

STUDI KOMPARASI KAPASITAS AXIAL BORED PILE DENGAN BERBAGAI FORMULA PADA PEMBANGUNAN SD ISLAM MAKARIMA KARTASURA

Dwi Ayu Aprilia¹⁾, Sri Endang Wijaya Listiya Wati²⁾
Hartopo³⁾, Totok Apriyanto⁴⁾

Program Studi Teknik Sipil Universitas Darul Ulum Islamic Centre Sudirman
E-mail: dwiyuaprilial568@gmail.com¹⁾, sriendangwlv@gmail.com²⁾,

ABSTRACT

The foundation is part of an engineering system that transmits the load supported by the foundation and its weight to and into the soil and rocks beneath it (Bowles, 1997). The Makarima Islamic Elementary School construction project was built using a 40 cm bored pile foundation. This study aims to determine the axial load transmitted to the foundation using SAP 2000 analysis and to determine the comparison of the foundation's bearing capacity based on the Sondir Test or CPT (Cone Penetration Test) data using various methods, namely based on the Meyerhoff, Schmertmann and Nottingham, and Aoki De Alencer methods. From the results of the SAP 2000 analysis, the axial force value was 162.7823 tons. From the Sondir data, the results of calculating the carrying capacity of a single pile foundation using the Meyerhoff method were 59.68 tons, the Aoki De Alencer method was 39.61 tons, and the Schmertman and Nottingham method was 43.54 tons, while the results of calculating the carrying capacity of the foundation group the Meyerhoff method was 256.89 tons, the Aoki De Alencer method was 170.5 tons, and the Schmeretman and Nottingham method was 187.43 tons. From the results of these calculations, the foundation is safe to use.

Keywords: Daya dukung, CPT, Meyerhoff, Aoki De Alencer, Schmeretman and Nottingham

ABSTRAK

Fondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang fondasi dan berat sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1997). Dalam proyek Pembangunan SD Islam Makarima dibangun dengan tinggi menggunakan fondasi bored pile ukuran 40 cm. Tujuan dari studi ini adalah mengetahui beban aksial yang disalurkan terhadap fondasi menggunakan analisa SAP 2000 serta mengetahui perbandingan kapasitas dukung fondasi berdasarkan data Uji Sondir atau Uji CPT (Cone Penetration Test) dengan berbagai metode yaitu berdasarkan metode Mayerhoff, Schmertmann dan Nottingham, dan Aoki De Alencer. Dari hasil analisis SAP 2000 diperoleh nilai gaya aksial sebesar 162,7823 ton. Dari data sondir tersebut diperoleh hasil perhitungan kapasitas daya dukung tiang tunggal fondasi dengan metode mayerhoff sebesar 59,68 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 39,61 ton, dan Metode Schmertman dan Nottingham sebesar 43,54 ton sedangkan hasil perhitungan kapasitas daya dukung kelompok fondasi metode Mayerhoff sebesar 256,89 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 170,5 ton, dan metode Schmeretman dan Nottingham sebesar 187,43 ton. Dari hasil perhitungan tersebut maka fondasi aman digunakan.

Kata Kunci : bearing capacity, CPT, Meyerhoff, Aoki De Alencer, Schmeretman and Nottingham

PENDAHULUAN

Seiring perkembangan teknologi dan ekonomi di Indonesia kebutuhan akan sarana infrastruktur semakin meningkat. Dalam konteks komponen pendidikan infrastruktur hanya bertindak sebagai pelengkap,

penyokong, atau pendukung dari proses pendidikan itu sendiri.

Secara fungsional, infrastruktur memberikan semangat (*support*) kepada siswa untuk berkreasi dan berinovasi dalam pengembangan pengetahuan mereka. SD

Islam Makarima Kartasura direncanakan akan melakukan penambahan gedung-gedung baru yang diharapkan agar membantu para siswa dalam kegiatan belajar mengajar menjadi lebih baik. Sehingga dapat menghasilkan sumber daya manusia yang berkualitas.

Fondasi merupakan bagian dari suatu sistem rekayasa yang meneruskan beban yang di topang fondasi dan berat sendiri kepada dan kedalam tanah dan batuan yang terletak di bawahnya (Bowles, 1997).

Kapasitas dukung (*bearing capacity*) merupakan kemampuan tanah dalam mendukung beban fondasi dari struktur yang terletak di atasnya dimana kapasitas dukung menyatakan tahanan geser tanah dalam melawan penurunan akibat terjadinya pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah di sepanjang bidang gesernya.

Dalam penentuan suatu analisa kapasitas dukung tanah, perlu diadakan suatu penyelidikan tanah. Pada jenis-jenis tanah tertentu sangat mudah sekali terganggu oleh pengaruh pengambilan, maka dilakukan penyelidikan tanah secara langsung di lapangan. Pengujian di lapangan sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban fondasi dengan tidak terpengaruh oleh kerusakan. Salah satu penyelidikan tanah langsung di lapangan yaitu Uji CPT (*Cone Penetration Test*) atau uji sondir. Adapun tujuan dari penyelidikan

tersebut yaitu untuk mengetahui perlawanan penetrasi conus (Qc) dan gambaran lekat tanah pada biconus (H).

Berdasarkan hasil uji sondir di lokasi pekerjaan, proyek pembangunan gedung SD Islam Makarima disarankan menggunakan fondasi sumuran/*bored pile* atau fondasi tiang pancang. Fondasi *bored pile* memperoleh daya dukung dari daya dukung ujung (*end bearing capacity*) yang diperoleh dari tekanan pada ujung tiang dan daya dukung gesek atau selimut (*friction bearing capacity*) yang diperoleh dari daya dukung gesek antara fondasi *bored pile* dan tanah disekelilingnya. “Studi Komparasi Kapasitas Aksial *Bored pile* dengan Berbagai Formula pada Pembangunan SD Islam Makarima Kartasura” bertujuan untuk mengetahui perbandingan kapasitas dukung fondasi berdasarkan data Uji Sondir atau Uji CPT (*Cone Penetration Test*) dengan berbagai metode.

LANDASAN TEORI

A. Tanah

Tanah adalah himpunan material, bahan organik dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*) yang terletak di atas batuan dasar (*bedrock*). Pembentukan tanah dari batuan induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergigi, maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan

akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam dan alkali) dan proses-proses kimia lain.

B. Penyelidikan Tanah

Penyelidikan tanah dibutuhkan untuk data perancangan fondasi bangunan. Penyelidikan tanah dapat dilakukan dengan cara menggali lubang uji (test pit), pengeboran, uji secara langsung di lapangan (*in-situ test*) dan pengujian di laboratorium.

Pengujian tersebut sangat berguna untuk mengetahui karakteristik tanah dalam mendukung beban fondasi dengan tidak dipengaruhi oleh kerusakan. Salah satu jenis pengujian langsung di lapangan yang bertahan lama dan populer yaitu Uji Sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*).

Keuntungan khusus Uji Sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) ialah untuk mendapatkan profil yang menerus sejauh tidak ditemui tanah atau batuan yang sangat keras untuk kedalaman yang diminati. Dari aspek teknis, Uji Sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) cukup andal dalam menentukan parameter tanah secara *in-situ* ketika tidak dimungkinkan pengambilan sampel atau terbatasnya kondisi lahan.

C. Kapasitas Dukung

Analisis kapasitas dukung (*bearing capacity*) mempelajari kemampuan tanah dalam

mendukung beban fondasi dari struktur yang terletak di atasnya (Hardiyatmo, 2020). Tahanan geser yang dapat dikerahkan tanah sepanjang bidang gesernya merupakan tahanan geser untuk melawan penurunan akibat pembebanan yang dinyatakan dalam kapasitas dukung.

Kapasitas Dukung Fondasi Metode Meyerhoff

1. Tahanan ujung

$$f_b = \omega_1 \omega_2 q_{ca}$$

Perhitungan tahanan ujung ultimit tiang dapat dinyatakan dalam persamaan:

$$Q_b = A_b f_b$$

Dimana:

f_b = tahanan ujung satuan tiang (kg/cm²)

ω_1 = koefisien modifikasi tiang, diambil 1

ω_2 = koefisien modifikasi tiang, diambil 1

q_{ca} = tahanan konus (q_c) rata-rata (kN/m²)

Q_b = tahanan ujung bawah ultimit (kN)

A_b = luas ujung bawah tiang (cm²)

2. Tahanan gesek

$$f_s = K_f + q_f$$

dengan $K_f=1$

Apabila dilakukan pengukuran tahanan gesek sisi konus, tahanan gesek dapat dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$f_s = K_c + q_c$$

dengan $K_c=0,005$

Dimana:

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kg/cm²)

K_f = koefisien modifikasi tahanan gesek sisi konus

(kg/cm²)

K_c = koefisien modifikasi tahanan konus

q_{ca} (*base*) = Perlawanan konus rata-rata pada masing-masing lapisan sepanjang tiang (kg/cm²)

Khusus untuk fondasi tiang bor, mayerhoff menyarankan menggunakan reduksi 70% dan 50% dalam menghitung tahanan gesek tiang. Perhitungan tahanan gesek ultimit tiang, digunakan persamaan sebagai berikut:

F_b = Faktor empiric, tergantung pada jenis tanah

F_s = Faktor empiric yang bergantung pada jenis tanah

f = Kuat dukung kulit tiang persatuan luas (kg/cm²)

α_s = Nilai factor empiric untuk jenis tanah berbeda

$$Q_s = \sum A_s f_s$$

Dimana:

Q_s = tahanan gesek ultimit (kN)

A_s = luas selimut tiang (cm²)

f_s = tahanan gesek satuan tiang (kg/cm²)

Nilai-nilai factor empiric F_b dan F_s serta data faktor empiric α_s untuk tipe tanah yang berbeda dapat ditunjukkan pada tabel dibawah:

Kapasitas Dukung Fondasi Metode Aoki dan De Alencar

Kuat dukung ultimit fondasi *bored pile* dinyatakan dalam persamaan berikut:

$$Q_{ult} = Q_b A_b$$

Dimana:

Q_{ult} = Kapasitas daya dukung *bored pile* (kN)

Q_b = Tahanan ujung sondir (kN/m²)

A_b = Luas Penampang tiang (m²)

Kapasitas dukung ujung persatuan luas (q_b) diperoleh sebagai berikut:

$$q_b = \frac{q_{ca}(base)}{F_b}$$

$$f_b = q_{ca}(side) \frac{\alpha_s}{F_s}$$

Dimana:

q_b = Kapasitas kuat dukung di ujung tiang (ton)

q_{ca} = Perlawanan konus di sekitar ujung tiang

Tabel 1. Factor Empiric F_b dan F_s

Tipe Tiang	F_b	F_s
Tiang Bor	3.5	7.0
Baja	1.75	3.5
Beton Pratekan	1.75	3.5

Kapasitas Dukung Fondasi Metode Schmertmann & Nottingham (1975)

Kapasitas dukung ultimit Q_{ult} dihitung dengan menggunakan persamaan berikut:

$$Q_{ult} = A_b f_b + A_s f_s - W_p$$

$$Q_{ult} = A_b \omega q_{ca} + A_s K_f q_f - W_p$$

Dimana:

A_b = Luas penampang tiang (cm²)

A_s = Luas selimut tiang (cm²)

f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm²)

- f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²)
- q_{ca} = Tahanan konus rata-rata (kg/cm²)
- q_f = Tahanan gesek sisi konus (kg/cm²)
- K_f = Koefisien takberdimensi
- ω = Koefisien Korelasi

Tahanan Ujung Satuan

Tahanan ujung tiang persatuan luas, diperoleh dari nilai rata-rata q_c disepanjang $8d$ diatas dasar tiang sampai $0,7d$ atau $4d$ dibawah tiang.

$$f_b = \omega q_{ca} \leq 150\text{kg/cm}^2 \text{ (15.000 kN/m}^2\text{)}$$

Dimana:

- f_b = Tahanan ujung satuan (kg/cm²)
- ω = Koefisien korelasi yang bergantung pada OCR
- $q_{ca} = \frac{1}{2} q_{c1} + q_{c2}$
- $q_{c1} = q_c$ rata-rata pada zona $0,7d$ atau $4d$ dibawah dasar tiang (kg/cm²)
- $q_{c2} = q_c$ rata-rata pada zona $8d$ diatas dasar tiang (kg/cm²).

Table 2. Efisiensi tiang bor (d = jarak as-as tiang bor) (Loehr et al., 2011)

Kondisi Tanah	Faktor ω
Pasir terkonsolidasi normal (OCR = 1)	1
Pasir mengandung banyak kerikil kasar; Pasir dengan OCR = 2 sampai 4	0,67
Kerikil halus; pasir dengan OCR = 6 sampai 10	0,5

Tahanan Gesek Satuan

Tahanan gesek satuan merupakan tahanan yang ditentukan dari gesekan local sisi konus,

dimana dituangkan dalam persamaan berikut:

$$f_s = K_f q_f \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana:

- f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²), nilainya dibatasi sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120kPa)
- K_f = Koefisien tak berdimensi
- q_f = Tahanan gesek sisi konus (*sleeve friction*) (kg/cm²)

Metode yang lain, untuk tiang dalam tanah pasir (tidak berlaku untuk lempung), gesek satuan dapat ditentukan dari tahanan konus q_c :

$$f_s = K_c \cdot q_c \text{ (kg/cm}^2\text{)}$$

Dimana:

- f_s = Tahanan gesek satuan (kg/cm²), nilainya dibatasi sampai $1,2 \text{ kg/cm}^2$ (120kPa)
- q_c = Tahanan konus (kg/cm²)
- K_c = Koefisien tak berdimensi yang nilainya berganantung pada tipe tiang

Tiang baja ujung bawah terbuka, $K_c = 0,8\%$

Tiang pipa ujung bawah tertutup, $K_c = 1,8\%$

Tiang beton, $K_c = 1,2\%$

D. Kapasitas Dukung Kelompok Tiang

Kapasitas dukung ultimit kelompok tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut:

$$Q_g = E_g n Q_u$$

Dimana:

- Q_g = kapasitas dukung kelompok tiang
- E_g = Efisiensi kelompok tiang

n = jumlah tiang

Q_u = kapasitas dukung ultimit tiang tunggal

Dalam hal menentukan jumlah tiang dapat digunakan persamaan sebagai berikut ini:

$$n = \frac{P}{Q_a}$$

Dimana:

P = beban yang bekerja

Q_a = kapasitas dukung ijin tiang

Jarak antar tiang dapat dihitung dengan menggunakan persamaan sebagai berikut (Dirjen Bina Marga Departemen P.U.T.L.):

$$S \geq 2,5 D$$

$$S \leq 3 D$$

Dimana:

S = Jarak puast tiang ke pusat tiang lainnya

D = diameter tiang (m)

E. Efisiensi Kelompok Tiang Bor

Efisiensi kelompok tiang bor dinyatakan dalam persamaan berikut ini:

$$E_g = 1 - \emptyset \frac{(n-1)m+(m-1)n}{90 \times m \times n} \quad (2.21)$$

Dimana:

E_g = efisiensi kelompok tiang bor

m = jumlah baris tiang

n = jumlah tiang dalam satu baris

\emptyset = Arc tg D/S dalam derajat

D = Diameter *bored pile*

S = Jarak antar *bored pile*

Loehr et al. (2011) menyarankan untuk kelompok tiang bor yang berada dalam tanah granuler (pasir) dan tanah kohesif (lempung), nilai efisiensi tiang E_g menggunakan Tabel 3.

Tabel 3. Efisiensi tiang bor (d = jarak as-as tiang bor) (Loehr et al., 2011)

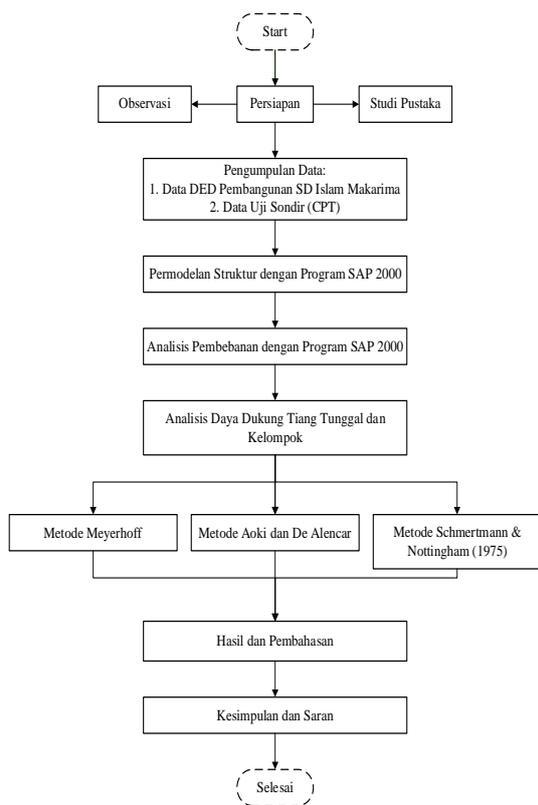
Tiang bor pada	Jarak tiang (s)	Efisiensi tiang bor (E_g)
Pasir	$2,5d$	0,65
	$4d$	1
	$2,5 - 4d$	Interpolasi linier antara 0,65 ~ 1.
Lempung	$2,5d$	0,65
	$6d$	1
	$2,5 - 6d$	Interpolasi linier antara 0,65 ~ 1.

METODOLOGI PENELITIAN

Pada penelitian ini, analisis yang digunakan dalam menganalisis kapasitas dukung fondasi *bored pile* yaitu dengan analisis pembebanan pada gedung menggunakan program SAP 2000 dan untuk mengetahui kapasitas dukung aksial tiang bor dengan pendekatan empiris berdasarkan metode Mayerhoff, Aoki dan De Alencar dan Schmertmann & Nottingham (1975).

Data yang digunakan untuk menganalisis adalah data hasil Uji Sondir atau Uji CPT (*Cone Penetration Test*) di titik pengujian S4 dan DED (*Detail Engineering Design*) Pembangunan SD Islam Makarima. Pelaksanaan penelitian akan dilakukan dalam beberapa tahapan, yaitu pengumpulan data serta studi literatur, analisis data dan perhitungan pembebanan menggunakan aplikasi SAP 2000, serta perhitungan kapasitas daya dukung yang dilakukan berdasarkan hasil Uji Sondir atau Uji CPT (*Cone Penetration Test*) hasil dan pembahasan serta kesimpulan dan saran.

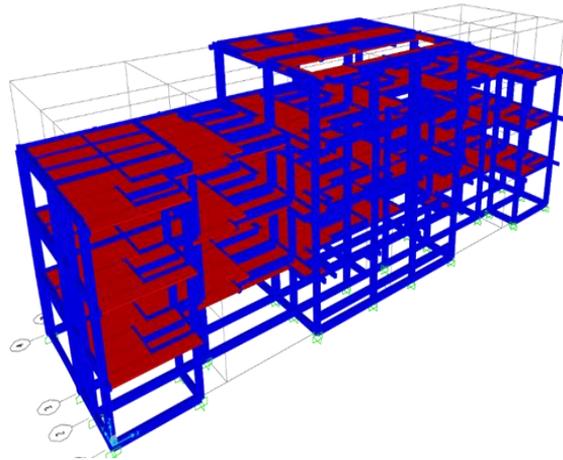
Adapun bagan tahapan penelitian ini yaitu :



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Berdasarkan data interpretasi jenis tanah pada titik sondir diatas, lapisan tanah keras pada titik Sondir S4 dapat dinyatakan pada Kedalaman Lapisan Tanah Keras 13,4 m.

B. Analisis Struktur Hasil Program SAP2000



Gambar 2. Permodelan Struktur

ANALISIS DAN PERHITUNGAN

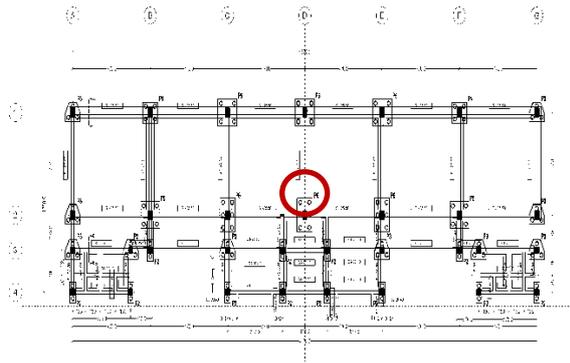
A. Data Klasifikasi Tanah

Pada penelitian ini, digunakan data pada hasil sondir di titik penyondiran S4 dimana hasil Uji Sondir dapat ditunjukkan pada Tabel dibawah.

Table 4. Hasil Uji Sondir 4 (titik S4)

Kedalaman (m)	qc rata-rata (kg/cm ²)	FR rata-rata (%)	Jenis Tanah
0.00 – 5.40	36.07	3.40	Lempung Konsistensi Sedang
5.40 – 8.60	89.06	0.90	Pasir kepadatan sedang
8.60 – 11.80	52.36	1.18	Pasir kepadatan sedang
11.80 – 12.60	153.00	0.39	Pasir berlanau kepadatan sedang
12.60 – 13.40	224.00	0.28	Pasir kepadatan sedang

Pada penelitian proyek Pembangunan SD Islam Makarima ini menggunakan fondasi *bored pile* dengan diameter 40 cm dan kedalaman fondasi 13 m. Berikut gambar denah fondasi pada perhitungan menggunakan Program SAP2000 dengan titik fondasi pada joint 51 dimana titik tersebut merupakan fondasi yang ditinjau dikarenakan titik tersebut merupakan titik yang mendapatkan gaya aksial terbesar.



Gambar 3. Denah Titik Fondasi Yang Ditinjau

Hasil analisa perhitungan beban aksial yang disalurkan terhadap fondasi dihitung dengan bantuan Program SAP2000 dimana diambil nilai beban maksimum dari COMB2 pada join 51 dengan nilai beban aksial sebesar 162,7823 Ton.

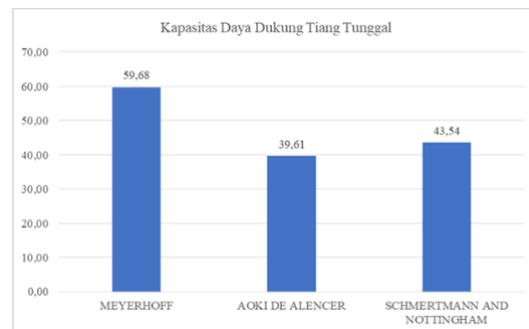
C. Analisis Kapasitas Dukung Fondasi Tunggal

Analisis kapasitas dukung fondasi *bored pile* menggunakan 3 metode yaitu Metode Mayerhoff, Metode Schmertmann dan Nottingham, dan Metode Aoki and De Alencer yang didasarkan pada data hasil Uji Sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) pada titik S4. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung tiang fondasi *bored pile* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung tiang tunggal

Panjang Bored Pile (Ø40)	Qizin		
	Meyerhoff (Ton)	Aoki De Alencer (Ton)	Schmertman And Nottingham (Ton)
13m	59,68	39,61	43,54

Berdasarkan hasil analisis kapasitas dukung fondasi *bored pile* dari data Uji Sondir atau CPT (*Cone Penetration Test*) titik S4 dengan diameter 40cm dan kedalaman 13 meter diperoleh kapasitas dukung ijin tiang pada metode Mayerhoff sebesar 59,68 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 39,61 ton, dan Metode Schmertman dan Nottingham sebesar 43,54 ton.



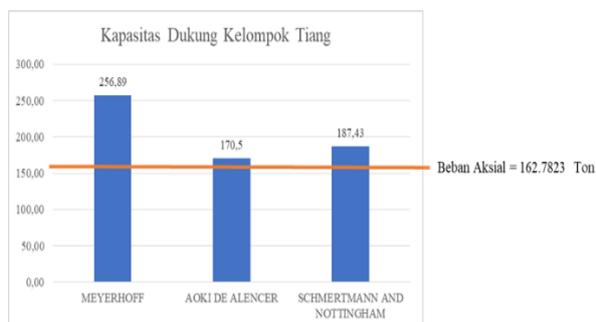
Gambar 4. Kapasitas Dukung Fondasi Tunggal

Kapasitas dukung kelompok fondasi yang dihitung pada penelitian ini menggunakan titik fondasi P6 berdasarkan data perhitungan kapasitas dukung fondasi tiang *bored pile*. Rekapitulasi hasil analisis kapasitas dukung kelompok tiang fondasi *bored pile* dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 6. Kapasitas dukung kelompok fondasi

Panjang Bored Pile (Ø40)	Qg		
	Meyerhoff (Ton)	Aoki De Alencer (Ton)	Schmertman And Nottingham (Ton)
13m	256,89	170,5	187,43

Berdasarkan fondasi *bored pile* pada titik P6 dengan kedalaman 13 meter diperoleh nilai kapasitas dukung kelompok tiang pada metode Mayerhoff sebesar 256,89 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 170,5 ton, dan metode Schmeretman dan Nottingham sebesar 187,43 ton.



Gambar 5. Kapasitas dukung kelompok fondasi

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pembahasan analisis kapasitas dukung dan penurunan fondasi *bored pile* pada Pembangunan SD Islam Makarima Kartasura dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dalam analisis permodelan dengan Program SAP2000 diperoleh beban yang dipikul oleh fondasi *bored pile* pada frame 51 dengan nilai beban aksial sebesar 162,7823 Ton.
2. Dalam analisis perhitungan kapasitas daya dukung fondasi *bored pile* secara manual pada tanah kedalaman 13 meter dari beberapa metode diperoleh kapasitas daya dukung ultimit (Qult) pada tiang bored pile

Metode Mayerhoff sebesar 59,68 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 39,61 ton, dan Metode Schmeretman dan Nottingham sebesar 43,54 ton.

3. Dalam analisis perhitungan kapasitas daya dukung kelompok pada titik fondasi *bored pile* P6 pada tanah kedalaman 13 meter dari beberapa metode diperoleh kapasitas dukung kelompok tiang fondasi *bored pile* (Qg) Metode Mayerhoff sebesar 256,89 ton, metode Aoki De Alencer sebesar 170,5 ton, dan metode Schmeretman dan Nottingham sebesar 187,43 ton.

B. Saran

Berdasarkan hasil perhitungan dan kesimpulan diatas, terdapat beberapa saran yaitu sebagai berikut:

1. Untuk hasil perhitungan yang lebih baik dan akurat baik secara analisis maupun program aplikasi, maka diperlukan data yang lebih lengkap lagi;
2. Untuk mendapatkan diskripsi lapisan tanah yang lebih rill dan hasil nilai N-SPT yang lebih teliti pada kedalaman tanah yang telah ditentukan dapat digunakan penyelidikan tanah dengan metode lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1]. Hardiyatmo, Hary Christady. (2012). Mekanika Tanah I Edisi 7. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- [2]. Hardiyatmo, Hary Christady. (2018).

Mekanika Tanah II Edisi 6. Yogyakarta:
Gadjah Mada University Press

- [3]. Hardiyatmo, Hary Christady. (2020). Analisis dan Perancangan Fondasi I Edisi 4. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- [4]. Hardiyatmo, Hary Christady. (2020). Analisis dan Perancangan Fondasi II Edisi 5. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press
- [5]. SNI-2827:2008. Cara Uji Penetrasi Lapangan Dengan Alat Sondir
- [6]. Titi H.H. & Farsakh M.A.Y., 1999, Evaluation of Bearing Capacity of Piles From Cone Penetration Test, Louisiana Transportation Research Center.
- [7]. SNI-1727:2020. Beban desain minimum dan kriteria terkait untuk bangunan gedung dan struktur lain
- [8]. SNI 2847:2019. Tata Cara Perhitungan Struktur Beton untuk Gedung
- [9]. SNI 1726:2019. Peraturan Perencanaan Tahan Gempa untuk Gedung