

ANALISIS PRILAKU TIANG BOR KELOMPOK UNTUK BERBAGAI KONFIGURASI

Aniek Prihatiningsih¹, Andryan Suhendra², Jasson Buntara³, Jevin Wijaya⁴,
Andreas Gerald⁵

¹Proram Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta

Email: aniekp@ft.untar.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bina Nusantara, Jakarta

Email: asuhendra@binus.ac.id

³Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta

Email: jasson.325210066@stu.untar.ac.id

⁴Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta

Email: jevin.325230011@stu.untar.ac.id

⁵Program Studi Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jakarta

Email: andreas.325230055@stu.untar.ac.id

Masuk: 19-05-2025, revisi: 18-06-2025, diterima untuk diterbitkan: 08-06-2025

ABSTRAK

Prilaku dan deformasi kelompok fondasi tiang dipengaruhi oleh berbagai faktor kompleks yang saling berinteraksi, yang masing-masing berperan dalam menentukan kinerja fondasi secara keseluruhan. Salah satu faktor yang akan mempengaruhi kinerja ini adalah konfigurasi atau formasi tiang dalam kelompok fondasi tersebut. Faktor-faktor seperti jarak antar tiang, orientasi, kedalaman tiang dan posisi tiang dapat mempengaruhi seberapa efektif kelompok tiang menyalurkan beban ke lapisan tanah, serta bagaimana deformasi atau pergeseran terjadi selama pembebaan. Oleh karena itu, pemahaman yang mendalam tentang pengaruh konfigurasi tiang pada kelompok fondasi menjadi penting untuk merancang fondasi yang aman, efisien, dan dapat mengoptimalkan daya dukung sesuai dengan karakteristik tanah tempat fondasi itu diterapkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji prilaku dari kelompok tiang bor untuk berbagai konfigurasi seperti besar deformasi, gaya-gaya yang bekerja pada tiang terhadap lima variasi konfigurasi, yang terdiri dari jumlah tiang antara tiga hingga enam tiang. Acuan konfigurasi yang dianalisis adalah berdasarkan dengan luas penampang total kelompok tiang bor yang sama untuk setiap konfigurasi. Penelitian ini menggunakan pendekatan analitis melalui penggunaan perangkat lunak berbasis metode elemen hingga untuk menganalisis setiap konfigurasi. Hasil analisis menunjukkan konfigurasi 3 dengan lima tiang bor menghasilkan *displacement* vertikal yang paling rendah, namun gaya dan momen paling kecil yang harus dipikul oleh tiang adalah pada konfigurasi 4 dengan enam tiang bor.

Kata Kunci: konfigurasi; tiang bor; metode elemen hingga

ABSTRACT

The behaviour and deformation of pile foundation groups are governed by a variety of complex and interacting factors that collectively influence their overall structural performance. Among these factors, the configuration of the pile group—defined by parameters such as the number of piles, spacing, orientation, depth, and spatial arrangement—plays a particularly significant role. These configuration parameters affect not only how the load is transferred from the superstructure to the underlying soil layers but also how the foundation deforms or displaces under different loading conditions. Understanding the influence of pile configuration is therefore essential for the design of safe, efficient, and cost-effective foundation systems, especially in cases where soil conditions pose additional challenges. This study aims to investigate the mechanical behavior of bored pile groups under various configuration scenarios. Specifically, it examines five different configurations with pile counts ranging from three to six piles, all designed to maintain an equal total cross-sectional area. The focus is on evaluating the resulting deformation patterns and internal force distributions within the pile group under typical loading conditions. A finite element method (FEM)-

based analytical approach is employed to simulate and analyze the structural responses of each configuration. The analysis results show that configuration 3 with five bored piles produces the lowest vertical displacement, but the smallest force and moment that must be borne by the piles is in configuration 4 with six bored piles.

Keywords: configuration; bored pile; finite element method

1. PENDAHULUAN

Latar Belakang

Fondasi kelompok tiang merupakan penggabungan beberapa tiang menggunakan *pile cap* (Meisari et.al, 2017). Menurut Meisari et.al. (2017), penentuan kapasitas daya dukung fondasi adalah faktor penting dalam perencanaan, terlebih jika fondasi ditempatkan pada tanah yang relatif berjenis lempung. Fondasi tersebut harus mampu memikul seluruh beban di atasnya. Daya dukung fondasi merujuk pada kemampuan fondasi untuk menahan tekanan atau beban maksimum yang diizinkan, berdasarkan kondisi tanah tempat fondasi tersebut ditempatkan. Parameter dan sifat fisik tanah diperoleh melalui penyelidikan geoteknik, seperti sondir (CPT), uji penetrasi standar (SPT), dan pengujian laboratorium (Santoso & Hartono, 2020).

Daya dukung fondasi tiang menggambarkan kemampuan tanah dalam menahan beban yang diberikan oleh fondasi tiang tanpa menyebabkan keruntuhan atau penurunan yang berlebihan. Aspek ini sangat penting dalam perencanaan fondasi tiang, karena memastikan bahwa bangunan yang berdiri di atasnya tetap kokoh dan stabil. Daya dukung fondasi tiang terdiri dari dua komponen utama, yaitu daya dukung ujung (*End Bearing Capacity*) dan daya dukung selimut (*Skin Friction Capacity*).

- Daya dukung ujung merujuk pada kemampuan tanah di ujung fondasi tiang untuk menahan beban yang diberikan. Daya dukung ujung ini dipengaruhi oleh jenis tanah, kedalaman tiang, serta luas penampang ujung tiang.
- Daya dukung selimut merujuk pada kemampuan tanah sepanjang sisi tiang untuk menahan beban melalui gesekan antara tiang dan tanah. Faktor yang memengaruhi daya dukung selimut ini termasuk jenis tanah, kedalaman tiang, serta luas permukaan tiang.

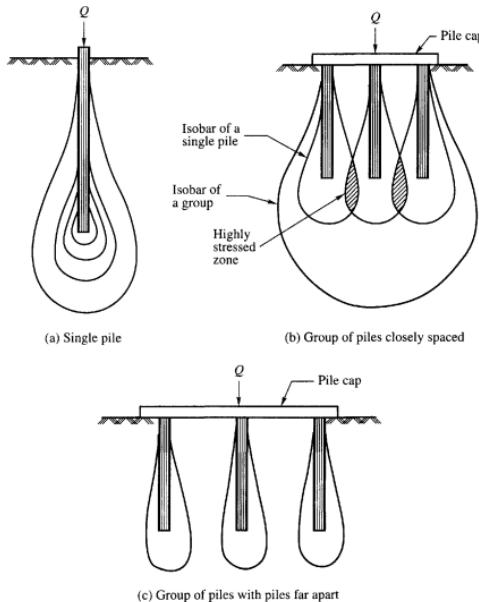
Dalam praktiknya, nilai daya dukung fondasi tiang dapat diestimasi melalui berbagai metode, baik analitis maupun empiris. Metode analitis umumnya mengaplikasikan teori mekanika tanah untuk menghitung daya dukung ujung dan selimut, sementara metode empiris lebih mengandalkan hasil pengujian lapangan, seperti uji sondir dan uji penetrasi standar (SPT). Faktor-faktor lain, seperti jenis tanah, kedalaman, diameter, dan jumlah tiang, juga turut mempengaruhi daya dukung fondasi tiang. Dalam perancangan fondasi tiang, sangat penting untuk memastikan daya dukung yang cukup untuk menahan beban bangunan dengan aman, karena kurangnya daya dukung dapat menyebabkan deformasi berlebihan atau bahkan keruntuhan struktur.

Deformasi yang dimaksud adalah perubahan bentuk atau pergeseran pada fondasi tiang akibat beban yang diterima. Deformasi pada fondasi tiang umumnya berupa penurunan vertikal akibat beban vertikal, seperti beban dari bangunan, serta pergeseran horizontal akibat beban lateral, seperti beban angin, gelombang laut, dan gempa bumi. Perubahan deformasi pada fondasi tiang harus diperhatikan dalam desain, karena hal ini memengaruhi stabilitas dan keamanan struktur bangunan. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi deformasi fondasi tiang meliputi jenis tanah, sifat tanah, metode konstruksi, dan karakteristik beban yang bekerja.

Menurut persyaratan dalam perancangan geoteknik, terdapat batasan deformasi aksial, lateral, dan penurunan yang harus dipenuhi. Persyaratan deformasi aksial adalah sebesar 25 mm. Deformasi

lateral, dalam kondisi gempa kuat, dibatasi sebesar 25 mm. Sementara itu, batasan deformasi penurunan dalam uji pembebanan ditentukan sebagai 25 mm (2,5 cm) untuk tiang dengan diameter maksimum 80 cm, dan 4% dari diameter tiang untuk tiang dengan diameter lebih dari 80 cm (SNI 8460:2017, 2017).

Berbagai faktor mempengaruhi kinerja fondasi tiang kelompok, seperti overlap dari *pressure bulb* pada tiang yang berdekatan, harga fondasi, dan efisiensi penggunaan kelompok tiang tersebut (Murthy, 2002).



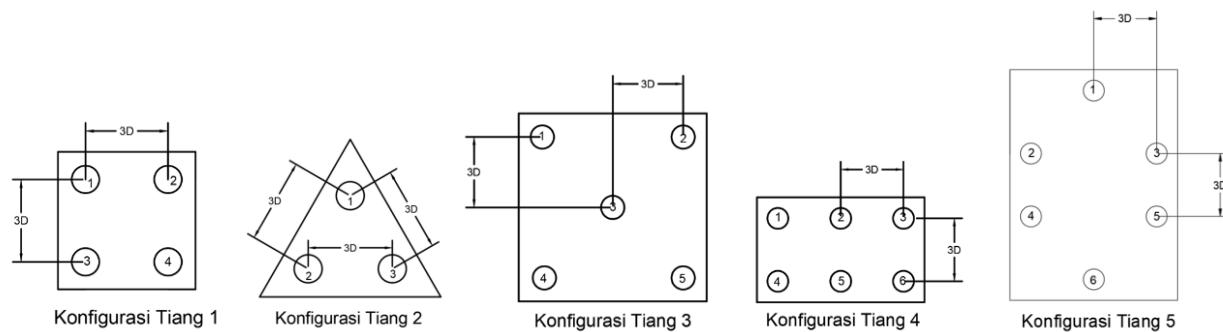
Gambar 1. *Pressure Bulb* pada fondasi tiang

- (a) *pressure bulb* pada tiang tunggal (b) *pressure bulb* pada tiang kelompok yang berdekatan
(c) *pressure bulb* pada tiang yang berjauhan

Sumber: Murthy (2002)

Kinerja fondasi tiang kelompok sangat dipengaruhi oleh formasi atau konfigurasi tiang. Konfigurasi tiang yang dimaksud adalah pengaturan posisi dan tata letak fondasi tiang dalam kelompok tersebut, yang dapat mempengaruhi distribusi beban, interaksi antar tiang, serta daya dukung dan deformasi kelompok fondasi secara keseluruhan. Konfigurasi ini mencakup aspek-aspek seperti jarak antar tiang, orientasi, serta kedalaman tiang yang berbeda-beda. Tata letak ini memainkan peran penting dalam menentukan efektivitas fondasi dalam menyalurkan beban dari struktur ke tanah. Sebagai contoh, formasi tiang yang lebih rapat dapat meningkatkan kapasitas daya dukung, tetapi juga bisa memperbesar interaksi antar tiang, yang berpotensi menambah deformasi atau menyebabkan penurunan daya dukung. Sebaliknya, konfigurasi tiang yang lebih tersebar mungkin mengurangi interaksi antar tiang, tetapi dapat mengurangi efisiensi penggunaan material dan ruang. Gambar 2 di bawah ini menggambarkan 5 jenis konfigurasi tiang dalam fondasi tiang kelompok yang dianalisis dalam penelitian ini.

Maukar et.al (2025) dalam penelitiannya menyatakan konfigurasi tiang kelompok mempengaruhi seberapa besar efisiensi tiang dan kekuatan beban yang dapat ditampung oleh kelompok tiang tersebut. Semakin besar efisiensi tiang (E_g) maka kekuatan kelompok tiang tersebut untuk dapat menahan beban lebih banyak (Q_g) maka semakin banyak pula jumlah tiang (n).



Gambar 2. konfigurasi fondasi tiang kelompok

Rumusan Masalah

Prilaku dan deformasi dari setiap tiang pada kelompok tiang akan dipengaruhi oleh konfigurasi tiang, yang akan dianalisis menggunakan metode elemen hingga melalui penggunaan program komputer.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, metodologi penelitian akan dilakukan menggunakan program komputer berbasis metode elemen hingga yang mencakup:

1. Studi Literatur

Melalui studi literatur akan dilakukan pengumpulan referensi sebagai dasar teori. Referensi dapat berupa dasar teori dan metode penggunaan program komputer berbasis metode elemen hingga.

2. Pengumpulan dan Pengolahan Data

Pengumpulan data yang dilakukan adalah menentukan data tanah yang akan digunakan yang kemudian diolah sebagai parameter input dalam program komputer.

3. Analisis/perhitungan

Analisis yang dilakukan menggunakan bantuan program komputer berbasis metode elemen hingga yang mencakup:

- Deformasi dari setiap tiang untuk setiap konfigurasi
- Prilaku dari setiap tiang yang mencakup besar gaya-gaya yang

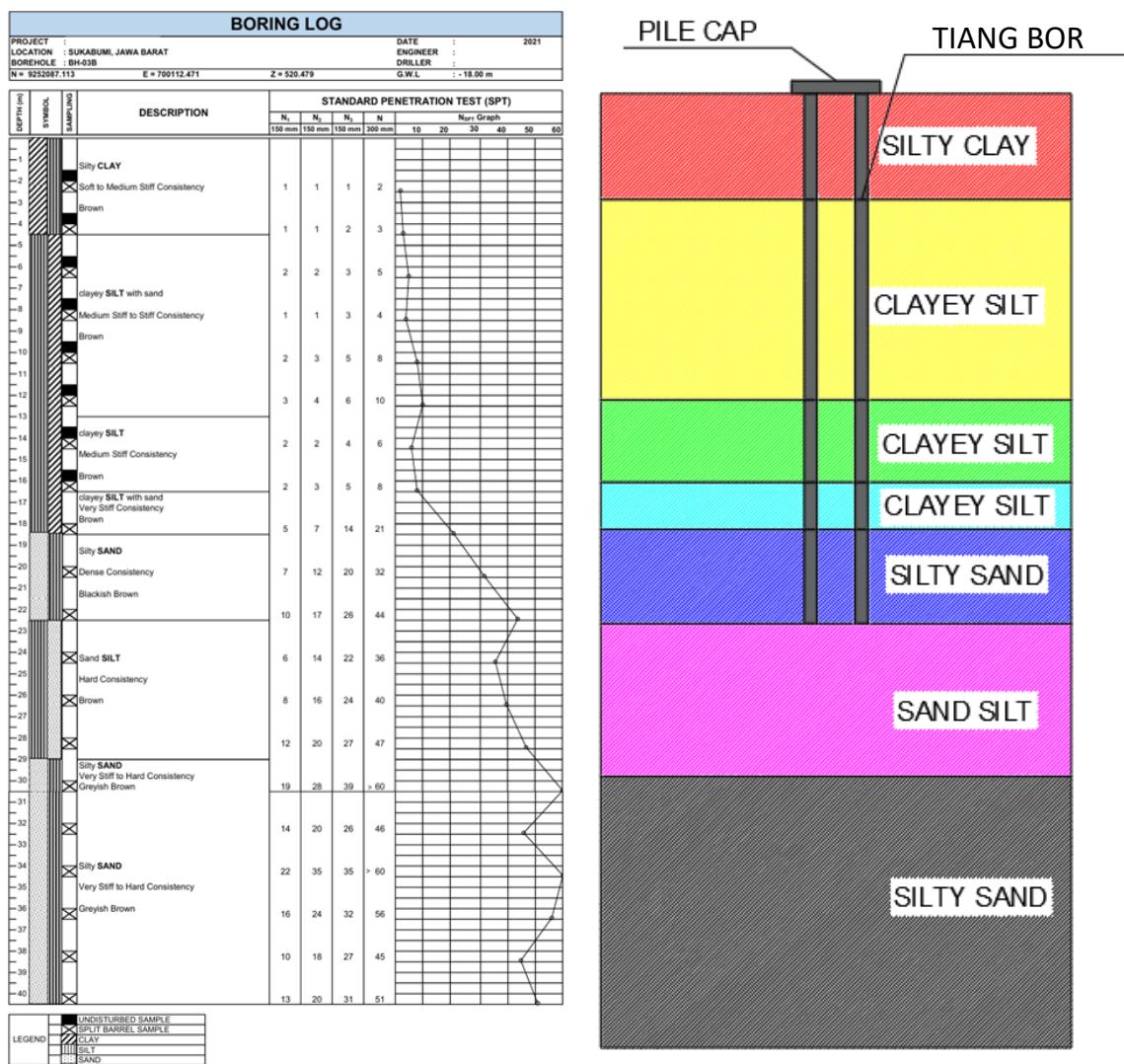
4. Analisis Hasil Penelitian dan Perumusan Kesimpulan

Pada tahap ini dilakukan analisis hasil penelitian yang dilakukan dengan melakukan perbandingan dengan konfigurasi tiang lainnya hingga menarik kesimpulan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Untuk keperluan analisis, diperlukan data-data seperti kondisi tanah dasar, beban rencana serta konfigurasi tiang yang mencakup jumlah tiang, diameter tiang dan tata letak tiang. Data tanah yang akan digunakan sebagai acuan adalah hasil uji lapangan di daerah Sukabumi seperti ditunjukkan pada gambar 3 dan tabel 1 berikut ini.

Sedangkan untuk parameter tanah yang digunakan dalam analisis diperoleh dari hasil korelasi nilai N-SPT dengan mempertimbangkan berbagai faktor termasuk jenis tanah dan posisi muka air tanah.



Gambar 3. Borelog dan stratifikasi tanah
 Sumber Gambar: proyek (2021)

Tabel 1. Resume parameter tanah

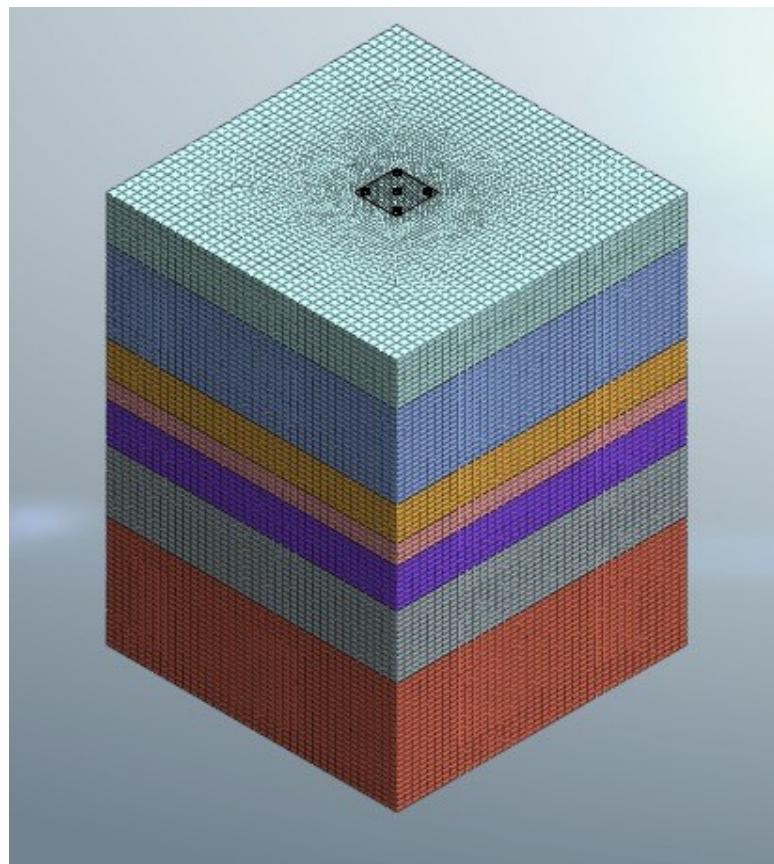
Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Nilai N-SPT	Berat volume total (kN/m ³)	Kohesi efektif (kN/m ²)	Sudut geser dalam efektif (°)	Modulus Elastisitas (kN/m ²)
0,0 – 4,5	Lempung berlanau	2 – 3	16	5	25	500
4,5 – 13,0	Lanau berlempung	4 – 10	17	17	30	2800
13,0 – 16,5	Lanau berlempung	6 – 8	17	15	30	2450
16,5 – 18,5	Lanau berlempung	21	18	35	30	9000
18,5 – 22,5	Pasir berlanau	32 – 44	21	10	35	40000
22,5 – 29,0	Lanau berpasir	36 – 47	21	15	30	44000
29,0 – 40,0	Pasir berlanau	>45	22	12	35	50000

Mengacu pada hasil uji tanah yang menunjukkan posisi tanah keras berada di kedalaman 22,5 m sehingga panjang fondasi tiang yang akan digunakan adalah 22,5 m, sedangkan diameter yang digunakan berdasarkan pada luas penampang tiang total untuk setiap konfigurasi adalah sama dengan diameter acuan adalah diameter tiang pada tiang kelompok yang berjumlah empat yaitu sebesar 60 cm seperti yang ditunjukkan pada tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Ukuran tiang untuk setiap konfigurasi

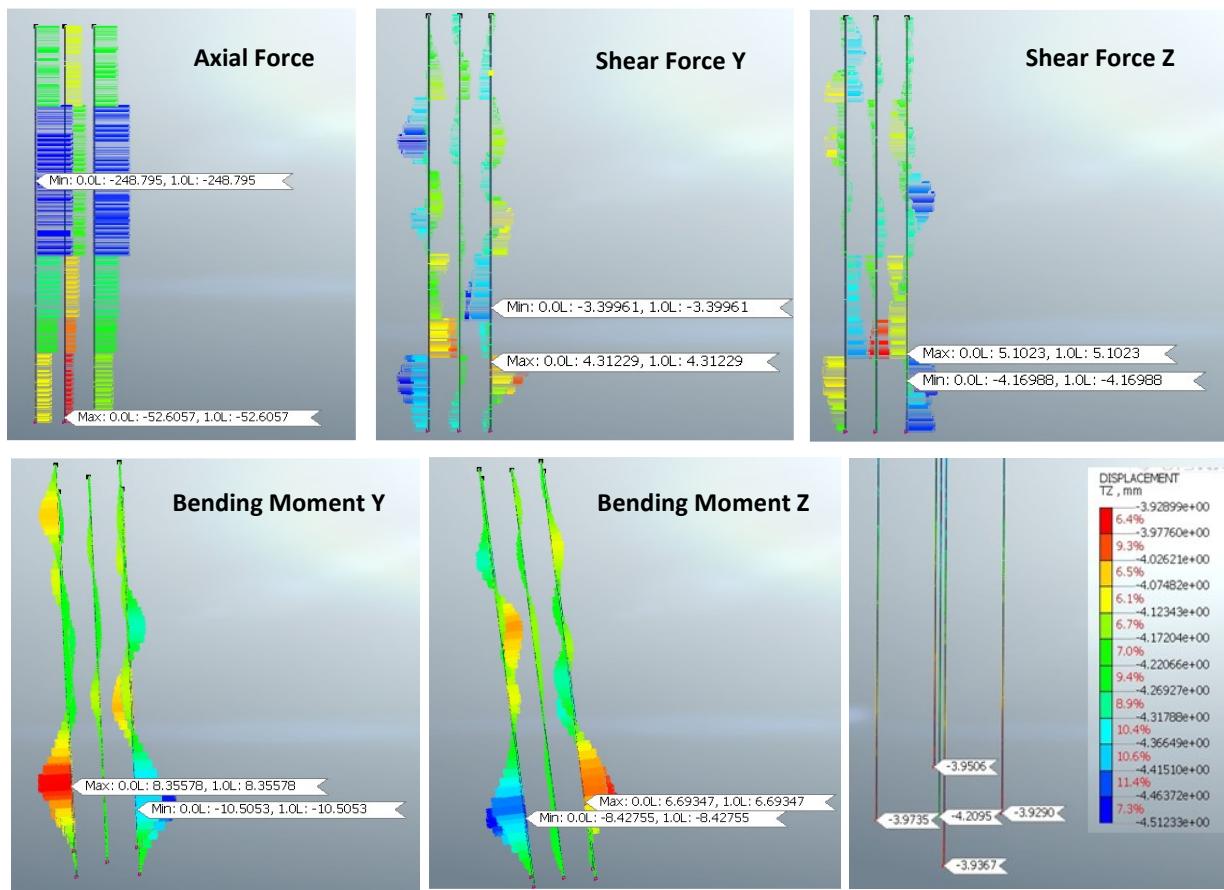
Jenis konfigurasi	Jumlah tiang	Ukuran tiang (cm)	Jarak antar tiang (cm)
Konfigurasi 1	4	60	180
Konfigurasi 2	3	69	207
Konfigurasi 3	5	54	162
Konfigurasi 4	6	49	147
Konfigurasi 5	6	49	147

Besar beban kerja yang diterapkan yaitu sebesar 2375 kN yang didapat dari hasil analisis gedung bertingkat. Analisis menggunakan program komputer berbasis metode elemen hingga dimulai dari geometri seperti terlihat pada gambar 4 berikut ini.



Gambar 4. Bentuk pemodelan di program komputer

Hasil analisis berupa *displacement* dan gaya-gaya yang timbul pada tiang bor seperti ditunjukkan pada gambar 5, tabel 3 dan tabel 4 berikut ini.



Gambar 5. Hasil *output* program komputer untuk tiang kelompok konfigurasi 3

Tabel 3. Besar *displacement* setiap tiang untuk berbagai konfigurasi tiang kelompok

Konfigurasi	Jumlah tiang	Ukuran Tiang (cm)	Displacement (mm)						Rata-rata
			Tiang 1	Tiang 2	Tiang 3	Tiang 4	Tiang 5	Tiang 6	
Konfigurasi 1	4	60	5,12	5,07	4,95	4,78	-	-	4,98
Konfigurasi 2	3	69	5,87	5,88	5,91	-	-	-	5,89
Konfigurasi 3	5	54	3,95	3,93	4,22	3,97	3,93	-	4,00
Konfigurasi 4	6	49	4,99	5,03	4,98	5,01	5,05	5,01	5,01
Konfigurasi 5	6	49	4,04	4,32	4,25	4,30	4,25	4,06	4,20

Berdasarkan hasil analisis *displacement* setiap tiang untuk 5 konfigurasi seperti yang ditunjukkan pada tabel 3 maka dapat diresumekan sebagai berikut:

- Konfigurasi 1

Konfigurasi ini menunjukkan *displacement* yang relatif moderat. Nilai-nilai tiap tiang cukup konsisten dengan variasi kecil antar tiang (kisaran 4,78 – 5,12 mm), mencerminkan kestabilan sistem fondasi dengan ukuran tiang besar dan jumlah yang tidak terlalu banyak.

- Konfigurasi 2
konfigurasi dengan *displacement* tertinggi di antara seluruh kelompok. Meskipun menggunakan tiang berdiameter terbesar (69 cm), jumlah tiang yang lebih sedikit (3 buah) tampaknya memberikan kapasitas penahan beban yang kurang merata, sehingga meningkatkan perpindahan vertikal.
- Konfigurasi 3
Konfigurasi ini memiliki *displacement* rata-rata paling kecil. Kombinasi jumlah tiang yang relatif banyak (5 buah) dan ukuran tiang sedang (54 cm) menghasilkan distribusi beban yang efektif dan kestabilan yang sangat baik.
- Konfigurasi 4
Meskipun jumlah tiangnya paling banyak, ukuran tiang yang lebih kecil (49 cm) tampaknya mempengaruhi daya dukungnya. *Displacement* masih tergolong sedang, menunjukkan bahwa peningkatan jumlah tiang bisa menyeimbangkan pengurangan ukuran.
- Konfigurasi 5
Dibandingkan konfigurasi 4 yang memiliki spesifikasi serupa, konfigurasi ini menunjukkan *displacement* yang lebih kecil. Hal ini bisa disebabkan oleh susunan geometri tiang atau kondisi tanah yang lebih baik. Kinerja sistem fondasi ini cukup baik dalam menahan beban.

Kesimpulan umum yang dapat diambil terkait dengan *displacement* untuk berbagai konfigurasi ini adalah:

- *Displacement* terendah terjadi pada konfigurasi 3, menandakan efisiensi dari kombinasi jumlah tiang sedang dan ukuran tiang menengah.
- *Displacement* tertinggi terjadi pada konfigurasi 2, mengindikasikan bahwa jumlah tiang yang terlalu sedikit walaupun ukurannya besar tidak cukup efektif.
- Secara umum, peningkatan jumlah tiang tampak lebih efektif dalam mengurangi *displacement* dibanding hanya memperbesar ukuran tiang.

Tabel 4. Gaya dan momen maksimum untuk berbagai konfigurasi tiang kelompok

Konfigurasi	Jumlah tiang	Ukuran Tiang (cm)	Gaya dan momen maksimum				
			Axial Force (kN)	Shear Force Y (kN)	Shear force Z (kN)	Bending Moment Y (kN.m)	Bending Moment Z (kN.m)
Konfigurasi 1	4	60	126,40	20,52	21,30	19,39	19,09
Konfigurasi 2	3	69	97,06	13,14	12,05	20,52	15,05
Konfigurasi 3	5	54	248,80	4,31	5,10	10,51	8,43
Konfigurasi 4	6	49	40,59	7,20	6,75	6,34	8,33
Konfigurasi 5	6	49	127,48	13,81	16,53	21,16	18,19

Resume yang dapat diambil untuk setiap konfigurasi terhadap besar gaya dan momen untuk setiap konfigurasi adalah gaya aksial terbesar yang akan diterima tiang adalah pada konfigurasi 5 namun dengan gaya geser yang terendah, sedangkan konfigurasi 4 mengindikasikan konfigurasi yang

paling ideal untuk diterapkan yang ditunjukkan dengan nilai gaya dan momen yang relatif kecil dibanding konfigurasi yang lain.

4. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dan saran yang dapat diambil dari hasil analisis ini adalah:

Kesimpulan dari hasil analisis yang telah dilakukan adalah:

- Pengaruh konfigurasi tiang terhadap *displacement* vertikal tiang lebih efektif dilakukan dengan cara menambah jumlah tiang dengan diameter yang diperkecil.
- Gaya aksial terbesar yang akan diterima tiang adalah pada konfigurasi 5 namun dengan gaya geser yang terendah, sedangkan konfigurasi 4 menghasilkan gaya dan momen yang relatif lebih kecil dibanding konfigurasi lain.
- Konfigurasi tiang mempengaruhi kinerja struktur secara signifikan, baik dari sisi *displacement* maupun gaya/momen. Konfigurasi 4 adalah opsi paling stabil dan efisien walaupun *displacement* yang terjadi cukup besar namun masih memenuhi persyaratan, sedangkan konfigurasi 2 dan 5 gaya dan momen yang harus dipikul relatif tinggi meskipun *displacement*-nya tidak ekstrem.

Sedangkan saran untuk keberlanjutan penelitian ini adalah perlu dilakukan analisis lebih lanjut terkait:

- Pengaruh konfigurasi tiang pada daya dukung tiang kelompok.
- Variasi diameter tiang menggunakan pendekatan jumlah luas selimut tiang kelompok tiang yang sama.

Ucapan Terima Kasih (*Acknowledgement*)

Terima kasih kepada LPPM Untar yang telah memberikan pendanaan pada kegiatan penelitian ini, sehingga dapat diselesaikan.

REFERENSI

- Das, B. M. (2017). Principles of Foundation Engineering, 9th Edition, SI Edition by Braja M. Das Nagaratnam Sivakugan (z-lib.org).
- Hanafiah, Jaya Zairipan, & Reza Muhammad. (2019). Rekayasa Fondasi untuk Program Vokasi.
- Hasibuan, M. H. M., Sarifah, J., & Irawan, F. (2022). Analisa Konfigurasi Kelompok Tiang Pancang Terhadap Daya Dukung Dan Efisiensi Tiang Pada Pembangunan Rumah Susun Tanjung Balai. JTSIP, 1(2). <https://jurnal.uisu.ac.id/index.php/JTSIP>
- Kurniawan, R., Sitepu, A. R. H., & Syuhada, S. (2020). Studi Numerik Pengaruh Jarak Dan Konfigurasi Kelompok Tiang Terhadap Daya Dukung Aksial Tekan Fondasi Dalam. FROPIL (Forum Profesional Teknik Sipil), 8(1), 25–35. <https://doi.org/10.33019/fropil.v8i1.1720>
- Lamansari, F. S., Balamba, S., & Manaroinsong, L. D. K. (2019). Analisis Pengaruh Jarak Dan Konfigurasi Tiang Pada Tanah Lempung Terhadap Defleksi Tiang Pancang Kelompok Akibat Beban Lateral. Jurnal Sipil Statik, 7(11), 1557–1568.
- Maukar, A., Abraham Kalalimbong, & Mansye Ronal Ayal. (2025). Analisis Penggunaan Konfigurasi Tiang Pada Kelompok Tiang Bor Jembatan Wai Poka- Kota Ambon. Jurnal TESLINK: Teknik Sipil Dan Lingkungan, 7(1), 215-224. <https://doi.org/10.52005/teslink.v7i1.406>

- Meisari, Y. & Yakin, Y.A. (2017). Analisis Daya Dukung Fondasi Kelompok Tiang pada Tanah Lempung Cimencrang, Reka Racana Jurnal Online Institut Teknologi Nasional Desember 2017 No.4 Vol. 3
- Murthy, V. N. S. (2002). Geotechnical Engineering: Principles and Practices of soil mechanics and Foundation Engineering.
- Santoso, H. T., & Hartono, J. (2020). Analisis Perbandingan Daya Dukung Pondasi Tiang Pancang Berdasar Hasil Uji Spt Dan Pengujian Dinamis. Jurnal Riset Rekayasa Sipil, 4(1), 30. <https://doi.org/10.20961/jrrs.v4i1.44635>