

ANALISIS DIAGRAM GAYA DALAM PADA FONDASI TIANG BOR UNTUK MENDAPATKAN HASIL PENULANGAN YANG OPTIMAL

Kilian Rohan¹ dan Aniek Prihatiningsih²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
kilian.325180090@stu.untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
aniekp@ft.untar.ac.id

Masuk: 19-01-2022, revisi: 11-02-2022, diterima untuk diterbitkan: 22-02-2022

ABSTRACT

The foundation is one of the most important parts of a structure. The distribution of bearing capacity in pile foundations is inversely related to depth. The part of the pile that is close to the acting force will carry a greater force than the part of the pile that is at a deeper depth. By paying attention to this, the reinforcement of the pile foundation can be varied according to the distribution of the pile bearing capacity. The type of pile foundation to be analyzed is a drilled pile foundation or bored pile in the form of an end bearing pile, with soil data located in Semarang. Analysis was carried out on three piles with a diameter of 600 mm, 1000 mm, and 1800 mm with a pile length of 65 m. In this study, an analysis of the internal force diagram that occurs in the pile will be carried out. The results of the analysis show that the need for pile reinforcement are getting less and less at the pile which is further away from the working load. The result of the need for pile reinforcement is also less than the reinforcement based on applicable regulations.

Keywords: bored pile; distribution of bearing capacity; reinforcement of pile foundation; internal force diagram; end bearing pile

ABSTRAK

Fondasi merupakan salah satu bagian terpenting dalam sebuah struktur. Salah satu jenis fondasi yang sering digunakan pada proyek pembangunan gedung dan struktur-struktur besar lainnya merupakan fondasi tiang. Distribusi daya dukung pada fondasi tiang berkebalikan dengan kedalaman. Bagian tiang yang dekat dengan gaya yang bekerja akan memikul gaya yang lebih besar dibandingkan bagian tiang yang berada pada kedalaman yang lebih dalam. Dengan memperhatikan hal tersebut, maka penulangan fondasi tiang dapat divariasikan sesuai dengan distribusi daya dukung tiang. Penelitian ini akan dibantu dengan menggunakan program untuk mendapatkan penulangan tiang. Jenis fondasi tiang yang akan dianalisis merupakan fondasi tiang bor atau bored pile berupa end bearing pile, dengan data tanah yang berlokasi di Semarang. Analisis dilakukan terhadap tiga tiang dengan diameter 600 mm, 1000 mm, dan 1800 mm dengan panjang tiang 65 m. Dalam penelitian ini, akan dilakukannya analisis diagram gaya dalam yang terjadi pada tiang sehingga dapat diketahui letak dan kebutuhan tulangan sepanjang tiang. Hasil analisis menunjukkan bahwa hasil kebutuhan penulangan tiang semakin sedikit dan renggang pada bagian tiang yang semakin menjauhi beban yang bekerja. Hasil kebutuhan penulangan tiang juga lebih sedikit dibandingkan penulangan berdasarkan peraturan yang berlaku.

Kata kunci: *bored pile*; distribusi daya dukung; penulangan fondasi tiang; diagram gaya dalam; *end bearing pile*

1. PENDAHULUAN

Menurut Arvin dan Prihatiningsih (2021), fondasi yang merupakan bagian dari *substructure* memiliki fungsi meneruskan seluruh beban ke tanah dasar. Sebuah fondasi yang tidak kuat menyebabkan kegagalan keseluruhan struktur tersebut, tidak peduli sekuat atau sekokoh apapun struktur di atasnya. Menurut Coduto (2001), fondasi tiang merupakan elemen struktur yang panjang, ramping, dan di pra-fabrikasi yang dimasukkan ke dalam tanah. Fondasi tiang itu sendiri dibagi menjadi beberapa jenis berdasarkan material yang digunakan, metode pembuatan tiang ataupun metode pelaksanaan pemasangannya di lapangan. Salah satu jenis fondasi tiang yang umum digunakan jika dibutuhkan kedalaman tiang yang dalam adalah fondasi tiang bor atau *bored pile*. Tiang bor itu sendiri terbuat dari beton, dengan terdapatnya *reinforcement* atau penguat yang dibutuhkan ataupun bisa ditambahkan. *Reinforcement* yang umum diketahui dan digunakan adalah baja tulangan.

Tiga faktor yang sangat penting dalam berjalannya sebuah proyek konstruksi adalah mutu, biaya, dan waktu. Untuk desain fondasi, hasil desain haruslah mampu mencapai mutu berupa daya dukung yang diinginkan dengan menggunakan biaya yang optimal. Dalam hal fondasi tiang bor, untuk memenuhi faktor-faktor tersebut, maka variasi pembesian dari tiang bor merupakan salah satu solusi yang dapat dilakukan untuk mengoptimalkan hasil desain fondasi. Mekanisme transfer beban pada tiang menunjukkan bahwa semakin dekat bagian tiang dengan beban yang bekerja, maka gaya yang dipikul oleh bagian tiang tersebut semakin besar, begitupun sebaliknya. Dengan memperhatikan hal ini, maka penulangan fondasi pun dapat divariasikan sesuai dengan gaya yang terjadi pada setiap kedalaman tiang.

Diagram Gaya Dalam (Metode Matlock dan Reese)

Diagram gaya dalam yang akan dicari untuk mendapatkan hasil penulangan pada fondasi tiang merupakan diagram momen dan lintang untuk kedua penulangan longitudinal dan transversal. Berdasarkan Das (2019), untuk mencari diagram gaya dalam dapat digunakan nya metode elastis yang diusulkan oleh Matlock dan Reese.

- Momen didapatkan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$M_z(z) = A_m Q_g R + B_m M_g \quad (1)$$

- Lintang didapatkan dengan menggunakan formula sebagai berikut:

$$V_z(z) = A_v Q_g R + \frac{B_v M_g}{R} \quad (2)$$

Nilai Q_g dan M_g merupakan besar beban lateral dan momen yang terjadi pada tiang, sedangkan A_m , A_v , B_m , dan B_v merupakan nilai koefisien tiang.

- Koefisien tiang berubah seiring bertambahnya kedalaman tiang. Kedalaman tiang diwakili oleh koefisien Z , di mana nilai koefisien tiang berubah seiring bertambahnya nilai Z . Nilai Z dapat dicari dengan formula sebagai berikut:

$$Z = \frac{z}{R} \quad (3)$$

Di mana, z merupakan kedalaman tiang. Menurut Tomlinson (2008), koefisien R merupakan faktor kekakuan tiang yang dapat dicari dengan formula sebagai berikut:

$$R = \sqrt[4]{\frac{E_p I_p}{k B}} \quad (4)$$

Nilai E_p merupakan modulus elastisitas beton dan B merupakan diameter tiang, nilai E_p dapat dicari dengan formula sebagai berikut:

$$E_p = 4700 \sqrt{f_c'} \quad (5)$$

Nilai I_p merupakan inersia penampang dari tiang. Dikarenakan tiang yang digunakan berupa tiang bor berbentuk lingkaran, maka inersia penampang tiang dapat dicari dengan formula sebagai berikut:

$$I_p = \frac{1}{64} \pi D^4 \quad (6)$$

Menurut Budhu (2010), nilai k merupakan modulus reaksi tanah dasar dan D merupakan diameter tiang. Berdasarkan beliau, nilai k dapat dicari dengan formula sebagai berikut:

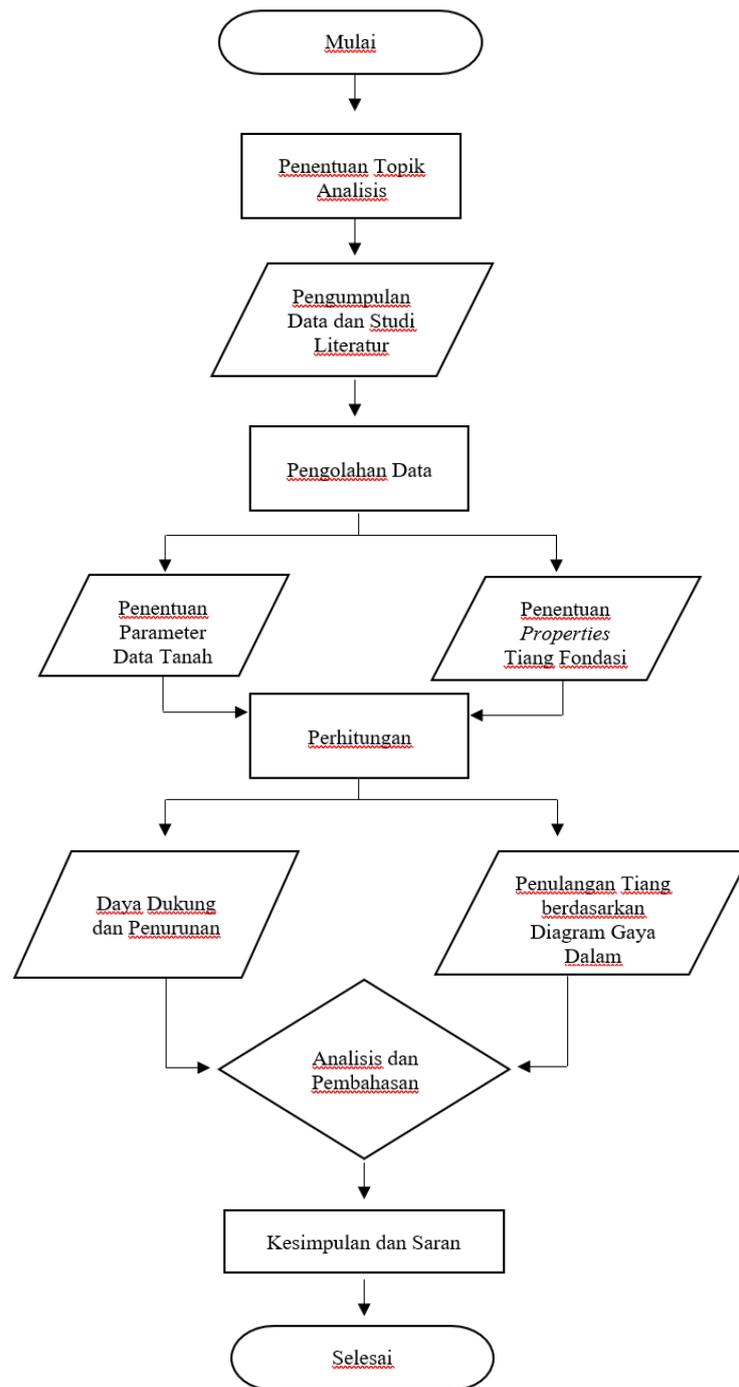
$$k_s' = \frac{22,4 E_s (1-\mu)}{(1+\mu)(3-4\mu)[2 \ln(2L_p/B) - 0,433]} \quad (7)$$

Nilai k_s' merupakan nilai k modifikasi. Untuk mendapatkan nilai k , nilai k_s' pun dibagi dengan B (diameter tiang)

$$k = \frac{k_s'}{B} \quad (8)$$

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dapat dibagi menjadi beberapa tahap, di mana analisis itu sendiri dilakukan setelah proses pengumpulan dan pengolahan data sudah dilakukan. Analisis itu sendiri dimulai dengan penentuan parameter tanah yang akan digunakan, yang kemudian dilanjutkan dengan mencari diagram gaya dalam pada tiang. Setelah didapatkannya gaya dalam yang terjadi pada tiang, maka penulangan tiang dapat dicari. Berikut pada Gambar 1 merupakan tahapan alur dari penelitian yang dilakukan.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis dimulai dengan melakukan penentuan parameter tanah desain yang akan digunakan dalam perhitungan.

Parameter Tanah Desain

Menurut Murthy (2002), sifat-sifat bahan dari tanah bergantung pada sifat-sifat batuan dari mana mereka berasal, sehingga penentuan parameter tanah harus dilakukan dengan tepat. Parameter tanah desain yang digunakan dalam analisis didapatkan dari hasil plot grafik parameter tanah yang diperoleh dari data penyelidikan tanah lapangan, data uji laboratorium, dan korelasi parameter tanah. Berikut pada Tabel 1 dan 2 merupakan hasil parameter tanah desain yang digunakan dalam analisis.

Tabel 1. Parameter Tanah Desain

Elevasi (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	N-SPT	γ_{sat} (kN/m ³)	γ_{wet} (kN/m ³)	e_o	ϕ (°)
1-5	Clay	Medium Stiff	12	19	18	0,5	10
5-13	Clay	Medium Stiff	12	19	18	0,5	9
13-22	Clay	Very Soft to Soft	4	16	15	1,2	10
22-32	Clay	Medium Stiff	10	18	17	1	10
32-43	Clay	Very Stiff	20	19	18	1,12	22
43-55	Clay	Very Stiff	30	20	19	1,17	20
55-70	Clay	Very Stiff	30	19	18	1,14	21

Tabel 2. Parameter Tanah Desain (Lanjutan)

Elevasi (m)	S_u (kPa)	c' (kPa)	E_u (MPa)	OCR	k (cm/s)	Poisson Ratio	Ψ (°)
1-5	42	10	13	19	0,001	0,2	0
5-13	40	8	12	2	0,001	0,27	0
13-22	6	2	2	1	0,001	0,35	0
22-32	20	6	6	1,2	0,001	0,31	0
32-43	55	10	17	1	0,001	0,2	0
43-55	95	18	29	1	0,001	0,25	0
55-70	68	14	21	1,1	0,001	0,2	0

Spesifikasi Tiang dan Beban

Analisis dilakukan terhadap tiga variasi tiang seperti yang dapat dilihat pada Tabel 3 di bawah ini.

Tabel 3. Spesifikasi Tiang dan Beban

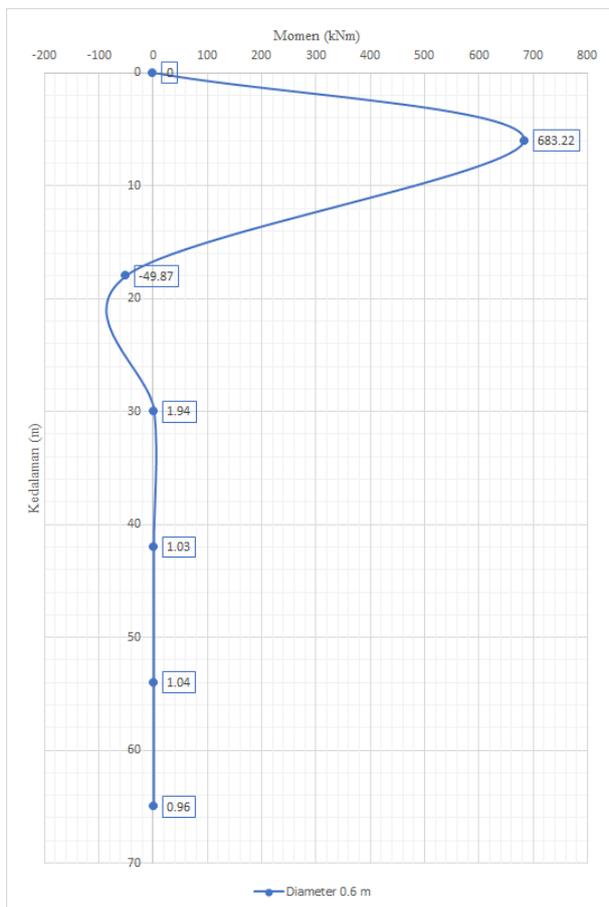
Diameter (m)	Panjang Tiang (m)	Beban Vertikal (kN)	Beban Horizontal (kN)	f_c' Beton (MPa)	f_y Tulangan (MPa)
0,6	65	1.600	468	25	420
1	65	3.500	780	25	420
1,8	65	6.000	1.404	25	420

Diagram Gaya Dalam

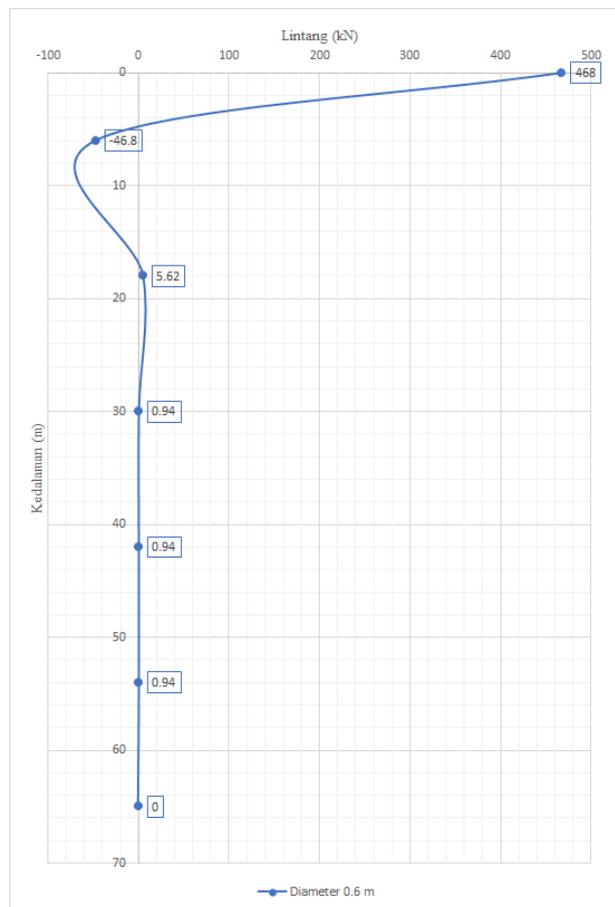
Perhitungan untuk mendapatkan diagram momen dan lintang dilakukan untuk ketiga variasi tiang. Nilai momen dan lintang yang digunakan untuk menentukan penulangan tiang diambil untuk setiap 12 m kedalaman tiang. Hal ini dilakukan karena pada umumnya panjang tulangan yang ada di pasaran sebesar 12 m, sehingga diperlukan nilai momen dan lintang terbesar pada setiap 12 m kedalaman tiang untuk mewakili bagian tiang tersebut. Berikut pada Tabel 4 merupakan hasil gaya dalam tiang terbesar untuk setiap 12 m kedalaman tiang. Hasil gaya dalam yang terjadi pada tiang dapat dilihat pada Gambar 2.

Tabel 4. Nilai Gaya Dalam Tiang

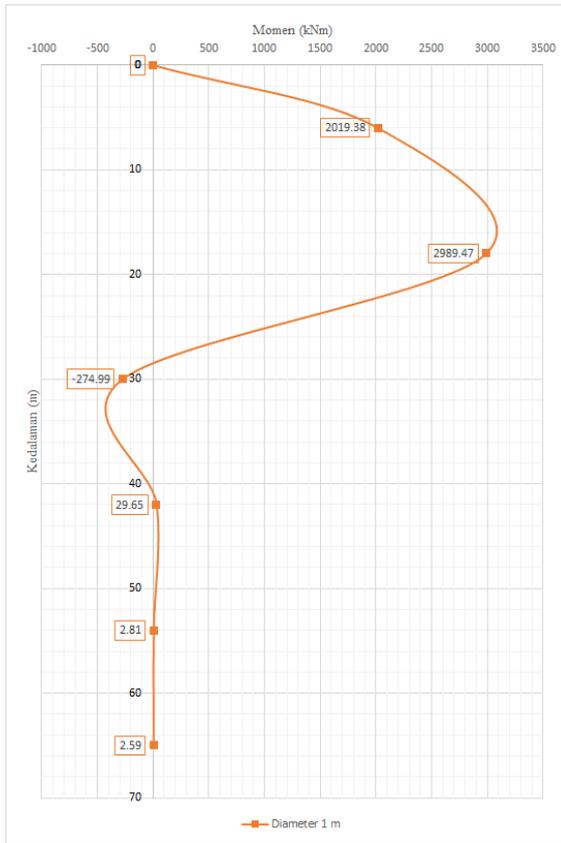
Kedalaman (m)	Diameter 0,6 m		Diameter 1 m		Diameter 1,8 m	
	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Momen (kNm)	Lintang (kN)	Momen (kNm)	Lintang (kN)
0 – 12 m	683,22	468	2.019,38	780	6.534,56	1.404
12 – 24 m	-49,87	-46,8	2.989,47	-288,44	11.731,7	-520,19
24 – 36 m	1,94	5,62	-274,99	127,4	-8.904,2	515,21
36 – 48 m	1,03	0,94	29,65	11,7	193,18	21,06
48 – 60 m	1,04	0,94	2,81	11,7	8,79	21,06
60 – 65 m	0,96	0,94	2,59	11,7	8,09	21,06



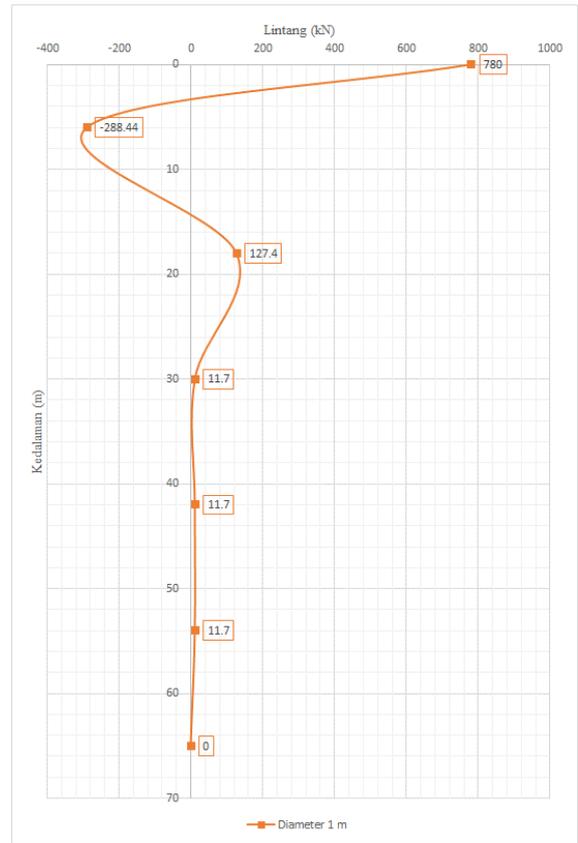
(a)



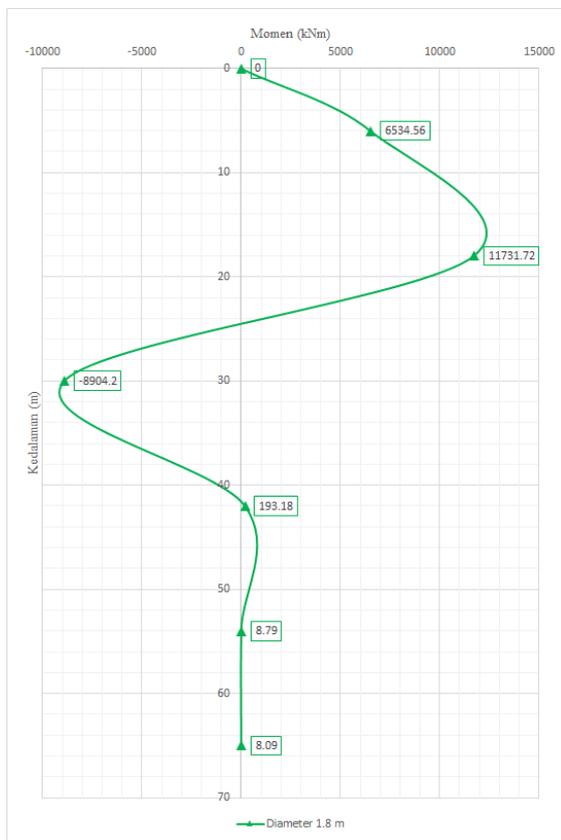
(b)



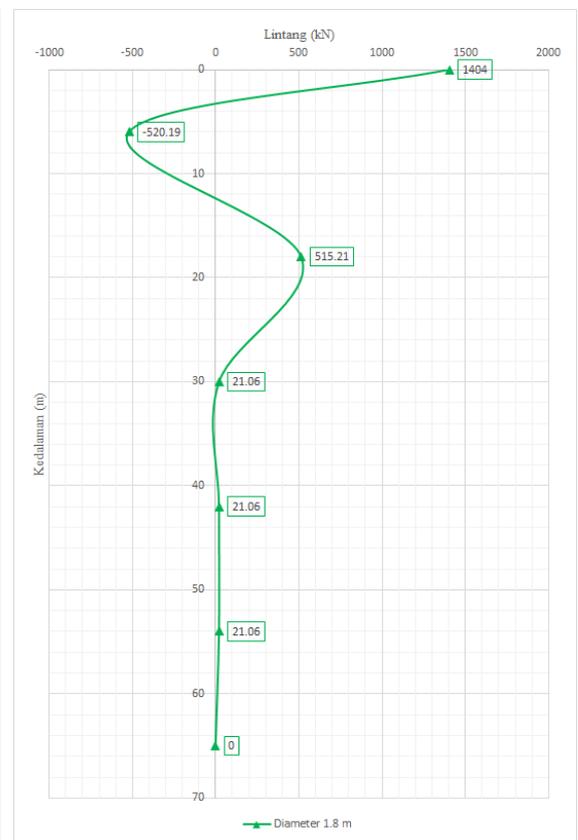
(c)



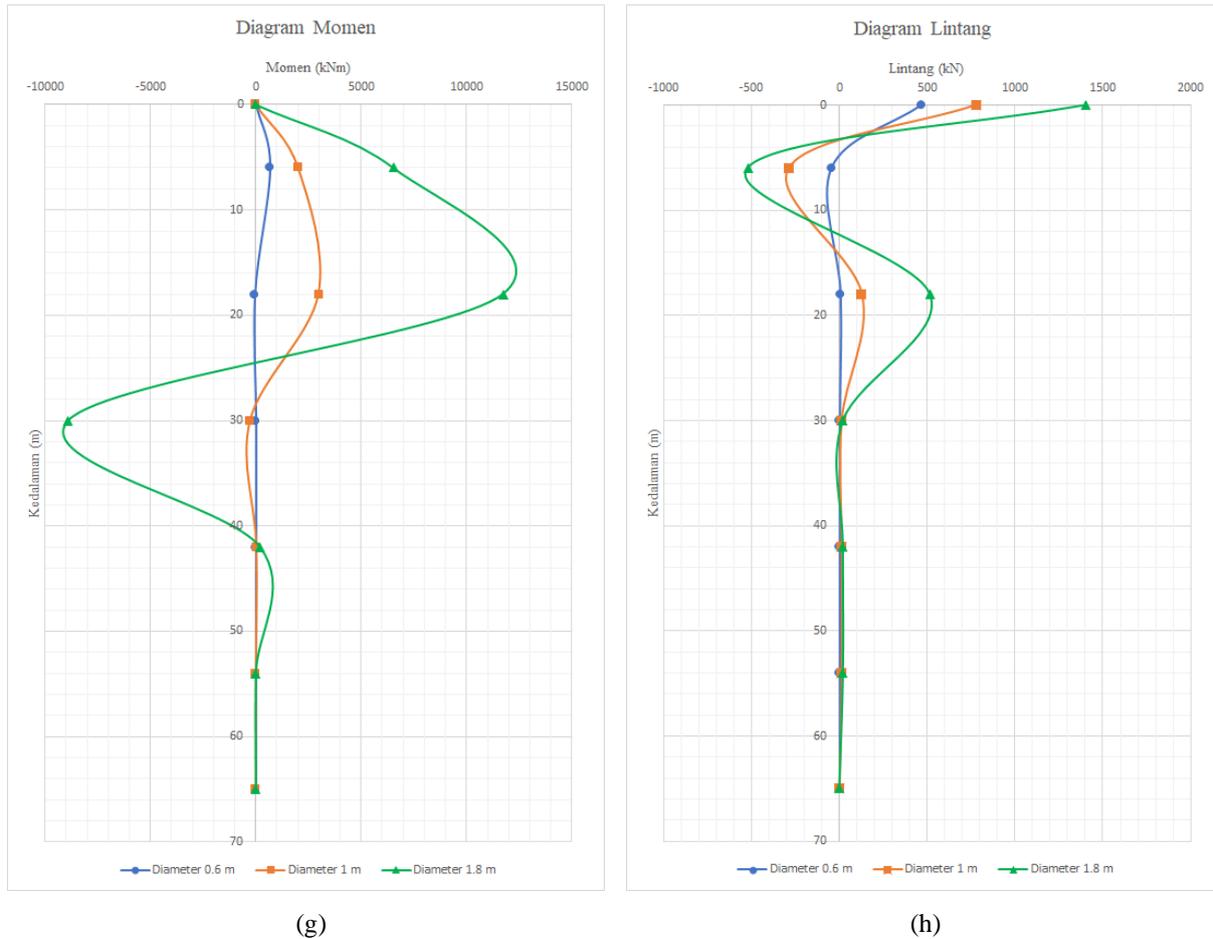
(d)



(e)



(f)



Gambar 2. Diagram Gaya Dalam Tiang (a) Momen Tiang 0,6 m, (b) Lintang Tiang 0,6 m, (c) Momen Tiang 1 m, (d) Lintang Tiang 1 m, (e) Momen Tiang 1,8 m, (f) Lintang Tiang 1,8 m, (g) Diagram Momen Tiang, (h) Diagram Lintang Tiang

Penulangan Tiang

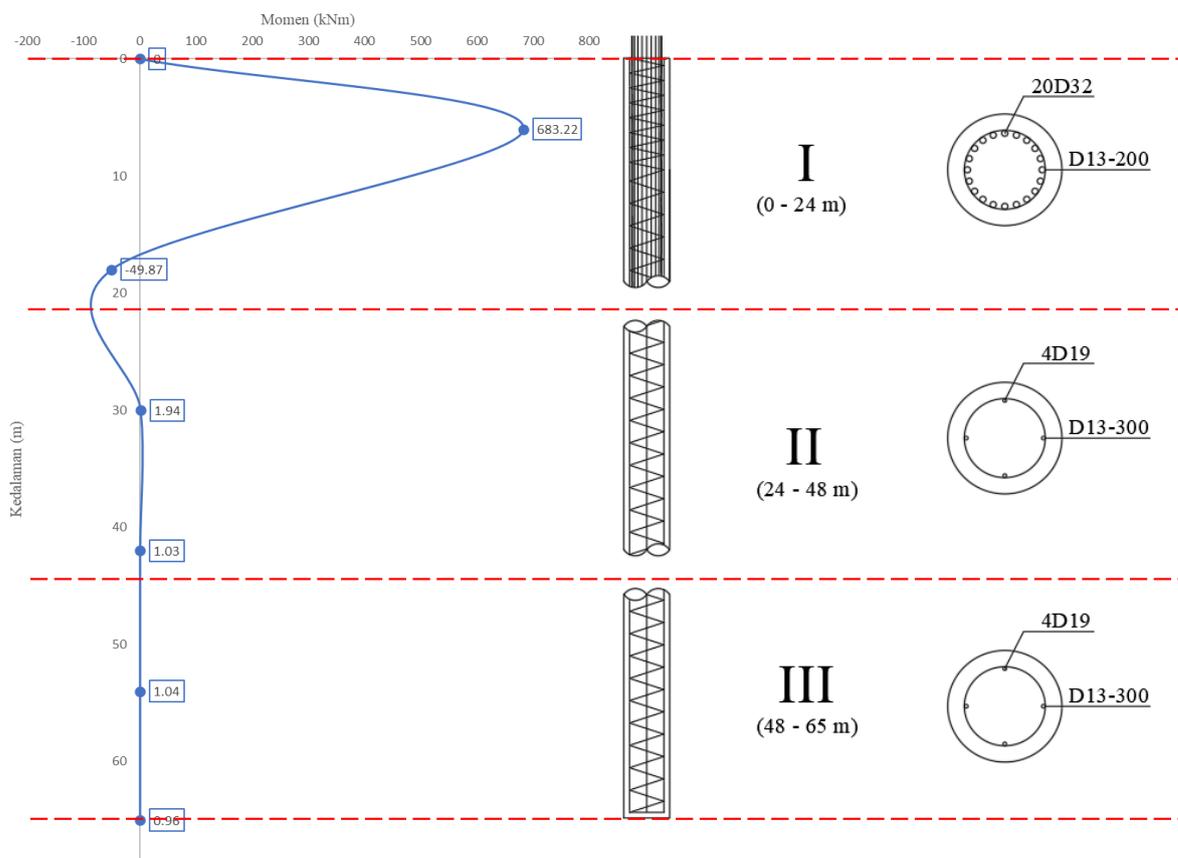
Penulangan tiang bor divariasikan untuk setiap 12 m panjang tiang untuk kedua tulangan yaitu tulangan longitudinal dan transversal. Jenis tulangan yang digunakan untuk tulangan longitudinal dan transversal adalah tulangan ulir. Setelah didapatkannya gaya dalam yang dibutuhkan, dicari nya kebutuhan penulangan tiang serta penulangan tiang yang memenuhi peraturan sesuai dengan yang tertera pada Badan Standardisasi Nasional (2019). Hasil perbandingan dapat dilihat pada Tabel 5 dan 6.

Tabel 5. Hasil Kebutuhan dan Peraturan Penulangan Tiang

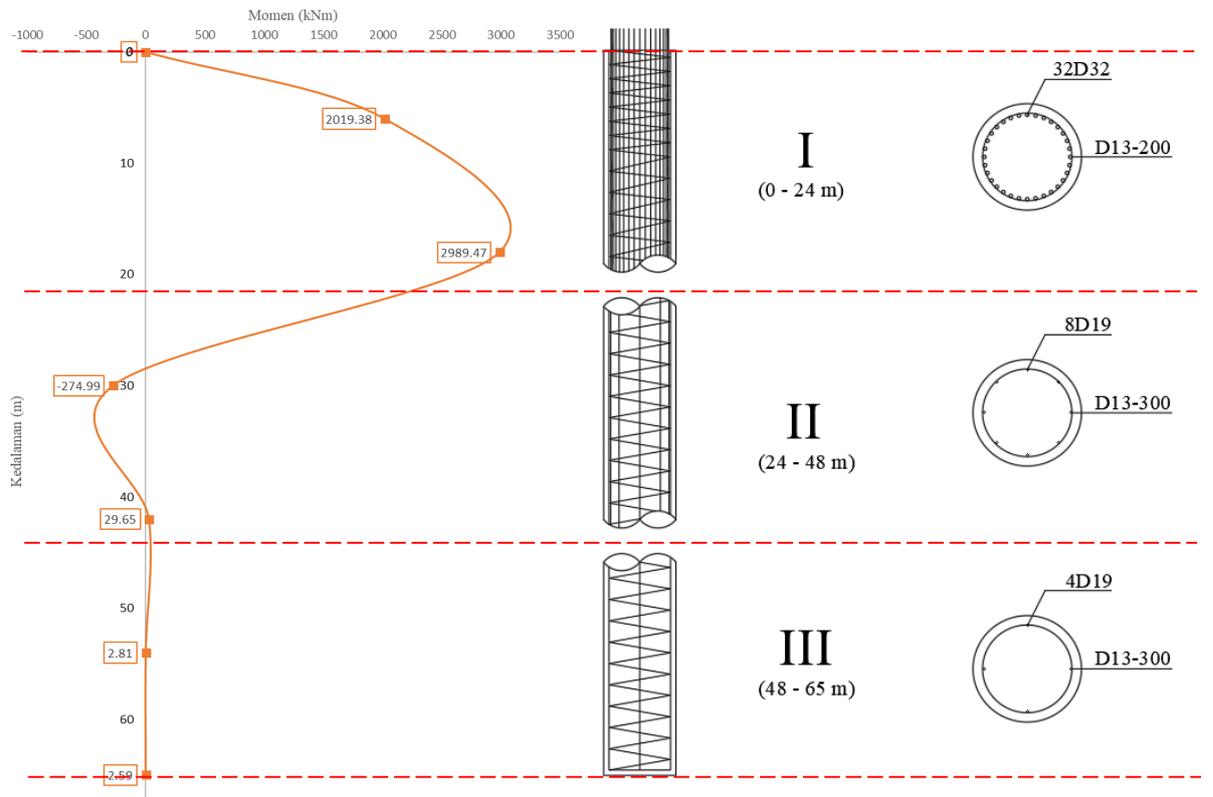
Kedalaman (m)	Diameter (m)	Kebutuhan		Peraturan	
		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
0 – 12 m	0,6	20D32	D13 - 200	20D32	D13 - 75
12 – 24 m		4D19	D13 - 300	8D22	D13 - 75
24 – 36 m		4D19	D13 - 300	8D22	D13 - 75
36 – 48 m		4D19	D13 - 300	8D22	D13 - 75
48 – 60 m		4D19	D13 - 300	8D22	D13 - 75
60 – 65 m		4D19	D13 - 300	8D22	D13 - 75

Tabel 6. Hasil Kebutuhan dan Peraturan Penulangan Tiang (Lanjutan)

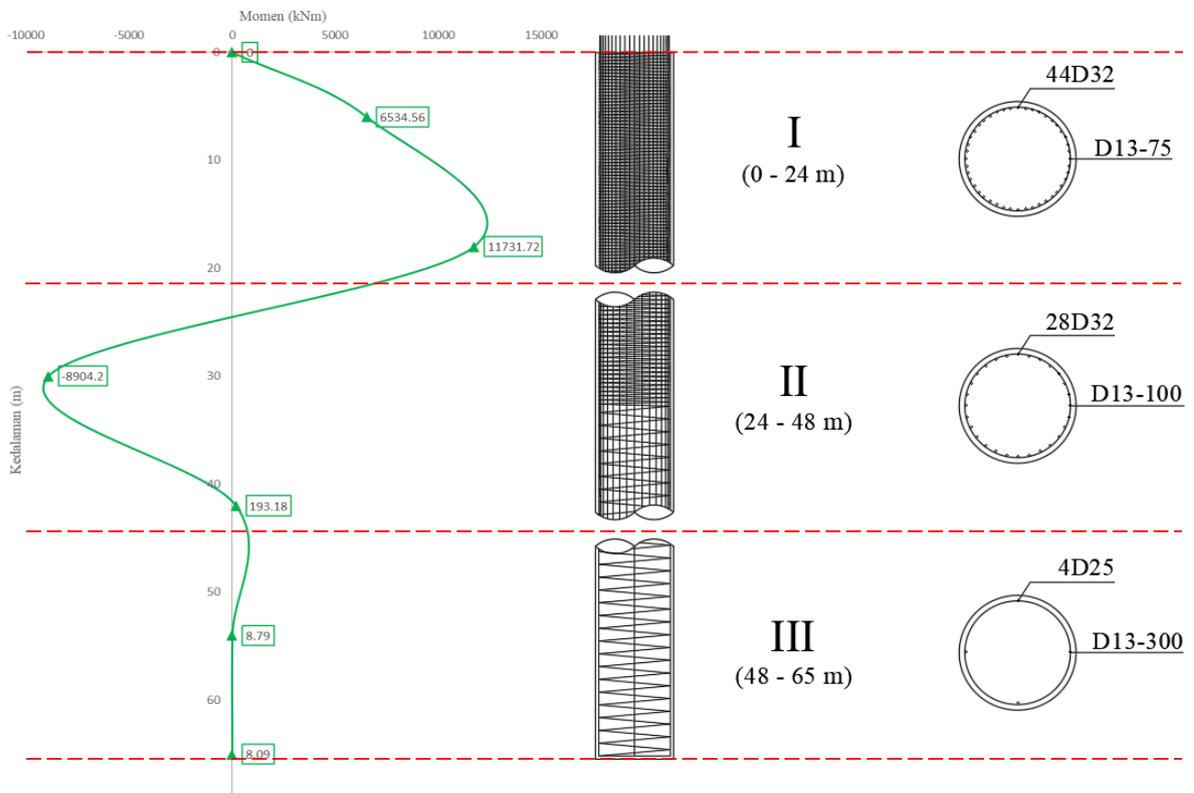
Kedalaman (m)	Diameter (m)	Kebutuhan		Peraturan	
		Longitudinal	Transversal	Longitudinal	Transversal
0 – 12 m	1	32D32	D13 - 200	32D32	D13 - 75
12 – 24 m		32D32	D13 - 300	32D32	D13 - 75
24 – 36 m		8D19	D13 - 300	12D29	D13 - 75
36 – 48 m		8D19	D13 - 300	12D29	D13 - 75
48 – 60 m		4D19	D13 - 300	12D29	D13 - 75
60 – 65 m		4D19	D13 - 300	12D29	D13 - 75
0 – 12 m	1,8	44D32	D13 - 75	44D32	D13 - 75
12 – 24 m		44D32	D13 - 75	44D32	D13 - 75
24 – 36 m		28D32	D13 - 100	32D32	D13 - 75
36 – 48 m		8D25	D13 - 300	32D32	D13 - 75
48 – 60 m		4D25	D13 - 300	32D32	D13 - 75
60 – 65 m		4D25	D13 - 300	32D32	D13 - 75



(a)



(b)



(c)

Gambar 3. Penulangan Tiang Berdasarkan Momen Tiang (a) Tiang 0,6 m, (b) Tiang 1 m, (c) Tiang 1,8 m

Seperti yang dapat dilihat pada Gambar 3, kebutuhan penulangan yang dimaksud merupakan jumlah, letak, dan jarak penulangan minimum yang mampu menahan gaya yang terjadi pada tiang. Sedangkan penulangan berdasarkan peraturan merupakan konfigurasi penulangan yang harus memenuhi syarat-syarat yang tertera berdasarkan Badan Standardisasi Nasional (2019). Dalam hal ini, terdapat beberapa batasan untuk penulangan minimum dan maksimum tiang, di mana batasan ini membuat konfigurasi penulangan yang memenuhi syarat-syarat peraturan tersebut melebihi kebutuhan penulangan sebenarnya yang didapat berdasarkan gaya yang terjadi pada tiang.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil analisis, dapat ditarik kesimpulan dan saran sebagai berikut:

Kesimpulan

- Besar momen terbesar yang didapat dari hasil perhitungan untuk masing-masing variasi diameter tiang dari terkecil sampai terbesar secara berurut sebesar 683,22 kNm, 2.987,47 kNm, dan 11.731,7 kNm.
- Hasil perhitungan menunjukkan bahwa semakin dalam kedalaman tiang, maka penulangan yang dibutuhkan pada kedalaman tersebut semakin berkurang. Hal ini disebabkan karena besarnya beban yang ditransfer sepanjang tiang semakin mengecil seiring bertambahnya kedalaman tiang. Mengecilnya transfer beban ini dapat dilihat dari reaksi tanah yang terjadi pada kedalaman tiang yang dalam, di mana reaksi tanah yang terjadi semakin mengecil seiring bertambahnya kedalaman. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa gaya yang diterima tiang paling besar pada bagian tiang yang dekat dengan beban luar yang terjadi dan semakin mengecil seiring bertambahnya kedalaman dan menjauhi beban luar yang terjadi.
- Semakin mengecilnya beban seiring bertambahnya kedalaman menghasilkan besar momen yang dipikul tiang pada kedalaman yang dalam semakin kecil sehingga kebutuhan penulangan tiang pun semakin berkurang seiring bertambahnya kedalaman.
- Penulangan yang didapatkan berdasarkan peraturan yang berlaku menghasilkan jumlah penulangan longitudinal dan transversal yang lebih banyak dibandingkan kebutuhan penulangan dari hasil perhitungan. Hal ini dikarenakan peraturan yang berlaku memiliki batasan minimum tulangan yang dapat digunakan sehingga daerah tiang yang sebenarnya tidak membutuhkan penulangan dengan jumlah dan jarak yang banyak dan rapat ataupun bahkan tidak membutuhkan penulangan dikarenakan sangat kecilnya gaya yang terjadi pada kedalaman tersebut tetap harus menggunakan tulangan minimum berdasarkan peraturan yang berlaku.
- Batasan tulangan minimum dan maksimum yang ditentukan dalam peraturan dibuat untuk memenuhi beberapa kondisi. Batasan minimum tulangan ditentukan sedemikian rupa untuk mengontrol deformasi jangka panjang serta menghasilkan momen leleh tulangan yang melebihi momen retak beton itu sendiri. Sedangkan batasan maksimum luas tulangan bertujuan untuk memperhatikan kerapatan tulangan serta peningkatan tegangan geser yang tinggi.

Saran

- Untuk mencari diagram gaya dalam yang terjadi pada tiang, dapat menggunakan bantuan program yang dapat mengeluarkan hasil *output* gaya-gaya yang terjadi.
- Dalam penelitian ini, analisis yang dilakukan merupakan analisis dua dimensi, di mana pemodelan dan analisis dua dimensi hanya memperhatikan faktor-faktor yang terjadi pada satu bidang saja (bidang pada sumbu x y) tanpa mengikutsertakan faktor yang mempengaruhi analisis dari bidang lainnya (sumbu z). Dikarenakan itu, untuk mendapatkan hasil yang akurat dalam menentukan parameter tanah serta mencari gaya dalam yang terjadi pada tiang, perlu dilakukannya analisis dan pemodelan tiga dimensi sehingga semua faktor-faktor yang dapat mempengaruhi analisis dari seluruh bidang juga diperhitungkan.
- Pada penelitian ini, pemodelan tiang dilakukan dengan asumsi bahwa diameter tiang bor sepanjang tiang itu sama, sehingga tiang bor yang dianalisis seakan-akan memiliki permukaan selimut yang rata dan konsisten. Pada kenyataannya, permukaan selimut tiang bor tentu tidak rata dan konsisten, sehingga untuk mendapatkan hasil analisis yang lebih akurat, harus dilakukannya analisis dan pemodelan menggunakan metode lain seperti metode elemen hingga yang dapat memodelkan dan menghasilkan hasil analisis keseluruhan tiang dengan lebih akurat.
- Tiga hal yang sangat penting dalam sebuah proyek pembangunan adalah mutu, waktu dan biaya. Sehingga sangat disarankan untuk dilakukannya pengaplikasian pada perhitungan desain untuk melakukan variasi penulangan sepanjang tiang agar mendapatkan mutu hasil desain yang kuat menahan gaya yang terjadi, tetapi juga optimal dalam aspek biaya yang dikeluarkan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arvin, & Prihatiningsih, A. (2021). Studi Fondasi Tiang Bor Untuk Jembatan Di Laut. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 581-590.
- Badan Standardisasi Nasional (2019). SNI 2847:2019 Persyaratan Beton Struktural Untuk Bangunan Gedung. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundation 3rd Edition*. United States: John Wiley & Sons.
- Coduto, D. P. (2001). *Foundation Design Principles and Practices 2nd Edition*. New Jersey: Prentice Hall.
- Das, B. M. (2019). *Principles of Foundation Engineering*. England.
- Murthy, V. N. (2002). *Geotechnical Engineering - Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*. New York: Marcel Dekker.
- Tomlinson, M. (2008). *Pile Design and Construction Practice 5th Edition*. Taylor & Francis.

