

Distribusi Kapasitas Beban Lateral Fondasi Tiang Kelompok Pada Proyek Ikea Store-3 Kota Baru Parahyangan Bandung Barat

SRI PRANA SARI SIMANJORANG¹, INDRA NOER HAMDHAN¹

1. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Nasional
Email: sripranasarii@gmail.com

ABSTRAK

Pada tahun 2019, IKEA membangun toko ketiga yang berlokasi di Kota Baru Parahyangan, Padalarang, Bandung Barat, Jawa Barat seluas 1.250 ha. Fondasi pada struktur bawah dalam konstruksi ini menggunakan tiang pancang *precast*. Penelitian ini memodelkan suatu tiang tunggal dan tiang kelompok konfigurasi 2×2, 3×3, 4×4 dengan jarak antar tiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D (D= diameter tiang) yang diberi beban lateral. Perbedaan nilai hasil deformasi lateral lapangan dan di PLAXIS 3D, saat beban 60 kN sebesar 0,831 mm, sedangkan saat beban 120 kN sebesar 0,005 mm. Berdasarkan hasil PLAXIS 3D diperoleh daya dukung lateral tiang tunggal sebesar 798,581 kN. Perhitungan daya dukung lateral kelompok tiang pada tiang diperlukan nilai faktor efisiensi. Hubungan nilai faktor efisiensi terhadap jarak antar tiang yaitu semakin banyak tiang dalam satu *pilecap*, maka nilai faktor efisiensi semakin kecil. Hubungan nilai faktor efisiensi terhadap jarak antar tiang yaitu semakin besar jarak antar tiang dalam satu *pilecap*, maka nilai faktor efisiensi kelompok tiang semakin besar.

Kata Kunci: Fondasi tiang pancang *precast*, deformasi lateral, faktor efisiensi, daya dukung lateral, PLAXIS 3D.

ABSTRACT

In 2019, IKEA built a third store located in Kota Baru Parahyangan, Padalarang, West Bandung, West Java covering an area of 1,250 ha. The foundation on the lower structure in this construction uses precast piles. This study modeled a single pile and group pile with a 2 × 2, 3 × 3, 4 × 4 configuration group with a distance between the piles of 2.5D, 3D, 4D and 5D (D = diameter of the pile) which were given lateral loads. The difference in the value of lateral deformation results in the field and in PLAXIS 3D, when the load is 60 kN is 0.831 mm, while when the load is 120 kN it is 0.005 mm. Based on the PLAXIS 3D results, the lateral bearing capacity of a single pile is 798.581 kN. The calculation of the bearing capacity of lateral the pile group on the pile requires the efficiency factor value. The relationship between the value of the efficiency factor to the distance between the piles is that the more piles in one pilecap, the smaller the value of the efficiency factor. The relationship between the value of the efficiency factor to the distance between the piles is that the greater the distance between the piles in one pilecap, the greater the value of the pile group efficiency factor.

Keywords: *precast pile foundation, lateral deformation, efficiency factor, lateral bearing capacity, PLAXIS 3D.*

1. PENDAHULUAN

Seiring dengan meningkatnya kebutuhan *furniture* dan perabotan rumah tangga dari berbagai kalangan masyarakat untuk kebutuhan di rumah, gedung-gedung, rumah sakit, kantor, dll. Oleh karena itu, banyak pusat perbelanjaan ataupun perusahaan ritel yang menjual *furniture* dan perabotan rumah tangga. Salah satu pusat perbelanjaan tersebut yaitu IKEA, yang menjual segala *furniture* dan perabotan rumah tangga yang berasal dari Swedia. Pada tahun 2019 IKEA membangun gerai ketiga berlokasi di Kota Baru Parahyangan Padalarang, Bandung Barat, Jawa Barat seluas 1.250 ha yang ditunjukkan pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Lokasi Proyek.
(Sumber: *Google Earth*, 2019).

Pekerjaan konstruksi IKEA Store-3 Bandung dimulai dari struktur bawah, salah satu struktur bawah yaitu fondasi. IKEA Store-3 Bandung menggunakan fondasi tiang pancang *precast*. Fondasi tiang pancang *precast* merupakan fondasi tiang yang dibuat terlebih dahulu di pabrik sebelum dimasukkan ke dalam tanah hingga mencapai kedalaman tertentu.

Penelitian ini memodelkan suatu tiang tunggal dan tiang kelompok yang diberi beban lateral dengan menggunakan PLAXIS 3D. Pemodelan tiang tunggal bertujuan untuk memperoleh parameter tanah yang akan digunakan dalam pemodelan tiang kelompok, dengan cara melakukan pendekatan antara hasil *output* berupa deformasi lateral di PLAXIS 3D dan pengujian tiang di lapangan berupa *Loading Test Lateral*. Setelah diperoleh parameter tanah, maka dapat melakukan pemodelan tiang kelompok yang telah ditentukan dengan konfigurasi 2×2, 3×3, 4×4 dengan jarak antar tiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D (D= diameter tiang). Pada penelitian ini perhitungan kapasitas lateral dari suatu tiang kelompok berdasarkan saat beban terdeformasi 25 mm. Dalam perhitungan kapasitas lateral kelompok tiang tidak hanya dengan meninjau daya dukung satu tiang yang berdiri sendiri dikalikan dengan banyaknya tiang dalam kelompok tiang tersebut. Sebab daya dukung kelompok tiang belum tentu sama dengan daya dukung satu tiang dikalikan dengan jumlah tiang dalam satu *pilecap*. Oleh sebab itu, tujuan dalam penelitian ini untuk mengetahui nilai kapasitas lateral tiang tunggal dan kelompok tiang dengan berbagai variasi jarak. Kemudian diperoleh nilai faktor efisiensi dari suatu kelompok tiang dengan konfigurasi 2×2, 3×3, 4×4 dengan jarak antar tiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D (D= diameter tiang).

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Tanah

Menurut (Budi Santoso, 1996) tanah berguna sebagai bahan bangunan pada berbagai macam pekerjaan teknik sipil, di samping itu tanah selalu mempunyai peranan yang paling penting pada suatu lokasi pekerjaan konstruksi yang berfungsi sebagai pendukung fondasi dari bangunan.

2.2 Definisi Fondasi Tiang Pancang

Secara umum, fondasi tiang adalah elemen struktur yang berfungsi meneruskan beban kepada tanah, baik beban dalam arah vertikal maupun horizontal. Pemakaian fondasi tiang pada suatu bangunan, digunakan apabila tanah dasar dibawah bangunan tersebut tidak mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya, atau apabila tanah keras yang mempunyai daya dukung yang cukup untuk memikul berat bangunan dan bebannya tetapi letaknya sangat dalam. (Sardjono HS).

2.3. Pengujian Beban Lateral

Pengujian lateral tiang adalah pengujian dengan memberikan beban searah tegak lurus tiang (beban horizontal) sesuai dengan beban lateral rencana untuk mengukur pergerakan yang terjadi pada tiang akibat beban lateral tersebut (McNulty, 1956). Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik, batasan pergeseran di kepala tiang saat pelaksanaan uji (kondisi *free-head*) 10 mm pada beban 100% beban rencana dan 25 mm pada beban 200% beban rencana.

2.4 Faktor Efisiensi

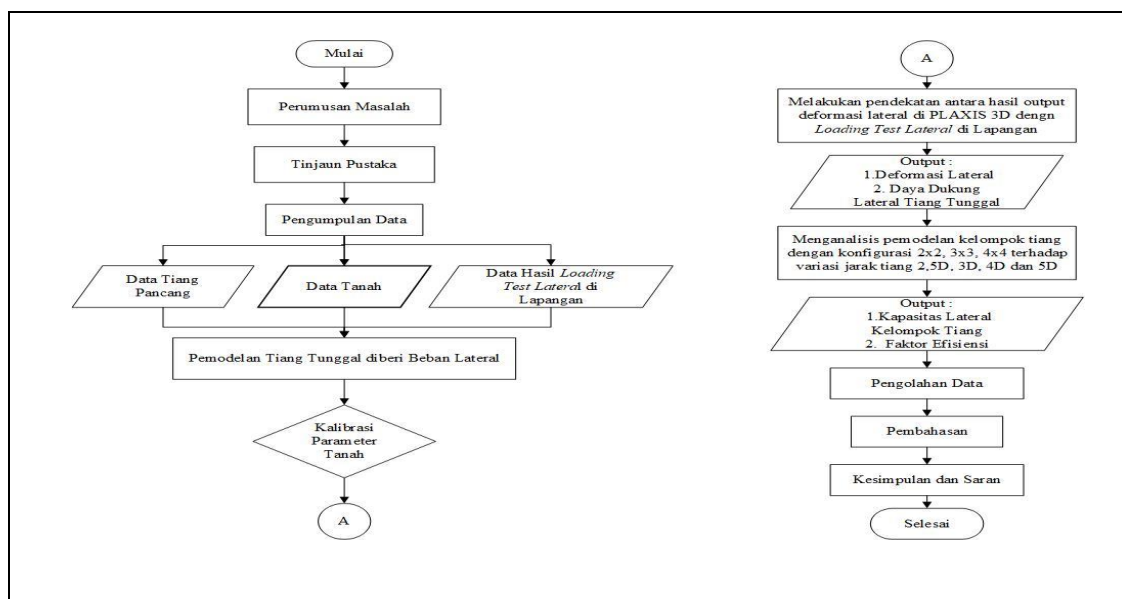
Efisiensi tiang (E_g) adalah nilai pengali terhadap kapasitas dukung ultimit tiang tunggal dengan memperhatikan pengaruh kelompok tiang (Hardiyatmo, 2015). Dalam perhitungan efisiensi kelompok tiang pada penelitian ini, menggunakan rumus perhitungan efisiensi dengan Persamaan 1.

$$E_g = \frac{\text{Daya dukung kelompok tiang}}{\text{jumlah tiang} \times \text{daya dukung tiang tunggal}} \quad \dots(1)$$

3. METODE PENELITIAN

3.1. Bagan Alir Penelitian

Penelitian ini terdiri dari beberapa kegiatan yang ditunjukkan pada bagan alir penelitian seperti pada **Gambar 3**



Gambar 3. Bagan alir penelitian.

3.2. Grafik Hubungan Antara Beban dan Penurunan

Hasil akhir yang diperoleh menggunakan PLAXIS 3D yaitu berupa grafik antara beban pada sumbu-y dan penurunan pada sumbu-x dari setiap pemodelan yang dilakukan. Tujuannya untuk mengetahui nilai besarnya kapasitas beban lateral dari suatu tiang tunggal dan tiang kelompok. Kemudian diperoleh nilai faktor efisiensi berdasarkan rumus yang telah ditentukan.

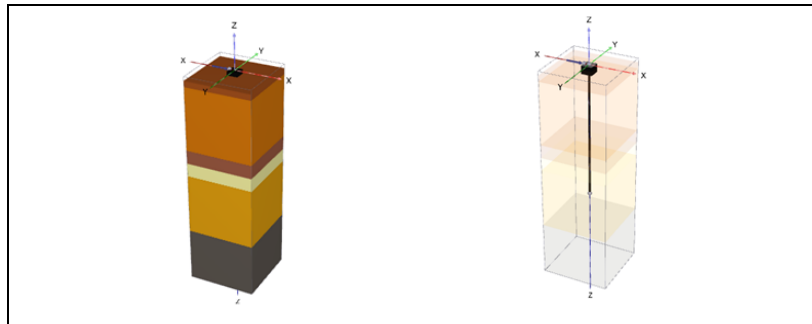
3.5. Pembahasan

Pada tahap ini membahas tentang hasil *output* dari pemodelan dengan menggunakan *software* PLAXIS 3D. Lingkup yang akan dibahas yaitu, mengenai besarnya kapasitas beban lateral saat terdeformasi 25 mm pada tiang tunggal dan tiang kelompok dengan konfigurasi 2×2 , 3×3 , 4×4 dengan jarak antar tiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D (D= diameter tiang) dengan cara melihat grafik antara sumbu x penurunan dan sumbu-y beban. Kemudian diperoleh nilai faktor efisiensi dengan menggunakan rumus yang telah ditentukan pada Persamaan 1.

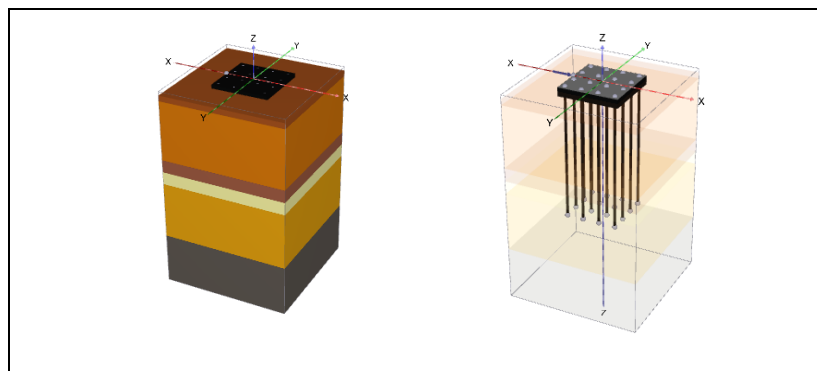
4. PENGOLAHAN DAN ANALISIS DATA

4.1 Pemodelan Geometri Tiang Tunggal dan Tiang Kelompok

Beban yang digunakan pada pemodelan tiang tunggal yaitu sesuai dengan pengujian beban lateral yang dilakukan oleh kontraktor fondasi seperti *Lateral Loading Test* yaitu sebesar 60 kN dan 120 kN. Sedangkan pada pemodelan tiang kelompok dengan konfigurasi 2×2 , 3×3 , 4×4 dengan jarak antar tiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D (D= diameter tiang) menggunakan beban *trial and error* untuk mendapatkan kapasitas beban lateral saat terdeformasi 25 mm. Pemodelan geometri dengan PLAXIS 3D dapat dilihat pada **Gambar 4.** merupakan pemodelan geometri fondasi tiang tunggal, sedangkan **Gambar 5.** merupakan pemodelan geometri kelompok tiang 4×4 dengan jarak 5D



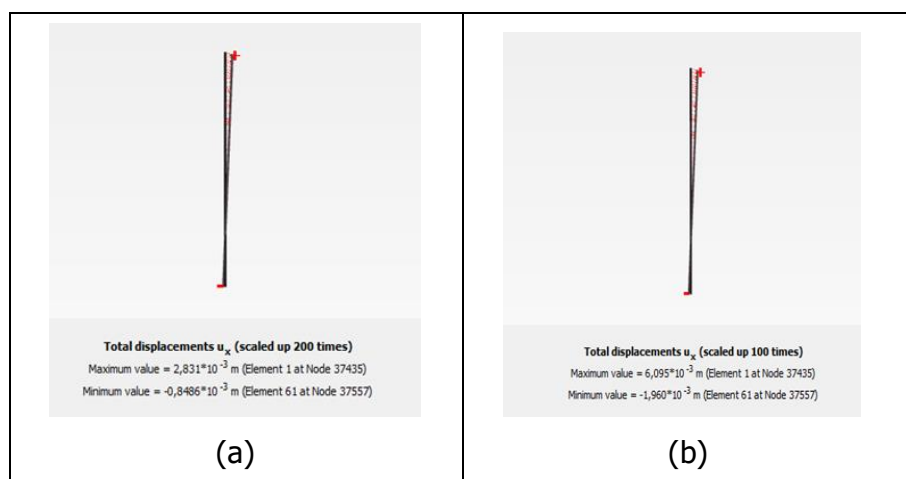
Gambar 4. Pemodelan geometri fondasi tiang tunggal.



Gambar 5. Pemodelan geometri fondasi tiang kelompok konfigurasi jarak 5D.

4.2. Hasil *output* pada pemodelan tiang tunggal

Hasil *output* pada pemodelan tiang tunggal berupa *total displacement* (u_x) dan daya dukung lateral. Hasil *total displacement* (u_x) di PLAXIS 3D harus mendekati dengan hasil *loading test lateral* Tiang 478 untuk mendapatkan parameter tanah yang akan digunakan dalam pemodelan tiang kelompok (*group pile*). Berikut hasil deformasi lateral saat beban 60 kN pada **Gambar 6.** dan hasil deformasi lateral saat beban 120 kN pada **Gambar 7.** Hasil perbedaan deformasi lateral antara *loading test lateral*/Tiang 478 di lapangan dan pemodelan tiang tunggal di PLAXIS 3D pada dapat dilihat pada **Tabel 1.**



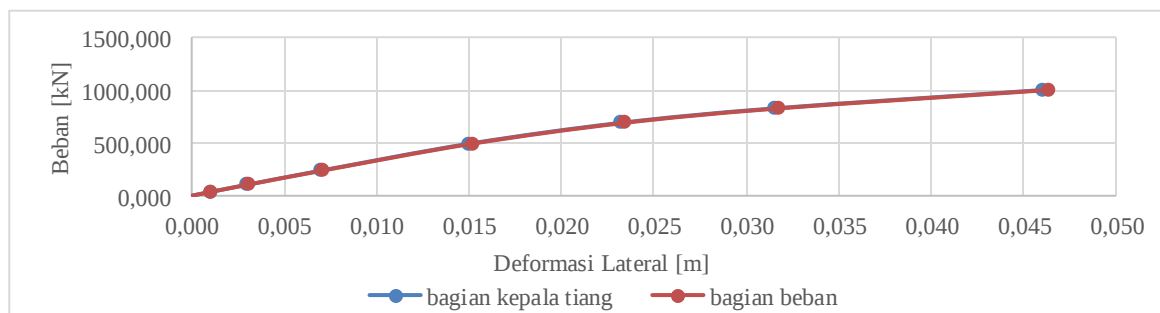
Gambar 6. (a) Deformasi Lateral ketika beban 60 kN di PLAXIS 3D, (b) Deformasi Lateral ketika beban 120 kN di PLAXIS 3D.

Tabel 1. Perbedaan hasil deformasi

Deformasi Lateral			
Beban [kn]	Loading Test Lateral T 478 di Lapangan [mm]	Pemodelan Single Pile di Plaxis [mm]	Perbedaan [mm]
60	2	2,831	0,831
120	6,09	6,095	0,005

4.2 Daya Dukung Tiang Tunggal

Daya dukung lateral tiang adalah beban saat tiang terdeformasi horizontal sebesar 25 mm di bagian kepala tiang. Dapat dilihat bahwa **Gambar 7.** merupakan grafik hubungan antara penurunan dengan beban pada pemodelan tiang tunggal menggunakan PLAXIS 3D, dimana hasil daya dukung lateral tiang tunggal tersebut sebesar 798,581 kN.



Gambar 7. Daya dukung tiang tunggal.

4.3. Hasil Analisis Kapasitas Lateral Kelompok Tiang

Berikut hasil analisis kapasitas beban lateral kelompok tiang konfigurasi 2×2 , 3×3 , 4×4 dengan jarak 2,5D, 3D, 4D, dan 5D yang telah diperoleh dari program PLAXIS 3D.

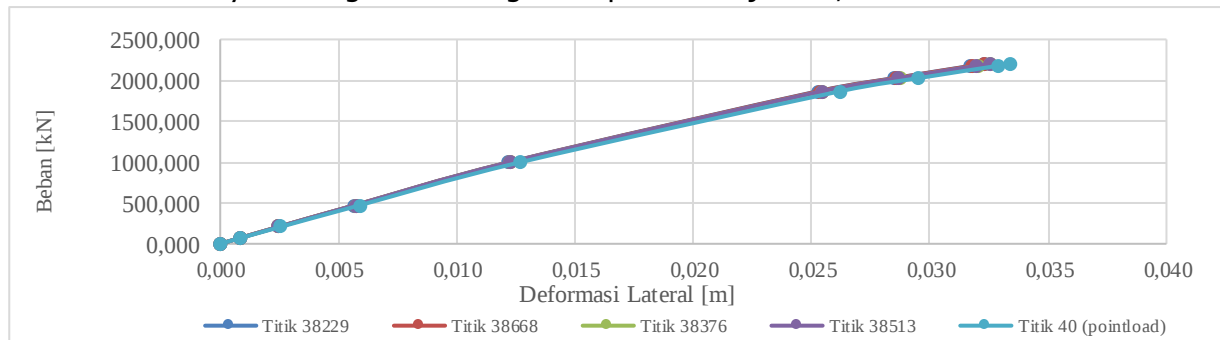
4.3.1. Daya Dukung Lateral Beban Lateral Tiang Kelompok 2×2

Berikut besarnya nilai daya dukung lateral kelompok tiang 2×2 terhadap jarak antartiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D.

1. Jarak antar tiang 2,5D

Melalui pemodelan tiang kelompok 2×2 terhadap jarak antartiang 2,5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 1853,170 kN.

Gambar 8. merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 2×2 jarak 2,5D saat terdeformasi 25 mm.

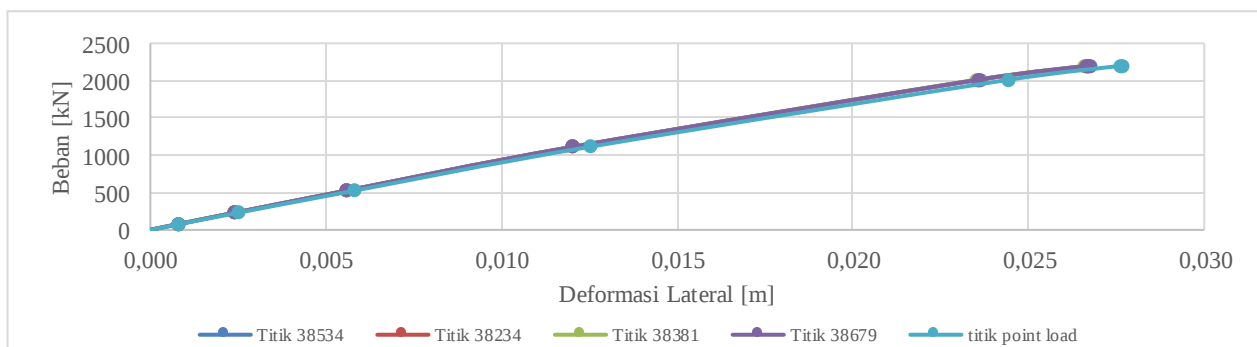


Gambar 8. Daya dukung kelompok tiang 2×2 terhadap jarak 2,5D.

2. Jarak antar tiang 3D

Melalui pemodelan tiang kelompok 2×2 terhadap jarak antartiang 3D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 2017,52 kN.

Gambar 9. merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 2×2 jarak 3D saat terdeformasi 25 mm.

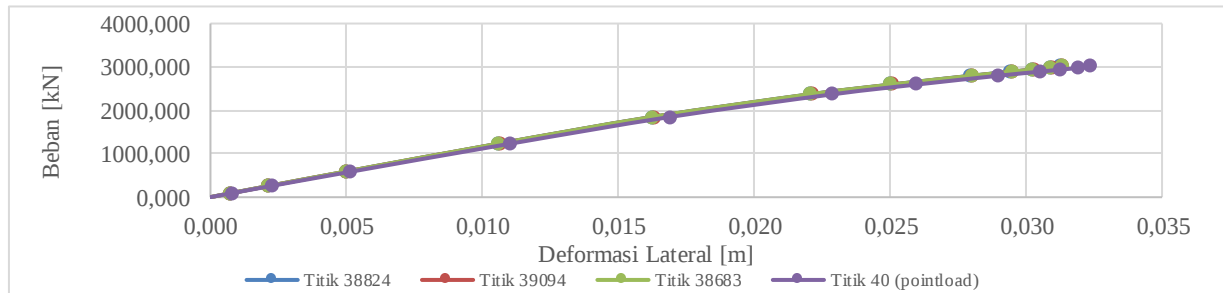


Gambar 9. Daya dukung kelompok tiang 2×2 terhadap jarak 3D.

3. Jarak antar tiang 4D

Melalui pemodelan tiang kelompok 2×2 terhadap jarak antartiang 4D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral sebesar 2574,180 kN. **Gambar 910.**

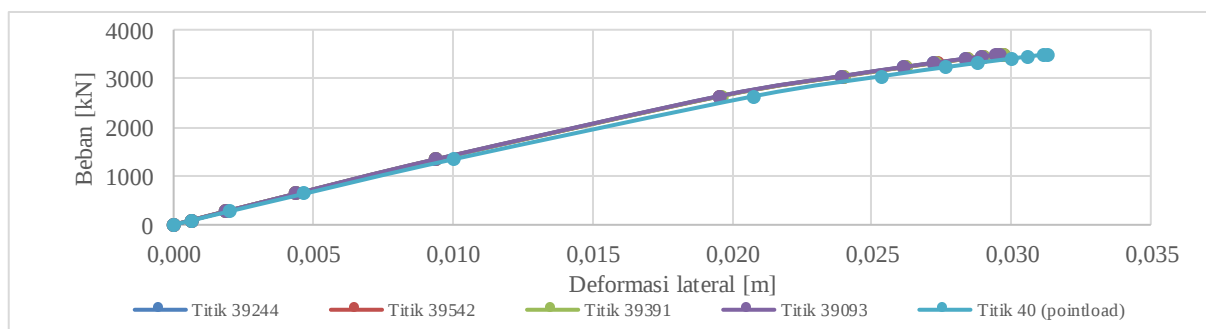
merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 2×2 jarak 4D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 10. Daya dukung kelompok tiang 2×2 terhadap jarak 4D.

4. Jarak antar tiang 5D

Melalui pemodelan tiang kelompok 2×2 terhadap jarak 5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 3123,374 kN. **Gambar 11.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 2×2 jarak 5D saat terdeformasi 25 mm.



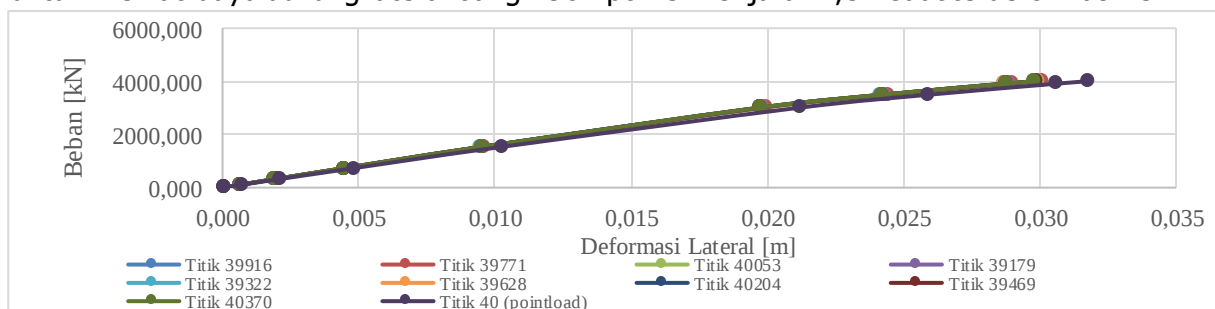
Gambar 11. Daya dukung kelompok tiang 2×2 terhadap jarak 5D.

4.3.2. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok 3×3

Berikut besarnya nilai daya dukung lateral kelompok tiang 3×3 terhadap jarak antartiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D.

1. Jarak antar tiang 2,5D

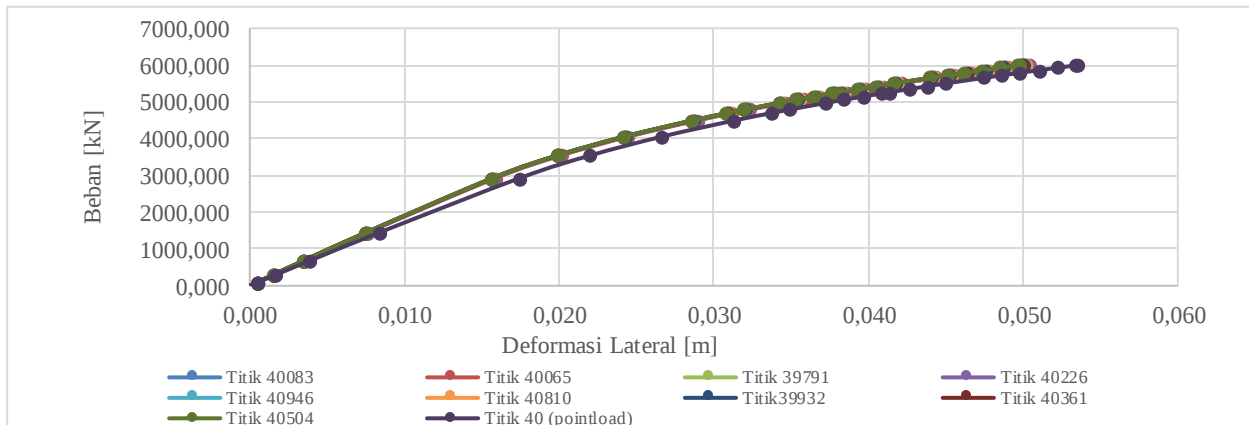
Melalui pemodelan tiang kelompok 3×3 terhadap jarak antartiang 2,5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 3556,205 kN. **Gambar 12.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 3×3 jarak 2,5D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 12. Daya dukung kelompok tiang 3×3 terhadap jarak 2,5D.

2. Jarak antar tiang 3D

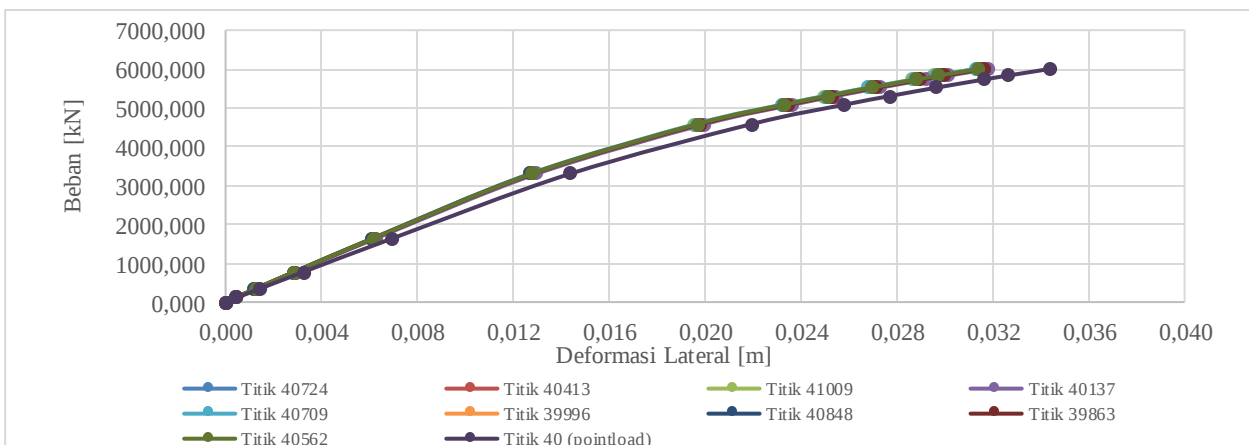
Melalui pemodelan tiang kelompok 3×3 terhadap jarak antartiang 3D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 4106,297 kN. **Gambar 13.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 3×3 jarak 3D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 13. Daya dukung kelompok tiang 3×3 terhadap jarak 3D.

3. Jarak antar tiang 4D

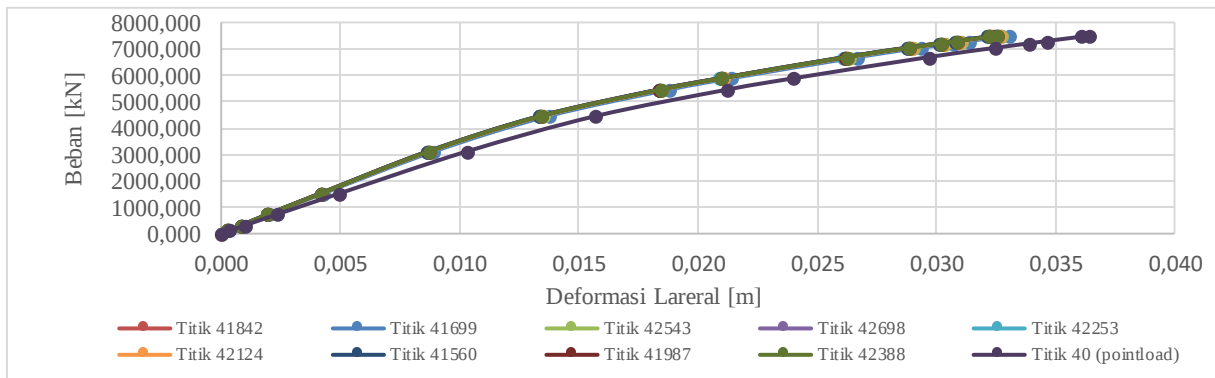
Melalui pemodelan tiang kelompok 3×3 terhadap jarak antartiang 4D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 5368,863 kN. **Gambar 14.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 3×3 jarak 4D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 14. Daya dukung kelompok tiang 3×3 terhadap jarak 4D.

4. Jarak antar tiang 5D

Melalui pemodelan tiang kelompok 3×3 terhadap jarak antartiang 5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 6474,803 kN. **Gambar 15.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 3×3 jarak 5D saat terdeformasi 25 mm



Gambar 15. Daya dukung kelompok tiang 3×3 terhadap jarak 5D.

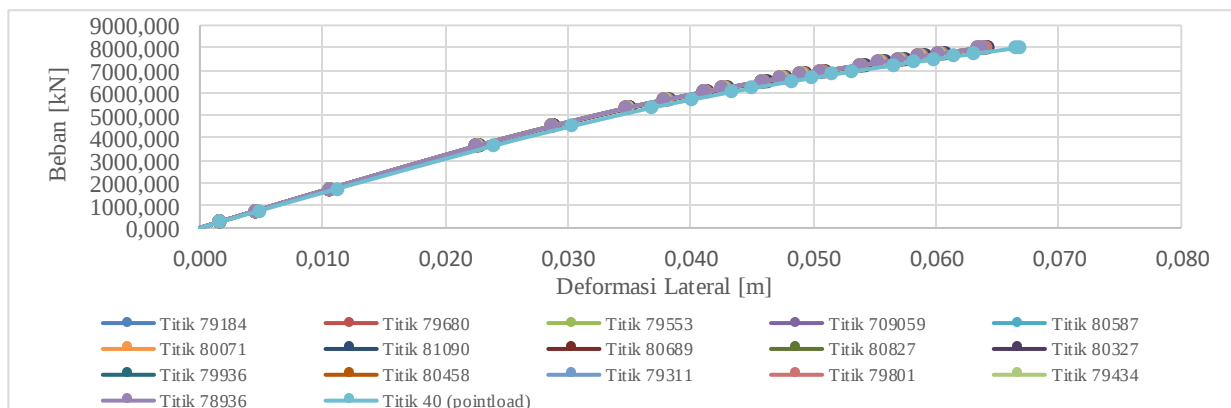
4.3.3. Daya Dukung Lateral Tiang Kelompok 4×4

Berikut besarnya nilai daya dukung lateral kelompok tiang 4×4 terhadap jarak antartiang 2,5D, 3D, 4D dan 5D.

1. Jarak antar tiang 2,5D

Melalui pemodelan tiang kelompok 4×4 terhadap jarak antartiang 2,5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 3918,164 kN.

Gambar 16. merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 4×4 jarak 2,5D saat terdeformasi 25 mm.

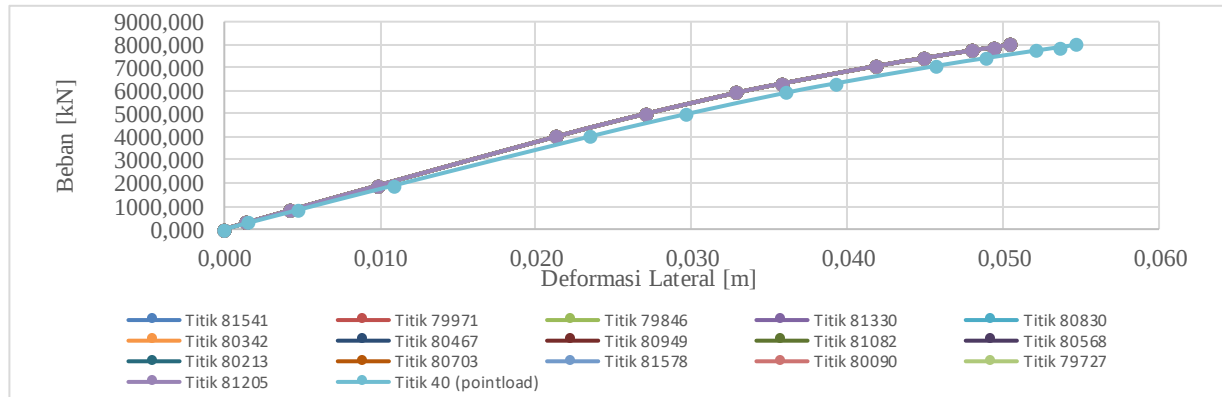


Gambar 16. Daya dukung kelompok tiang 4×4 terhadap jarak 2,5D.

2. Jarak antar tiang 3D

Melalui pemodelan tiang kelompok 4×4 terhadap jarak antartiang 3D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 4647,022 kN.

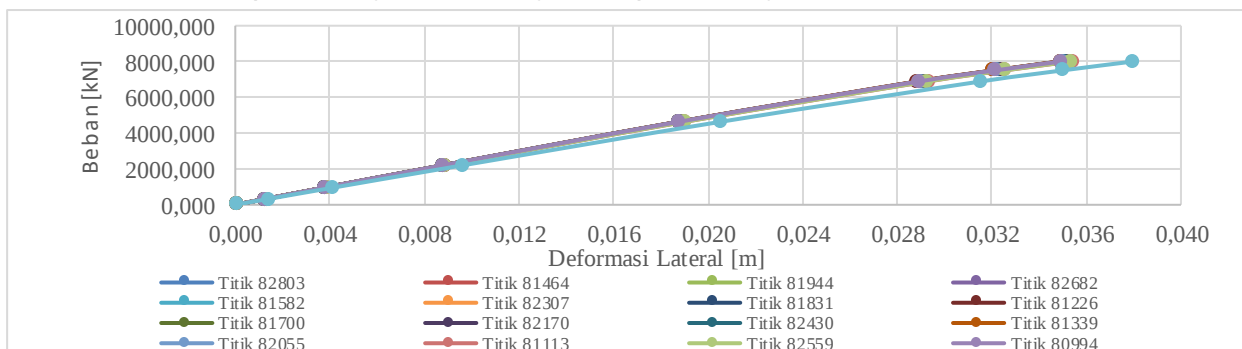
Gambar 17. merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 4×4 jarak 3D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 17. Daya dukung kelompok tiang 4 × 4 terhadap jarak 3D.

3. Jarak antar tiang 4D

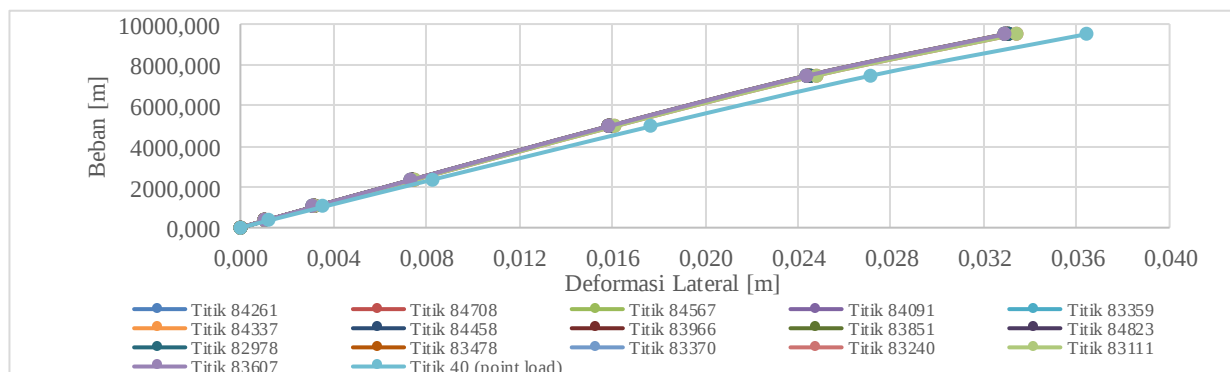
Melalui pemodelan tiang kelompok 4 × 4 terhadap jarak antartiang 4D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 5952,098 kN. **Gambar 28.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 4 × 4 jarak 4D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 18. Daya dukung kelompok tiang 4 × 4 terhadap jarak 4D.

4. Jarak antar tiang 5D

Melalui pemodelan tiang kelompok 4 × 4 terhadap jarak antartiang 5D dengan menggunakan PLAXIS 3D diperoleh nilai kapasitas beban lateral tiang kelompok sebesar 7573,972 kN. **Gambar 19.** merupakan grafik hubungan antara deformasi lateral [m] dengan beban [kN] untuk melihat daya dukung lateral tiang kelompok 4 × 4 jarak 3D saat terdeformasi 25 mm.



Gambar 19. Daya dukung kelompok tiang 4 × 4 terhadap jarak 5D.

Tabel 2. Daya dukung kelompok tiang dan masing-masing tiang dalam satu *pilecap*.

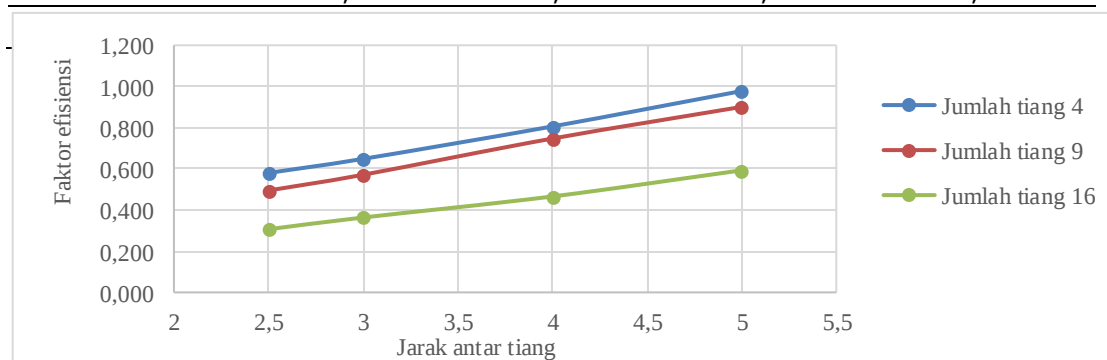
Jarak antar tiang	Jumlah Tiang					
	4		9		16	
	Daya dukung lateral kelompok tiang	Daya dukung lateral masing-masing tiang	Daya dukung lateral kelompok tiang	Daya dukung lateral masing-masing tiang	Daya dukung lateral kelompok tiang	Daya dukung lateral masing-masing tiang
2,5	7412,680	1853,170	32005,841	3556,205	62690,618	3918,164
3	8286,080	2071,520	36956,675	4106,297	74352,349	4647,022
4	10296,719	2574,180	48319,771	5368,863	95233,562	5952,098
5	12493,497	3123,374	58273,230	6474,803	121183,544	7573,972

4.3. Hasil Analisis Faktor Efisiensi Kelompok Tiang

Tabel 4.3 merupakan hasil nilai faktor efisiensi kelompok tiang, sedangkan **Gambar 4.20** merupakan hubungan grafik nilai faktor efisiensi kelompok tiang dengan jumlah tiang. **Gambar 4.21** merupakan hubungan grafik nilai faktor efisiensi kelompok tiang dengan variasi jumlah tiang.

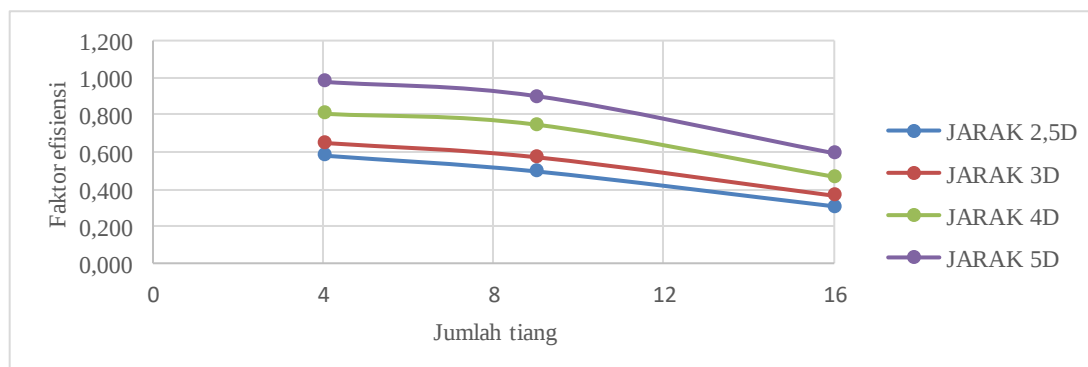
Tabel 3. Nilai Faktor Efisiensi Kelompok Tiang

Jumlah tiang	Faktor efisiensi			
	2,5	3	4	5
4	0,580	0,649	0,806	0,978
9	0,495	0,571	0,747	0,901



Gambar 20. Grafik Hubungan antara nilai faktor efisiensi terhadap jarak antar tiang.

Gambar 21. Grafik hubungan antara nilai faktor efisiensi terhadap jumlah tiang.



5. KESIMPULAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil di lapangan berupa *Loading test Lateral* T478 ketika beban 60 kN mengalami penurunan sebesar 2 mm, beban 120 kN mengalami penurunan sebesar 6,09 mm. Sedangkan hasil pemodelan di PLAXIS 3D ketika beban 60 kN mengalami penurunan sebesar 2,831 mm, beban 120 kN mengalami penurunan 6,095 mm. Perbedaan penurunan antara hasil di lapangan berupa *Loading Test lateral* T478 dengan pemodelan PLAXIS 3D ketika beban 60 kN sebesar 0,831 mm. Sedangkan perbedaan penurunan antara hasil di lapangan berupa *Loading Test Lateral* T478 dengan pemodelan PLAXIS 3D ketika beban 120 kN sebesar 0,005 mm.
2. Daya dukung lateral saat terdeformasi 25 mm pada pemodelan tiang tunggal di PLAXIS 3D sebesar 798,581 kN.
3. Berdasarkan hubungan nilai faktor efisiensi dengan jarak tiang. Jumlah tiang 16 buah memiliki nilai faktor efisiensi lebih kecil dibandingkan jumlah tiang 4 buah dan jumlah tiang 9 buah. Oleh sebab itu, semakin banyak tiang dalam satu *pilecap*, maka nilai faktor efisiensi semakin kecil.
4. Berdasarkan grafik hubungan jumlah tiang dengan nilai faktor efisiensi. Jarak antar tiang 2,5D lebih rendah dibandingkan jarak 3D, 4D, dan 5D. Oleh sebab itu, semakin besar jarak antar tiang dalam satu *pilecap*, maka nilai faktor efisiensi kelompok tiang semakin besar. Hal ini disebabkan, ketika tiang diletakkan berdekatan satu dengan yang lain, asumsi tegangan yang berasal dari tiang akan tumpang tindih (*overlap*). Sehingga menyebabkan pengurangan daya dukung tiang tersebut.

5.2 Saran

1. Dalam penelitian ini, data *pilecap* di lapangan tidak ada. Oleh sebab itu, sebaiknya diperlukan kelengkapan data seperti data *pilecap* proyek untuk memodelkan menggunakan PLAXIS 3D dalam pengerjaan penelitian ini.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak yang telah membantu dalam pengumpulan data yang dibutuhkan untuk skripsi ini yaitu PT. Indonesia Pondasi Raya, Tbk.

DAFTAR RUJUKAN

- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8640:2017* Persyaratan Perancangan Geoteknik.
- Santoso, Budi. (1996). *Mekanika Tanah*. Jakarta.
- Sardjono, H.S (1991). *Pondasi Tiang Pancang II*. Surabaya: Sinar Wijaya
- Hariyatmo. (2015). *Analisis dan Perancangan Fondasi II*. Edisi Ketiga. Gajah Mada University Press. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H. C. 2002. *Teknik Pondasi 2*, Edisi Kedua. Beta Offset. Yogyakarta
- McNulty, J.F. dan Matlock, H. 1956. *Thrust Loading on Pile Proc. Journal Soil Mech and Foundation*, DIV. LXXII. ASCE.
- Program PLAXIS 3D Foundations Versi 1.6