

Analisis Kapasitas Daya Dukung Struktur Pondasi Pile Group pada Pier Jalur Rel Jalan Putri Hijau KM 2 + 850 Lintas Kereta Api Medan – Binjai

Riandy Himawan¹ Bangun Pasaribu² M Husni Malik Hasibuan³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sumatera Utara, Kota Medan,
Provinsi Sumatera Utara, Indonesi^{1,2,3}

Email: riandyy.himawan@gmail.com¹ bangun@uisu.ac.id² abang@gmail.com³

Abstrak

Pondasi merupakan bagian dari sistem struktur yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bagian atas, kelapisan tanah bagian bawah, tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah (*settlement*) yang berlebihan penentuan jenis pondasi yang akan digunakan bergantung pada hasil investigasi awal penyelidikan tanah. Dalam pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai, menggunakan pondasi borepile. pada pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai menggunakan pondasi borpile yang digunakan sebanyak 8 buah kemudian disatukan dengan (*pile group*) diameter borpile Ø1200 mm, disatukani dengan pile cap ukuran lebar 11 m dan Panjang 5 meter. hasil penyelidikan tanah yang dilakukan dengan pengeboran tanah (*borelog test*) sedalam 40 m, ditemukan rata-rata lapisan terhadap tanah pasir memiliki *Consistency dense to very dense*. hasil pengujian dilaboratorium sampel bor 38 Depth 6,50 – 7,00 m, merupakan tanah Lanau berlempung dengan kapasitas tinggi, rekomendasi tiang borepile berdasarkan perbandingan nilai daya dukung hasil *soil investigation* terhadap nilai daya dukung sesuai DED diperoleh sampel bor 38 Depth 35 Meter dengan nilai daya dukung 10580 KN. Kapasitas daya dukung : Kedalaman 14 m, Qult = 385,68 ton, Qijin = 154,27 ton. Kedalaman 14,5 m, Qult = 580,32 ton, Qijin = 232,13 ton. Kedalaman 15 m, Qult = 611,58 ton, Qijin = 244,63 ton. Bahwasanya, nilai Qult dan Qijin kedalaman yang diambil dari data uji tanah lapangan. Yaitu : Data N-SPT (*Standard Penetration Test*). Kapasitas tiang kelompok : Vtotal = 17.459 kg (menggunakan kombinasi pembebanan), Qgroup = 284.477 kg. Bahwasanya, nilai Vtotal < Qgroup, sehingga apabila beban keseluruhan/total Bekerja dapat dipikul oleh keseluruhan tiang kelompok pondasi bored pile.

Kata Kunci: Pondasi, Bored Pile, Pile Group, N-SPT



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/).

PENDAHULUAN

Pondasi merupakan bagian dari sistem struktur yang berfungsi meneruskan beban dari struktur bagian atas, kelapisan tanah bagian bawah, tanpa mengakibatkan keruntuhan geser tanah dan penurunan tanah (*settlement*) yang berlebihan penentuan jenis pondasi yang akan digunakan bergantung pada hasil investigasi awal penyelidikan tanah. Pekerjaan penyelidikan tanah (*Soil Investigation*) Tujuan penyelidikan tanah dilapangan dan laboratorium untuk memperoleh parameter-parameter tanah dan sifat tanah dari pengujian bor, serta *indeks properties* dan *engineering propertis* dari hasil pengujian laboraorium (*laboratorium Test*). Dalam pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai, menggunakan pondasi borepile. pada pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai menggunakan pondasi borpile yang digunakan sebanyak 8 buah kemudian disatukan dengan (*pile group*) diameter borpile Ø1200 mm, disatukani dengan pile cap ukuran lebar 11 m dan Panjang 5 meter. hasil penyelidikan tanah yang dilakukan dengan pengeboran tanah (*borelog test*) sedalam 40 m, ditemukan rata- rata lapisan terhadap tanah pasir memiliki *Consistency dense to very dense*. hasil pengujian dilaboratorium sampel bor 38 Depth 6,50 – 7,00 m, merupakan tanah Lanau berlempung dengan kapasitas tinggi, rekomendasi tiang borepile berdasarkan perbandingan nilai daya dukung hasil *soil investigation* terhadap nilai daya dukung sesuai

DED diperoleh sampel bor 38 Depth 35 Meter dengan nilai daya dukung 10580 KN. untuk pondasi tiang pancang atau bore pile kelompok (*pile group*) perlu dihitung efisiensi kelompok tiang, daya dukung tarik dan daya dukung literal/horizontal. Analisa perhitungan daya dukung tiang pancang dari nilai "N" dipakai 2 metode Luciano Decourt. Kemudian hasil dari metode akan dibandingkan dengan Analisa perencanaan DED yang diperoleh menggunakan metode Analisa Converse- Labarre Formula, hasil dari Analisa akan dievaluasi mendekati hasil pengujian PDA (*Pile Driving Analyzer*), Untuk kapasitas daya dukung tiang tunggal, hasil ini akan dibandingkan dengan analisa daya dukung tiang menggunakan Metode Luciano Decourt dan hasil Analisa DED perencanaan dengan metode Converse-Labarre Formula. Alasan saya mengambil judul tersebut dikarenakan perlu nya analisa terhadap pondasi yang menopang perlintasan rel Kereta Api Medan – Binjai. Dengan terlebih dahulu menghitung pembebanan yang bekerja, mencari nilai kapasitas izin, dan mencari nilai kapasitas ultimit. Apabila dari nilai kapasitas daya dukung lebih kecil dari nilai pembebanan yang menopang struktur, maka bangunan tersebut rawan keruntuhan. Tetapi, apabila nilai kapasitas daya dukung lebih besar dari nilai pembebanan yang menopang struktur, maka bangunan tersebut aman dari keruntuhan sehingga tidak menimbulkan korban jiwa dari penumpang yang menaiki Kereta Api, maupun baik dari kerugian materil dan non – material yang diakibatkan dari kecelakaan / keruntuhan atau amblasnya struktur perlintasan Kereta Api.

Kajian Pustaka Pondasi

Dalam ilmu teknik sipil, pondasi diartikan sebagai suatu bagian dari struktur bangunan yang mana secara langsung bersentuhan dengan tanah serta membantu mentransfer beban dari struktur bagian atas ke lapisan tanah. Fondasi suatu struktur biasanya terdiri dari satu atau lebih elemen fondasi. Elemen pondasi adalah elemen transisi antara bebatuan atau tanah dengan bangunan atas (*upper structure*). Saat ini, banyak formula dan perangkat lunak (*software*) telah ditemukan untuk membantu para profesional teknik dalam menentukan jenis dan ukuran fondasi yang lebih rasional dan efisien (Setiawan, 2016).

Bored Pile

Pondasi bore pile adalah pondasi tiang yang pemasangannya dilakukan dengan mengebor tanah lebih dahulu (Hardiyatmo, Hary Christady. 2010). Pemasangan pondasi bore pile ke dalam tanah dilakukan dengan cara mengebor tanah terlebih dahulu, yang kemudian diisi tulangan yang telah dirangkai dan dicor beton. Apabila tanah mengandung air, maka dibutuhkan pipa besi atau yang biasa disebut dengan temporary casing untuk menahan dinding lubang agar tidak terjadi kelongsoran, dan pipa ini akan dikeluarkan pada waktu pengecoran beton. Ada beberapa keuntungan dalam pemakaian pondasi bore pile jika dibandingkan dengan tiang pancang, yaitu:

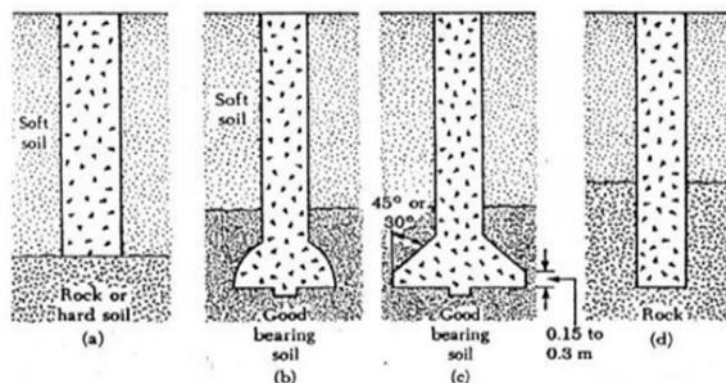
1. Pemasangan tidak menimbulkan gangguan suara dan getaran yang membahayakan bangunan sekitarnya.
2. Mengurangi kebutuhan beton dan tulangan dowel pada pelat penutup tiang (*pile cap*). Kolom dapat secara langsung diletakkan di puncak bore pile.
3. Kedalaman tiang dapat divariasikan.
4. Tanah dapat diperiksa dan dicocokkan dengan data laboratorium.
5. Bore pile dapat dipasang menembus batuan, sedang tiang pancang akan kesulitan bila pemancangan menembus lapisan batuan.
6. Diameter tiang memungkinkan dibuat besar, bila perlu ujung bawah tiang dapat dibuat lebih besar guna mempertinggi kapasitas dukungnya.
7. Tidak ada risiko kenaikan muka tanah.

Kerugian menggunakan pondasi bore pile yaitu:

1. Pengecoran bore pile dipengaruhi kondisi cuaca.
2. Pengecoran beton agak sulit bila dipengaruhi air tanah karena mutu beton tidak dapat dikontrol dengan baik.
3. Mutu beton hasil pengecoran bila tidak terjamin keseragamannya di sepanjang badan bore pile mengurangi kapasitas dukung bore pile, terutama bila bore pile cukup dalam.
4. Pengeboran dapat mengakibatkan gangguan kepadatan, bila tanah berupa pasir atau tanah yang berkerikil.
5. Air yang mengalir ke dalam lubang bor dapat mengakibatkan gangguan tanah, sehingga mengurangi kapasitas dukung tiang.
6. Akan terjadi tanah runtuh jika tindakan pencegahan tidak dilakukan, maka dipasang temporary casing untuk mencegah terjadinya kelongsoran.

Adapun jenis-jenis pondasi bored pile adalah sebagai berikut:

1. Bored pile lurus untuk tanah keras
2. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk bel
3. Bored pile yang ujungnya diperbesar berbentuk trapezium
4. Bored pile lurus untuk tanah batuan



Gambar 1. Jenis-Jenis Bore Pile

Sumber: Gunawan, R., 1983

Pengantar Teknik Pondasi

Fungsi pondasi tiang bore pada umumnya dipengaruhi oleh besar atau bobot dan fungsi bangunan yang hendak didukung dan jenis tanah sebagai pendukung konstruksi seperti:

1. Transfer beban dari konstruksi bangunan atas (upper structure) ke dalam tanah melalui selimut tiang dan perlawanan ujung tiang.
2. Menahan daya desak ke atas (up live) maupun guling yang terjadi akibat kombinasi beban struktur yang terjadi.
3. Memampatkan tanah, terutama pada lapisan tanah yang lepas (non cohesive).
4. Mengontrol penurunan yang terjadi pada bangunan terutama pada bangunan yang berada pada tanah yang mempunyai penurunan yang besar.

Pengujian Pengeboran dan SPT

Pengujian pengeboran bertujuan untuk membuat lobang pada lapisan tanah untuk:

1. Mengetahui susunan lapisan tanah pendukung secara visual dan terperinci.
2. Mengambil sampel tanah terganggu (disturbed sample) lapis demi lapis sampai kedalaman yang diinginkan untuk deskripsi dan klasifikasi tanah (*visual soil clasification*) dan juga digunakan sebagai bahan pengujian laboratorium.

3. Mengambil sampel tanah tak terganggu (undisturbed sample) untuk bahan pengujian di laboratorium.
4. Mengamati dan melaksanakan pengukuran kedalaman muka air tanah (*Ground Water Level disingkat GWL*).

Pemboran dilakukan dengan kedalaman pemboran hingga 40 m atau sampai dijumpai lapisan tanah dengan nilai N-SPT > 60. Penyelidikan tanah dengan pengeboran ini dilakukan dengan peralatan dan bahan yang digunakan sebagai berikut: Bor; Mata bor (lengkap dengan core single/core barrel); Tabung sample; Batang/pipa bor; Kunci-kunci; Parafin dan perlengkapan serta bahan lainnya; Tanah hasil pemboran selanjutnya disimpan dalam core box agar terhindar dari gangguan. Kotak penyimpanan contoh (core box) harus kuat dan mampu menahan berat contoh batuan yang tersimpan di dalamnya. Kemudian contoh inti pemboran yang diambil dari tiap lubang bor akan disusun secara urut serta diberi tanda kedalaman yang sesuai dan jelas.

METODE PENELITIAN

Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini adalah proyek pembangunan jalur kereta api lintas medan binjai di Jalan Putri Hijau Kota Medan, jalur kereta api lintas medan binjai merupakan rangkaian dari jalur rel kereta api lintas medan binjai. Lokasinya terletak di Kota Medan dan merupakan daerah strategis dikarenakan letaknya di ibukota Sumatera Utara. Pembangunan angkutan massal memang dibutuhkan di kota Medan yang sudah mulai macet. pembangunan jalur kereta yang sudah tersambung dari Kualanamu ke Medan, akan dilanjutkan dari Medan sampai ke Binjai sepanjang 21,7 Km.



Gambar 2. Lokasi Pelaksanaan Proyek
Sumber: Google Map

Data Teknis Bored pile

Data ini diperoleh dari pihak kontraktor dengan data sebagai berikut: Panjang *bored pile* (L): 6,0 m; Diameter *bored pile* (d): 60 cm; Mutu beton *bored pile* (f_c'): 24,9 Mpa

Metode Pengumpulan Data

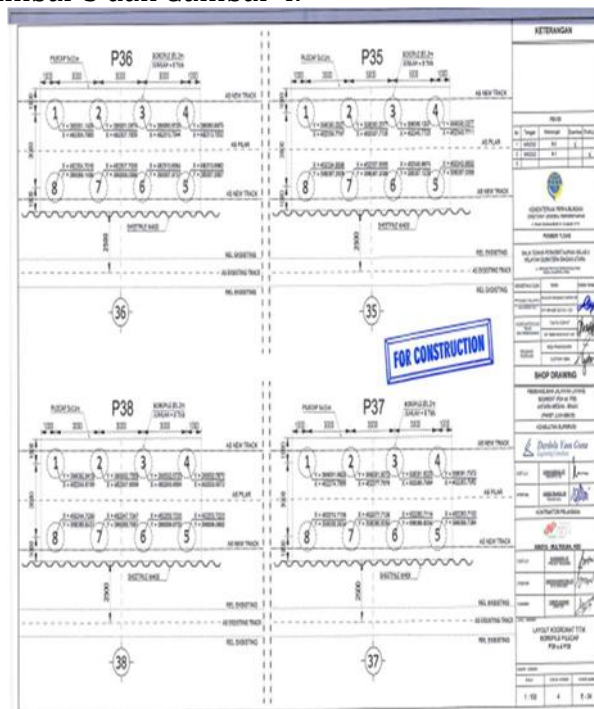
Untuk menyelesaikan dan menyempurnakan penulisan tugas akhir ini dilakukan beberapa metode pengumpulan data antara lain:

1. Pengambilan Data. Pengambilan data diperoleh dari PT NINDYA – MULTIGUNA KSO selaku penanggungjawab proyek, data yang diambil meliputi: Gambar lengkap (denah, layout rencana, potongan, detail – detail). Data penyelidikan tanah yaitu data sondir.

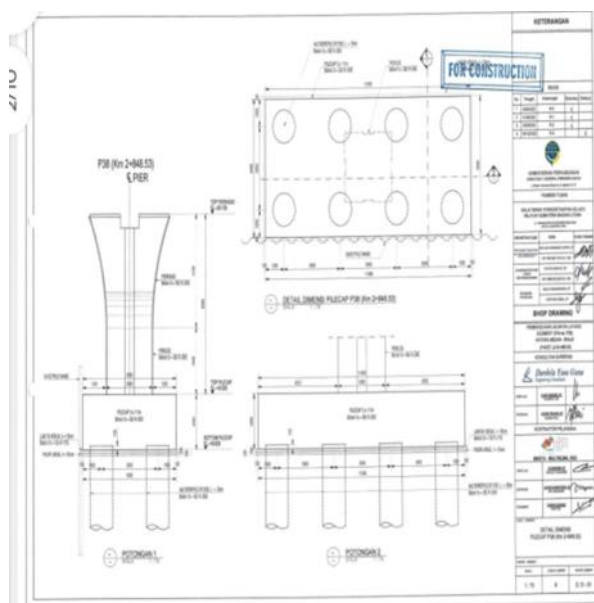
2. Studi kepustakaan. Melakukan *review* dan studi kepustakaan terhadap *text book* dan jurnal-jurnal yang terkait dengan pondasi *bored pile*, *box culvert*, daya dukung pondasi dan melakukan analisis antara data yang diperoleh dengan buku yang sesuai pembahasan tentang penggunaan teori dan persamaan yang sesuai dan jenis literatur lainnya yang berhubungan dengan penulisan Tugas Skripsi ini.

Denah Bored Pile pada Pilar Jalur Rel

Pilar Jalur Rel berlokasi di Jalan Putri Hijau Kota Medan. Kec. Medan Barat – Medan Sumatera Utara. didukung dengan pondasi *bored pile* berdiameter 50 cm sedalam 6 m seperti terlihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.

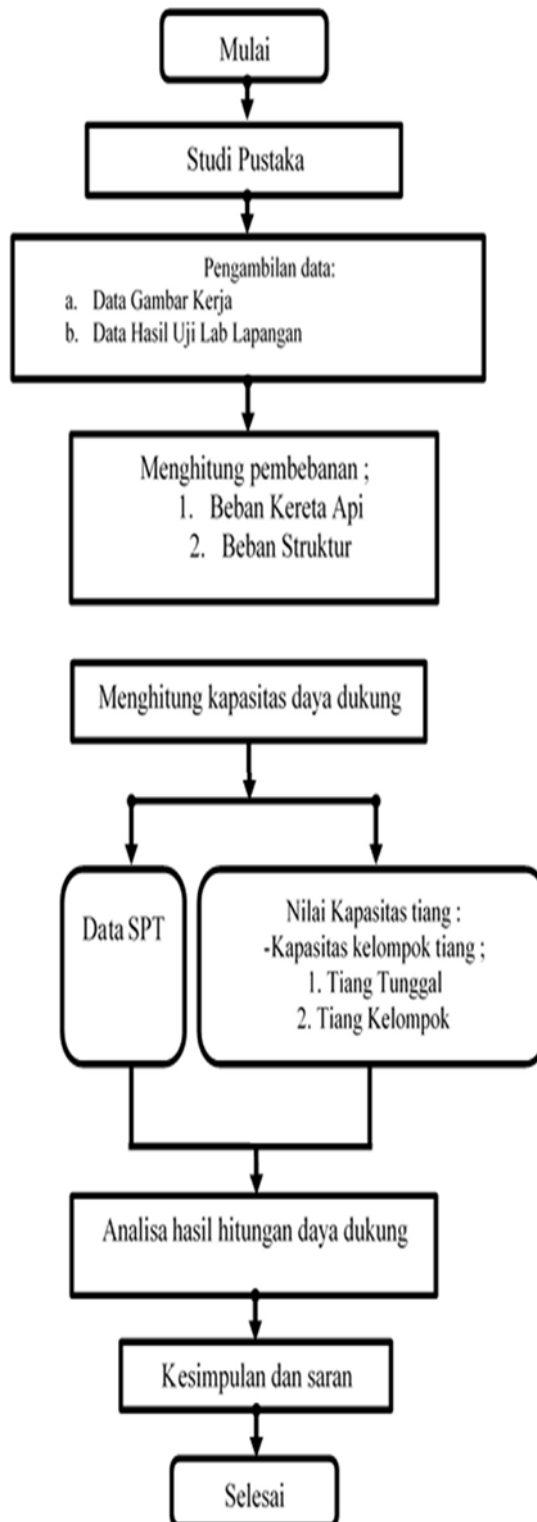


Gambar 3. Denah Layout Bored Pile



Gambar 4. Potongan Pilar Jalur Rel

Bagan Alur Analisis



Gambar 5. Bagan alur analisis

Analisis Dan Pembahasan Kapasitas Daya Dukung Pondasi

Metode Luciano Decourt

Kedalaman = 14,00 m

Digunakan bored pile dengan diameter 60 cm

Nilai N-SPT = 41 (tanah lempung)

$N' = N = 41$ (tidak ada koreksi karenah tanah kohesif)

$$- N_p = \frac{38+41+43}{3} = 40,66$$

Pada titik lain, gunakan rumus yang sama pada nilai Q ultimate dan Q Ijin Di masing – masing titik. Keterangan Rumus:

-N'	=	Angka konus koreksi
-Np	=	Faktor tahanan ujung
-Ns	=	Faktor tahanan geser
-x	=	Koefisien Dasar (0,5

(Tanah Keras)

Bx = Koefisien Dasar (0,5 = Tanah Keras)

$$N_s = \frac{35+36+37+38+46}{224} = 6$$

K = Faktor pengurangan tegangan tanah efektif 24,88

$$K = 20 \text{ ton/m}^2$$

$$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$$

$$0,25 \times 3,14 \times 0,6^2$$

$$0,2826 \text{ m}^2$$

$$A_s = \pi \times d \times D$$

$$= 3,14 \times 0,6 \times 14$$

$$= 26,37$$

$$Q_{ult} = (x \cdot (N_p \cdot k) \times A_p) + (B_x \cdot (N_s/3 + 1) \cdot A_s)$$

$$= 0,5 (40,66 \cdot 20) \times 0,2826 + 0,5 (24,88/3 + 1) \cdot 26,37$$

$$= 140,33 + 122,53$$

$$= 262,86 \text{ ton atau } 262.860 \text{ Kg}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult} = 209,58 = 105,14 \text{ ton}$$

A_p = Luas penampang ujung tiang

A_s = Luas permukaan geser tiang

Q_{ult} = Daya dukung ultimit

Q_{ijin} = Daya dukung ijin

Kedalaman 14,50 m

Digunakan bored pile dengan diameter 60 cm

Nilai N-SPT = 43 (tanah lempung)

$N' = N = 43$ (tidak ada koreksi karenah tanah kohesif)

$$N_p = \frac{41+43+46}{3} = 43,33$$

$$N_s = 41+42+42+43+43 = 35,16$$

K	= 20 ton/m ²	-As	=	Luas permukaan geser
A_p	= $\frac{1}{4} \times \pi \times d^2$		tiang	
	= $0,25 \times 3,14 \times 0,6^2$	-Qult	=	Daya dukung ultimit
	= 0,2826 m ²	-Qijin	=	Daya dukung ijin
- As	= $\pi \times d \times D$			
	= $3,14 \times 0,6 \times 14$			
	= 26,37			

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= (x \cdot (N_p \cdot k) \cdot A_p) + (B_x \cdot (N_s/3 + 1) \cdot A_s) \\ &= 0,5 (43,33 \cdot 20) \times 0,2826 + 0,5 (35,16/3 + 1) \cdot 26,37 \\ &= 122,45 + 167,71 = 290,16 \text{ ton} \end{aligned}$$

Kedalaman 15,00 m

Digunakan bored pile dengan diameter 60 cm

Nilai N-SPT = 46 (tanah lempung)

$N' = N = 46$ (tidak ada koreksi karena tanah kohesif)

$Q_{ijin} = Q_{ult} / 2,5$

116,06 ton

$= 290,16 / 2,5$

116,06 ton

$$N_p = \frac{43+46+49}{3} = 46,00$$

$$N_s = \frac{43+44+44+45+46}{6} = 44,33$$

222 = 6

Pada titik lain, gunakan rumus yang sama pada nilai $Q_{ultimate}$ dan Q_{ijin} di masing – masing titik

Keterangan Rumus :

N' = Angka konus koreksi

N_p = Faktor tahanan ujung

N_s = Faktor tahanan geser

x = Koefisien Dasar (0,5 Tanah Keras)

B_x = Koefisien Dasar (0,5 = Tanah Keras)

K = Faktor pengurangan tegangan tanah efektif

A_p = Luas penampang ujung tiang 37,00

$K = 20 \text{ ton/m}^2$

$A_p = \frac{1}{4} \times \pi \times d^2$

$0,25 \times 3,14 \times 0,6^2$

$0,2826 \text{ m}^2$

$A_s = \pi \times d \times D$

$3,14 \times 0,6 \times 14$

26,37

$$\begin{aligned} Q_{ult} &= (x \cdot (N_p \cdot k) \cdot A_p) + (B_x \cdot (N_s/3 + 1) \cdot A_s) \\ &= 0,5 (46,00 \cdot 20) \times 0,2826 + 0,5 (37,00/3 + 1) \cdot 26,37 \\ &= 129,99 + 175,8 \\ &= 305,76 \text{ ton} \end{aligned}$$

$$Q_{ijin} = Q_{ult} / 2,5 = \frac{305,76}{2,5} = 122,31 \text{ ton}$$

$$18,53 \text{ kN} + 850 \text{ kN} + 647 \text{ kN} + 2,5$$

$$139,19 \text{ kN} + 56,66 \text{ kN}$$

Pada titik lain, gunakan rumus yang sama pada nilai $Q_{ultimate}$ dan Q_{ijin} di masing – masing titik.

Keterangan Rumus :

N' = Angka konus koreksi

-Np = Faktor tahanan ujung
-Ns = Faktor tahanan geser
-x = Koefisien Dasar (0,5 Tanah Keras)
-Bx = Koefisien Dasar (0,5 = Tanah Keras)
-K = Faktor pengurangan tegangan tanah efektif
-Ap = Luas penampang ujung tiang
-As = Luas permukaan geser tiang
-Qult = Daya dukung ultimit
-Qijin = Daya dukung ijin
= 1.711,38 Kn : 0,098
= 17.459 Kg

Nilai keamanan beban yang bekerja pada *pier* jalur rel dapat diketahui dalam analisa kapasitas kelompok tiang sebagai berikut:

Efisiensi kelompok tiang Diketahui data

Eg = Efisiensi satu tiang dalam kelompok tiang

$$\theta = \text{Arc tan } d/s = 0,61,250 = 26,56$$

m = Jumlah baris = 2

n = Jumlah kolom = 4

d = Diameter tiang = 0,6 m

s = Jarak antara tiang = 1,250 m

Metode Converse-Labarre Formula

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

$$Eg = 1 - \frac{26,56 \times (4-1) \times 2 + (2-1) \times 4}{90 \times 2 \times 4}$$

(memenuhi)

Kapasitas Kelompok Tiang

Adapun sebelum mencari nilai keamanan beban yang bekerja pada *pier* jalur rel, perlu dicari nilai Vtotal yang dapat diketahui dengan menggunakan kombinasi pembebanan sebagai berikut:

Kombinasi pembebanan / Vtotal

$$V_{\text{total}} = \text{Berat mati / sendiri} + \text{Beban hidup} + \text{Beban Kejut} + \text{Beban Kereta Api} = 0,3688$$

Maka kapasitas daya dukung ultimate kelompok tiang $Q_g = E_g \times n \times Q_{\text{ult}} = 0,3688 \times 2 \times 385.680 \text{ kg} = 284.477 \text{ kg}$ Jadi, $V_{\text{total}} < Q_{\text{group}} 17.459 \text{ kg} < 284.477 \text{ kg}$ (Memenuhi).

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis maka didapatkan beberapa kesimpulan sebagai berikut: Kapasitas daya dukung, Metode Luciano Decourt: Kedalaman 14 m, Qult = 385,68 ton, Qijin = 154,27 ton; Kedalaman 14,5 m, Qult = 580,32 ton, Qijin = 232,13 ton; Kedalaman 15 m, Qult = 611,58 ton, Qijin = 244,63 ton. Bahwasanya, nilai Qult dan Qijin kedalaman yang diambil dari data uji tanah lapangan. Yaitu : Data N-SPT (*Standard Penetration Test*). Kapasitas tiang kelompok, Metode Converse-Labarre Formula: $V_{\text{total}} = 17.459 \text{ kg}$ (menggunakan kombinasi pembebanan); $Q_{\text{group}} = 284.477 \text{ kg}$. Bahwasanya, nilai $V_{\text{total}} < Q_{\text{group}}$, sehingga apabila beban keseluruhan/total Bekerja dapat dipikul oleh keseluruhan tiang kelompok pondasi bored pile.

Saran

Beberapa hal yang perlu dipertimbangkan dalam menganalisa kapasitas pondasi bored pile dengan beban jalur rel kereta api yaitu: Dalam melakukan perhitungan kapasitas tiang pondasi bored pile, baik tiang tunggal maupun kelompok perlu dibandingkan dengan data tanah lainnya berupa hasil parameter tanah laboratorium, dan nilai SPT. Dalam analisis juga perlu dibandingkan dengan metode perhitungan lainnya, seperti: Metode Meyerhoff, Metode Terzaghi, Metode Thomlinson. Data tanah yang dipergunakan sangat berpengaruh pada hasil yang diperoleh. Oleh karena itu disarankan menggunakan data tanah yang lengkap dan teliti.

DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J. E., 1984. *Analisa Dan Disain Pondasi Jilid 2*. Jakarta: Erlangga.
- Bowles, J. E., 1997. *Analisis dan Desain Pondasi*. Jakarta: Erlangga.
- Frick, H., 1980. *Ilmu Konstruksi Bangunan 1*. Yogyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- Gunawan, R., 1983. *Pengantar Teknik Pondasi*. Yogyakarta: Kanisius (Anggota IKAPI).
- Hardiyatmo, H. C., 2010. *Analisa dan Perancangan Fondasi I*, Edisi kedua,. Yogyakarta: Gadjah Mada University.
- Hardiyatmo, H. C., 2011. *Analisis dan Perencanaan Fondasi II*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hulu, H. B., 2015. *Analisa Daya Dukung Pondasi Bored Pile Dengan Menggunakan Metode Analitis (Studi Kasus Proyek Manhattan Mall Dan Condominium)*. Jurnal Teknik Sipil Usu Vol. 4 NO. 1.
- Pamungkas, A. & Harianti, E., 2013. *Desain Pondasi Tahan Gempa*. Yogyakarta: s.n. S. 8., 2017. *Persyaratan Perancangan Geoteknik*. s.l.:s.n.
- Sosarodarsono, S. & Nakazawa, K., 1983. *Mekanika Tanah dan Teknik Pondasi*. Jakarta: PT Pradnya Paramita.
- Suryolelono, K. B., 1994. *Teknik Pondasi II (Pondasi Tiang, Turap, Sumuran, dan Pondasi Spesial)*. Yogyakarta: Nafiri.
- Terzaghi, K. & Peck, R. B., 1948. *Soil Mechanics in Engineering Practice*. New York: John Wiley and Son.
- Tomlinson, M. J., 1997. *Pile Design and Construction Practice*. New York: The Garden City Press Limited, Lechworth, Hertfordshire SG 6 US.
- Waruwu, A., Hardiyatmo, H. C. & Rifa'i, A., 2019. *The Performance of the Nailed Slab System-Supported Embankment on Peat Soil*. International Review of Civil Engineering (I.RE.C.E.), 10(5), pp.243-248.