25 \text{ cm} \times 25 \text{ cm}^2 \\ &= 625 \text{ cm}^2 = 0,0625 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Keliling pondasi tiang (AK)} &= 4 \times 25 \\ &= 100 \text{ cm}^2 = 1 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Luas Permukaan (As)} &= Ak \cdot Li \\ &= 1.75,05 \\ &= 75,05 \text{ m}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Daya dukung ujung Tiang (Qp)} &= 40 \cdot Nr \cdot Ap \\ &= 40 \cdot 86,25 \cdot 0,0625 \\ &= 215,625 \text{ Ton} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Kapasitas Daya dukung lekat (Qs)} &= (As \cdot Nk) / 5 \\ &= (75,05 \cdot 28,90) / 5 \\ &= 433,789 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk menghitung daya dukung ultimit metode Meyerhoff digunakan rumus sebagai berikut

$$\begin{aligned} Q_u &= Q_p + Q_s \\ &= 215,625 + 433,789 \\ &= 649,414 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk menghitung daya dukung izin tiang metode Meyerhoff digunakan rumus sebagai berikut :

$$\begin{aligned} Q_i &= \frac{Q_p}{FK_1} + \frac{Q_s}{FK_2} \\ &= \frac{215,625}{3} + \frac{433,789}{5} \\ &= 158,632 \text{ ton} \end{aligned}$$

C. Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal Metode Schmertmenn dan Metode Mayerhoff Berdasarkan Data CPT

Grafik dan Tabel perbandingan Daya Dukung Izin Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Data CPT Dimensi 20 cm dan 25 cm .

Tabel 3 Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal CPT

Titik CPT	Dimensi	Metode Schmertmenm	Metode Mayerhoff
		Qi (Ton)	Qi (Ton)
S-1	20 cm	34,1	36,39
S-1	25 cm	49,9	58,32

(Sumber : Hasil perhitungan ,2023)



(Sumber : Hasil perhitungan ,2023)

Grafik dan Tabel perbandingan Daya Dukung Izin Tiang Pancang Tunggal Menggunakan Data SPT Dimensi 25 cm .

Tabel 4 Analisis Perbandingan Daya Dukung Tiang Pancang Tunggal SPT

Titik SPT	Dimensi	Metode Schmertmenm	Metode Mayerhoff
		Qi (Ton)	Qi (Ton)
BH-1	25 cm	139,20	158,632

(Sumber : Hasil perhitungan,2023)



(Sumber : Hasil perhitungan,2023)

D. Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data CPT.

Data yang diperoleh dari titik S-1

Beban rencana bangunan (P_u) = 140 Ton

Q_{ijin} Tunggal = 36,39 Ton

Perhitungan jumlah tiang pancang kelompok menggunakan rumus :

$$P_u / Q_i = \frac{140 \text{ ton}}{36,39 \text{ ton}} = 3,84 \rightarrow 4 \text{ tiang}$$

Untuk kestabilan struktur maka digunakan tiang pondasi kelompok, $n = 4$ tiang.

Untuk menghitung efisiensi kelompok tiang menggunakan persamaan *Converse - Labarre* sebagai berikut :

$$Eg = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \right) \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right)$$

$$= 1 - \left(\frac{0,001^\circ}{90^\circ} \right) \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2.2} \right)$$

$$= 0,999$$

Daya Dukung Izin Tiang Pancang Kelompok

Q_{ijin} Kelompok = $Eg \times Q_{ijin}$ Tunggal $\times n$

$$= 0,999 \times 36,39 \times 4$$

$$= 145,414 \text{ Ton}$$

E. Analisis Daya Dukung Tiang Pancang Kelompok Berdasarkan Data SPT.

Data yang diperoleh dari titik BH-1

Beban rencana bangunan (P_u) = 200 Ton

Q_{ijin} Tunggal = 158,632 Ton

Perhitungan jumlah tiang pancang kelompok menggunakan rumus :

$$P_u / Q_i = \frac{200 \text{ ton}}{158,632 \text{ ton}}$$

$$= 1,26 \rightarrow 4 \text{ tiang}$$

Untuk kestabilan struktur maka digunakan tiang pondasi kelompok, $n = 4$ tiang.

$$Eg = 1 - \left(\frac{\theta}{90} \right) \left(\frac{(n-1)m + (m-1)n}{m.n} \right)$$

$$= 1 - \left(\frac{18,43^\circ}{90^\circ} \right) \left(\frac{(2-1)2 + (2-1)2}{2.2} \right)$$

$$= 1 - (0,204 \times 1)$$

$$= 0,999$$

5. KESIMPULAN

- Setelah dilakukan analisis terdapat perbedaan hasil nilai kapasitas daya dukung dari data lapangan dengan hasil analisis manual. Pada daya dukung izin (Q_i) untuk pondasi tiang pancang tunggal dari data CPT S-1 dengan kedalaman 17,60 meter menggunakan metode *Meyerhoff* dimensi 20cm sebesar 36,39 Ton dan 25cm sebesar 53,82 Ton. Daya dukung izin (Q_i) untuk pondasi tiang pancang tunggal dari data SPT BH-1 dengan kedalaman 75,45 meter menggunakan metode *Meyerhoff* dimensi 25cm diperoleh sebesar 158,632 Ton.
- Dari hasil analisis perhitungan daya dukung izin (Q_i) untuk pondasi tiang pancang kelompok dimensi 20cm dari data CPT yang dilakukan menggunakan metode *Converse - Labarre* diperoleh sebesar 145,414 Ton sebanyak 4 tiang. Dan hasil analisis perhitungan daya dukung izin (Q_i) untuk pondasi tiang pancang kelompok dimensi 25cm dari data SPT menggunakan metode *Converse - Labarre* diperoleh sebesar 633,893 Ton sebanyak 4 tiang.
- Dari hasil perhitungan daya dukung pondasi tiang pancang tunggal dan kelompok menggunakan metode *Meyerhoff* memiliki nilai kapasitas daya dukung yang lebih besar dari kapasitas daya dukung tiang menggunakan metode *Schmertmann*.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1.] Agus, I. M., Ir, D., HEng, & MIHT. 1995. *Dasar-dasar Perencanaan Jembatan Beton Bertulang*. DPU: PT.Mediatama Saptakarya.
- [2.] Bowles, J. E. 1984. *Analisis dan Desain Pondasi Jilid I*. Jakarta: Erlangga.
- [3.] Craig, R., & S., B. 1989. *Mekanika Tanah ,Edisi IV*. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- [4.] Frick. 2001. *Ilmu Konstruksi Struktur Bangunan*. Malang: Yogyakarta Kanisius.
- [5.] Gunawan, R. 1983. *Pengantar Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Penerbit Kanisius.
- [6.] Hardiyatmo, H. 2002. *Teknik Pondasi II, Edisi Kedua*. Yogyakarta: Beta Offset.
- [7.] Hardiyatmo, H. 2010. *Analisa Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- [8.] Hardiyatmo, H. 2015. *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- [9.] Pamungkas. 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: Andy Offset.
- [10.] Rauf, A. 2012. Estimation of Pile Capacity by Optimizing Dynamic Pile Driving Formulae. *University Waterloo*.
- [11.] Santoso, d. 1998. *Mekanika Tanah Lanjutan* . Jakarta: Gunadarma.
- [12.] Sardjono. 1988. *Pondasi Tiang Pancang Jilid I, 4 ed*. Surabaya: Sinar Wijaya.
- [13.] Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Badan Penerbit.
- [14.] Supriyadi, d. 2007. *Jembata*. Yogyakarta: Beta Offset
- [15.] Suryolelono, K. B. 1994. *Teknik Pondasi Bagian II*. Yogyakarta: Nafiti
- [16.] Wesley, L. 1977. *Mekanika Tanah* . Jakarta: Badan Penerbit Pekerjaan Umum