



## ANALISIS TAHANAN HORIZONTAL TIANG PANCANG BARU YANG DIBEBANI LATERAL AKIBAT EFEK ADANYA TIANG PANCANG EKSISTING PADA TANAH CLAY

Fardan Fikriansyah<sup>1\*</sup>, Budi Susilo Soepandji<sup>2</sup>

<sup>1,2</sup>Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia  
Kampus UI Depok, 16424, Indonesia  
Alamat E-mail: fardan.fikriansyah01@ui.ac.id

### Info Artikel

### Abstrak

#### Sejarah artikel:

Diterima: Agt 2023  
Disetujui: April 2024  
Dipublikasikan: Juni 2024

#### Keywords:

Tiang pancang tunggal, tiang pancang eksisting, perpindahan horizontal, tahanan tanah horizontal, *p-y curve*

Metode kerja untuk memancang tiang pancang baru pada bangunan eksisting dengan kondisi adanya tiang pancang eksisting sering kali dilakukan untuk mempercepat periode konstruksi. Distribusi beban dan perpindahan tiang pancang baru perlu diselidiki lebih lanjut akibat efek dari adanya tiang pancang eksisting. Metode transfer beban lateral (*p-y curve*) digunakan untuk menganalisis beban dan perpindahan tiang pancang menggunakan analisis elemen hingga tiga dimensi. Tiang pancang baru dan eksisting yang digunakan adalah *spun pile* berdiameter 0.6 meter, dengan ketebalan 0.1 meter, kedalaman tiang 17 meter, dan jarak antar tiang pancang baru dan eksisting adalah 1 meter. Besar beban horizontal yang diberikan sebesar 150 kN pada kepala tiang yang berada 1 meter, dari muka tanah. Penelitian ini dilakukan pada jenis tanah lempung dengan model konstitutif *Modified Cam Clay*. Hasil analisis elemen hingga tiga dimensi menunjukkan bahwa tahanan tanah horizontal tiang pancang baru meningkat pada kepala tiang akibat adanya tiang pancang eksisting.

**Kata Kunci:** Tiang pancang tunggal, tiang pancang eksisting, perpindahan horizontal, tahanan tanah horizontal, *p-y curve*

### Abstract

The method of driving new piles in existing buildings using existing piles is often used to speed up the construction period. The load distribution and displacement of the new pile need to be investigated further because of the influence of the existing pile. The lateral load displacement method (*p-y curve*) is used to analyze the load and displacement of the pile using three-dimensional finite element analysis. The new and existing piles used are piles with a diameter of 0.6 meters, a thickness of 0.1 meters, a pile depth of 17 meters, and the distance between the new piles and the existing piles is 1 meter. The horizontal load applied is 150 kN on the pile head which is 1 meter from the ground surface. This research was carried out on clay with the *Modified Cam Clay* constitutive model. The results of three-dimensional finite element analysis show that the horizontal resistance of the new pile increases at the pile head due to the presence of the existing pile.

## PENDAHULUAN

Pembaruan bangunan yang telah rusak atau tidak berfungsi perlu dikaji kembali daya dukung fondasi eksistingnya [1], [2]. Akan tetapi, fenomena ini memungkinkan kondisi di mana tidak diketahuinya kedalaman dan jenis fondasi eksistingnya. Salah satu sistem fondasi yang umum digunakan adalah tiang pancang. Metode kerja dengan pemancangan langsung tiang pancang baru sering kali dilakukan untuk mempercepat durasi konstruksi tanpa mempertimbangkan efek dari adanya tiang pancang eksisting [2]. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis kondisi di mana tiang pancang eksisting dapat meningkatkan atau mengurangi tahanan horizontal tiang pancang baru.

Tiang pancang dapat mentransfer gaya aksial dan lateral. Karena tiang menerima beban lateral, massa tanah di sekitar tiang pancang baru dan eksisting memiliki peran penting dalam tahanan lateral tiang pancang baru. Sifat interaksi tiang-tanah adalah tiga dimensi dan dapat menjadi masalah lebih lanjut karena tanah adalah media nonlinear dan anisotropik. Pendekatan reaksi tanah dasar (*subgrade reaction*) memberikan solusi paling sederhana untuk masalah interaksi tiang-tanah [3].

Pendekatan p-y adalah metode untuk menangani interaksi tiang-tanah. Satu-satunya perbedaan antara metode p-y dan metode reaksi tanah dasar adalah bahwa yang pertama didasarkan pada penentuan hubungan non linier antara reaksi tanah dan defleksi lateral pada setiap titik sepanjang kedalaman tiang. Oleh karena itu, hubungan p-y didefinisikan pada setiap titik berbeda sepanjang kedalaman tiang [3]. Distribusi beban dan defleksi tiang pancang diselidiki dengan metode transfer beban lateral (kurva p-y). Perhatian khusus diberikan pada kontinuitas tanah dan tahanan lateral tanah dengan menggunakan analisis elemen hingga tiga dimensi (*3D Finite Element*) [4].

Penelitian ini berfokus pada tahanan horizontal tiang pancang baru akibat efek dari adanya tiang pancang eksisting menggunakan analisis elemen hingga tiga dimensi dengan batasan sebagai berikut: analisis elemen hingga dijalankan dengan perangkat lunak MIDAS GTS NX; model konstitutif tanah *Modified Cam Clay*; Material tiang pancang adalah *spun pile* dengan spesifikasi diameter 0.6 meter, ketebalan 0.1 meter, kedalaman 17 m; parameter material tanah berdasarkan data sekunder.

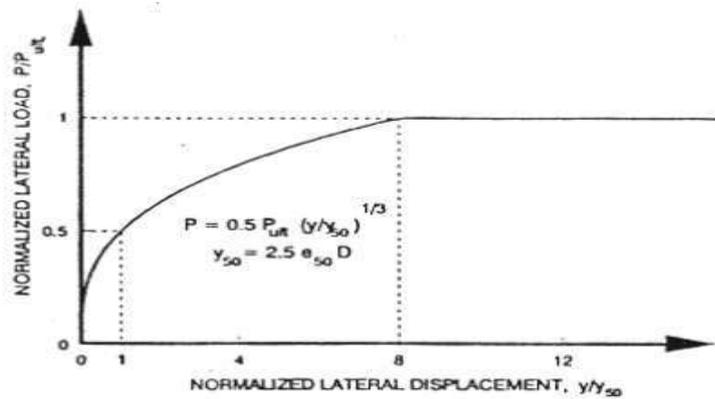
**DEFINISI METODE KURVA P-Y**

Tahanan atau kapasitas lateral tiang yang dihitung dengan pendekatan *subgrade reaction* (reaksi tanah dasar) dapat diperluas melampaui rentang elastis dimana tanah menjadi plastis. Hal ini dapat diselesaikan oleh kurva *p-y*: Matlock, 1970; Reese et al, 1974; Reese and Welch, 1975; Bushbade et al, 1979, Reese et al, 1999 [5], [6]. Analisis *p-y* adalah model numerik yang mensimulasikan tahanan tanah sebagai pegas nonlinier yang telah ditentukan sebelumnya, di mana *p* adalah tekanan tanah persatuan panjang tiang dan *y* adalah defleksi tiang.

Metode *p-y* yang digunakan untuk analisis tahanan lateral bergantung pada kondisi dan jenis tanah (kohesif atau non kohesif). Untuk tanah lempung atau kohesif, dapat menggunakan teori kurva *p-y* oleh Matlock, 1970 [7].

$$P = 0.5 Pu \left( \frac{y}{yc} \right)^{\frac{1}{3}} \tag{1}$$

Di mana, *P* adalah *soil pressure* (kN/m) pada setiap perpindahan, *y* dan *Pu* adalah *ultimate soil pressure*.



Gambar 1. Kurva *p-y*

Kurva *p-y* untuk suatu titik tertentu pada suatu pondasi tiang bergantung pada beberapa faktor dibawah ini:

- Jenis Tanah
- Jenis pembebanan (Statis, dinamis, siklik)
- Diameter pondasi dan bentuk penampang
- Koefisien gesek antara pondasi dengan tanah
- Kedalaman dibawah permukaan tanah
- Kondisi batas kepala tiang
- Metode konstruksi
- Efek interaksi tiang grup

Penurunan kurva *p-y* menggunakan data keluaran analisis elemen hingga MIDAS GTS NX menggunakan metode matematika dapat dilakukan. Tahanan tanah per satuan panjang dapat

diturunkan menggunakan persamaan diferensial gaya geser atau momen lentur terhadap kedalaman tiang [7],[8] yang dirumuskan sebagai berikut:

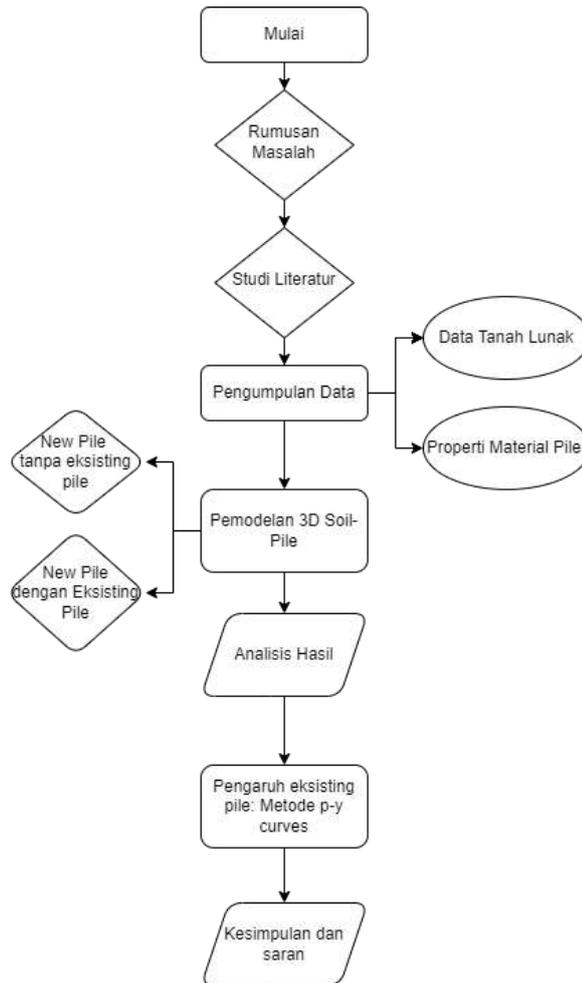
$$p = dV/dZ \quad \text{atau} \quad (2)$$

$$p = d^2M/dZ^2 \quad (3)$$

Dimana, p adalah tahanan tanah per satuan panjang tiang pada kedalaman Z, V dan M adalah gaya geser dan momen lentur.

### **PEMODELAN ELEMEN HINGGA TIGA DIMENSI**

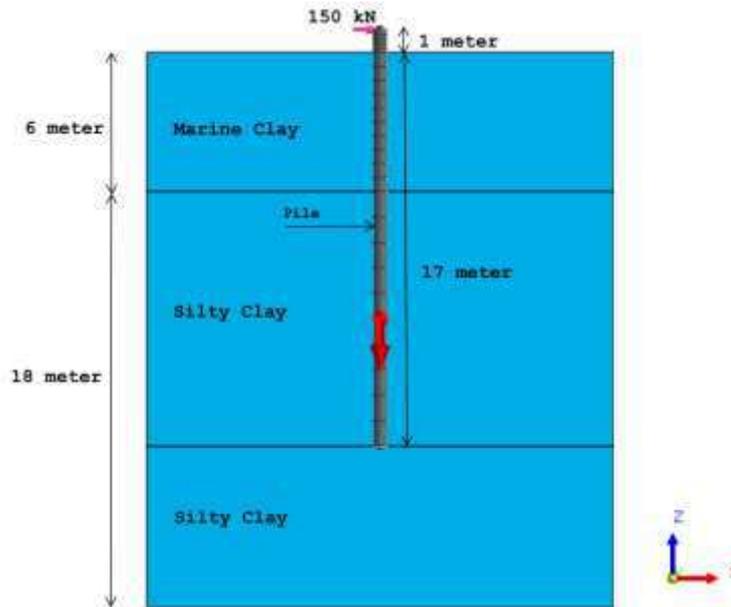
Penelitian ini dilakukan dengan metode analisis numerik elemen hingga secara tiga dimensi menggunakan perangkat lunak MIDAS GTS NX. Metode ini digunakan untuk mengetahui perilaku dan interaksi tiang-tanah pada kondisi tiang pancang tunggal dan tiang pancang baru dengan adanya tiang pancang eksisting dalam bentuk kurva perpindahan horizontal terhadap tahanan horizontal tanah (*p-y curve*) pada tanah *clay*. Pengamatan difokuskan pada tiang pancang baru dengan membanding hasil bentuk kurva perpindahan horizontal terhadap tahanan lateral tiang pancang baru dengan tiang pancang tunggal. Perbedaan terdapat pada kondisi sekitar tiang pancang baru yang memungkinkan terdapat efek dari adanya tiang pancang eksisting.



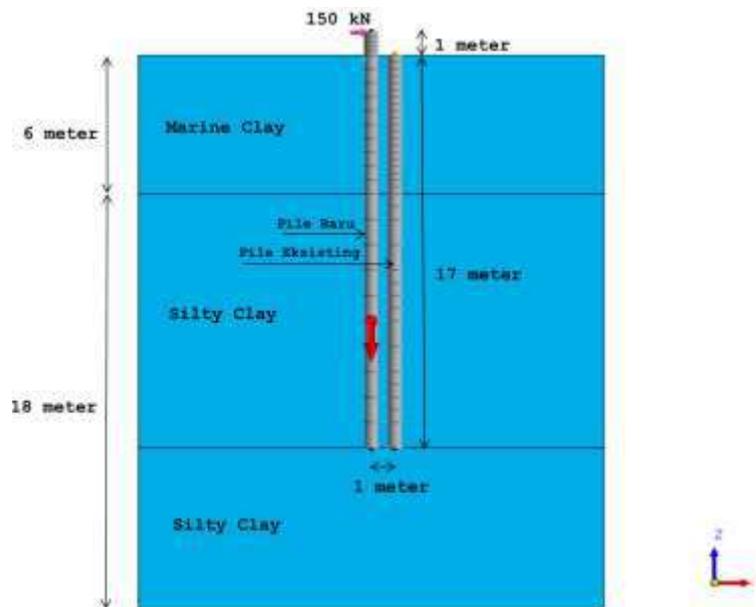
Gambar 2. Bagan Alir Penelitian

### Geometri Pemodelan

Perangkat lunak elemen hingga tiga dimensi MIDAS GTS NX digunakan untuk memodelkan tiang pancang tunggal dan tiang pancang eksisting pada tanah *clay*. Untuk batasan dimensi geometri ruang adalah 20 m x 20 m x 24 m.



Gambar 3. Geometri Model Tiang Pancang Tunggal (kasus A)



Gambar 4. Geometri Model Tiang Pancang Baru dan Eksisting (kasus B)

Tiang pancang yang digunakan untuk tiang pancang baru dan eksisting adalah *spun pile* berdiameter 0.6 m dengan ketebalan 0.1 m. Gambar 3 menunjukkan kondisi tanah dan geometri model tiang pancang tunggal (kasus A) dan gambar 4 menunjukkan kondisi tanah dan geometri model tiang pancang baru dengan kondisi adanya tiang pancang eksisting berjarak 1 meter (kasus B). Beban statik horizontal yang diaplikasikan pada kepala tiang yang berada 1 meter, dari muka tanah sebesar 150 kN arah sumbu x.

### Properti Material

1. Parameter material tanah

Tanah yang digunakan adalah *marine clay* dan *silty clay*. Pada tabel 1 adalah material tanah yang dirangkum sebagai data parameter pemodelan. Parameter nilai *saturated soil unit weight* dan modulus elastisitas tanah didapatkan dari jurnal [4], sedangkan parameter lainnya didapatkan dari hasil studi literatur menggunakan metode korelasi [9], [10], [11]. Model konstitutif tanah *Modified Cam Clay (MCC)* digunakan untuk merepresentasikan material tanah ketika terjadi pengaruh perubahan volume pada sifat *bulk* dan ketahanan tanah sampai keruntuhan yang dapat dipertimbangkan untuk tanah *clay* [10].

Tabel 1. Parameter material tanah

Parameter	Nama	Lapisan 1	Lapisan 2	Satuan
		Lower Marine Clay	Silty Clay	
		0 - 6 m	6 - 24 m	
<i>Material model</i>	<i>Model</i>	MCC	MCC	-
<i>Type of material behavior</i>	<i>Type</i>	<i>Drained</i>	<i>Drained</i>	-
<i>Dry soil unit weight</i>	$\gamma_{dry}$	15.24	16.71	kN/m <sup>3</sup>
<i>Saturated soil unit weight</i>	$\gamma_{sat}$	17.50	17.80	kN/m <sup>3</sup>
<i>Young's modulus constant</i>	$E_{ref}$	15000	27000	kN/m <sup>2</sup>
<i>Poisson's ratio</i>	$\nu$	0.25	0.3	-
<i>Slope of Consol Line</i>	$\lambda$	0.096	0.109	-
<i>Slope of Over Consol Line</i>	$\kappa$	0.064	0.073	-
<i>Critical State Ratio</i>	M	0.77	0.86	-
<i>Initial Void Ratio</i>	$e_o$	2	1.48	-

2. Properti tiang pancang

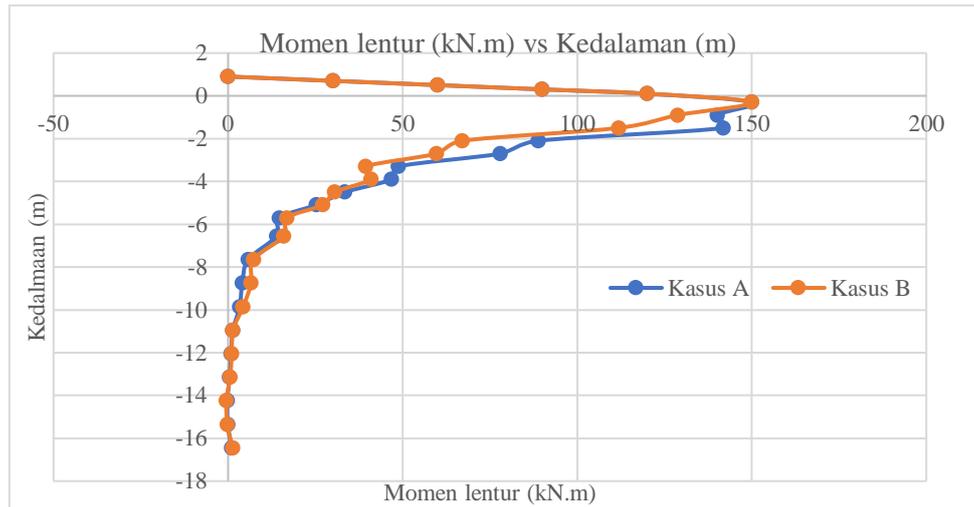
Pada penelitian studi numerik ini, digunakan tiang pancang tipe *spun pile* yang dimodelkan sebagai elemen struktur, yaitu *beam element* dengan property material berikut: diameter 0.6 m, ketebalan 0.1 m, berat jenis beton 25 kN/m<sup>3</sup>; *poisson ratio* 0.2, kuat tekan beton 52 MPa

3. *Interface* tanah-tiang

*Interface* antara tiang dan tanah dilibatkan dalam model ini. Properti material yang ditetapkan pada *interface* tanah dan tiang dirangkum dalam kekakuan normal sebesar 1,436,722 kN/m<sup>3</sup>, kekakuan geser 143,672 kN/m<sup>3</sup> yang ditetapkan sepuluh kali kekakuan normal [10], dan *ultimate shear force* sebesar 912 kN/m<sup>2</sup>.

**HASIL PENELITIAN DAN DISKUSI**

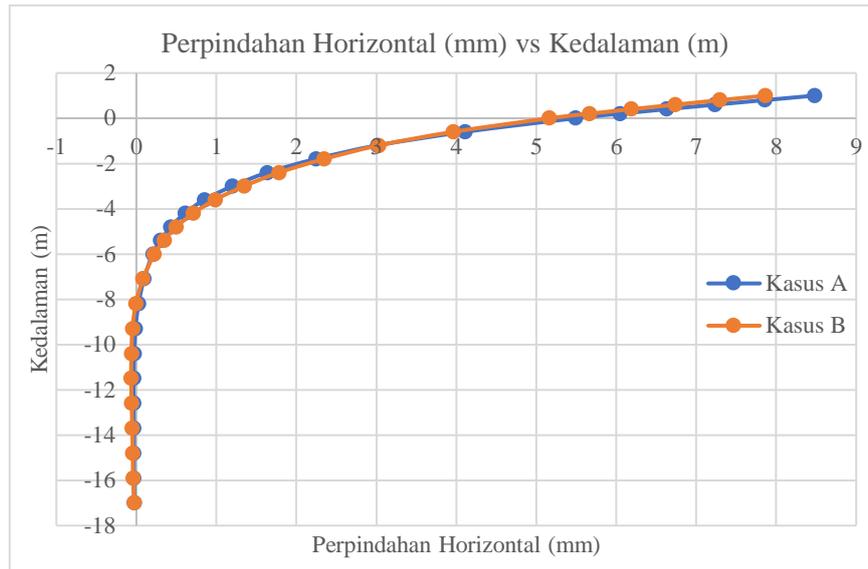
Berdasarkan perhitungan menggunakan perangkat lunak MIDAS GTS NX didapatkan beberapa hasil keluaran pemodelan elemen tiang pancang, yaitu momen lentur, perpindahan horizontal arah sumbu x, dan tahanan tanah horizontal arah sumbu x. Masing-masing hasil keluaran pemodelan ditunjukkan pada gambar 5, 6, dan 7 berikut.



Gambar 5. Kurva momen lentur terhadap kedalaman

Gambar 5 merupakan kurva momen lentur terhadap kedalaman. Kurva momen lentur terhadap kedalaman menunjukkan pada kondisi kasus A dan kasus B pada lokasi kepala tiang sampai kedalaman tanah mendekati 0 besar nilai momen lentur berhimpit. Hal ini menunjukkan bahwa tidak adanya pengaruh dari tiang pancang eksisting karena kepala tiang pancang eksisting berada di dalam lapisan tanah. Namun, pada kondisi lapisan tanah dapat terlihat bahwa besaran momen lentur terdapat perbedaan dengan besar momen lentur kasus A relatif lebih besar di kedalaman 0 sampai 5 meter di bawah permukaan tanah, sedangkan di kedalaman 5 sampai 10 meter, besar momen lentur kasus A relatif lebih kecil dibanding kasus B. Hal ini dapat disebabkan oleh perubahan material tanah pada kedalaman 6 meter, dan juga lokasi beban horizontal yang berada hanya di kepala tiang. Berdasarkan kurva momen lentur terhadap kedalaman, efek dari adanya tiang pancang eksisting dapat mengurangi besaran momen lentur pada kedalaman sekitar permukaan tanah yang mana pada kasus A dan B relatif di kedalaman 0 sampai 5 meter di bawah permukaan tanah.

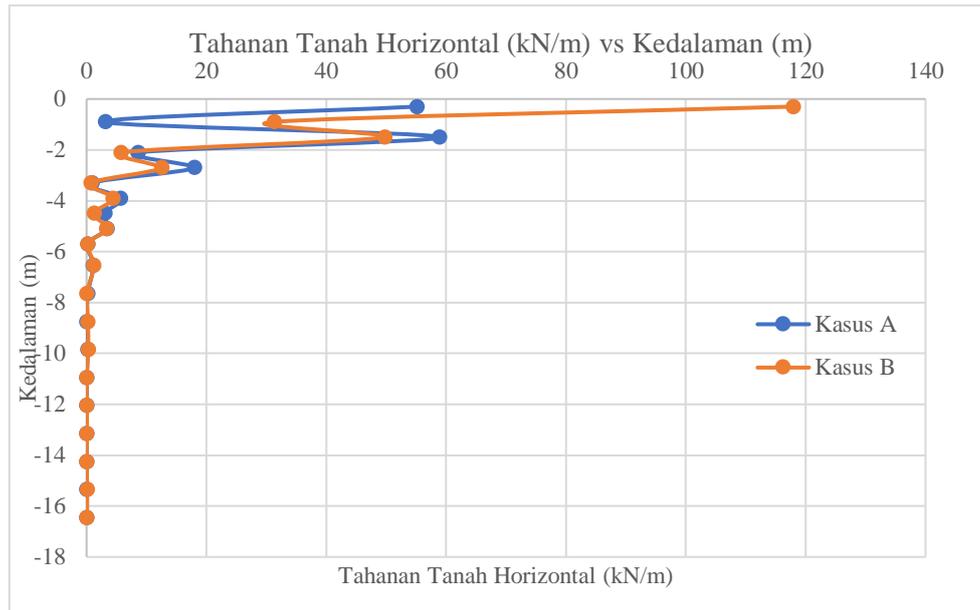
Gambar 6 merupakan kurva perpindahan horizontal terhadap kedalaman. Kurva perpindahan horizontal terhadap kedalaman menunjukkan pada kondisi kasus A dan kasus B pada lokasi kepala tiang sampai kedalaman tanah mendekati 0 besar perpindahan horizontal terdapat perbedaan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari tiang pancang eksisting terhadap perpindahan horizontal tiang pancang baru.



Gambar 6. Perpindahan horizontal terhadap kedalaman

Besar perpindahan horizontal untuk kasus A dan B adalah 8.48 mm dan 7.86 mm. Namun, pada kedalaman 6 sampai 17 meter, tidak terdapat perbedaan yang signifikan atau kurva terlihat berhimpit. Hal ini dikarenakan pembebanan beban horizontal hanya diaplikasikan di kepala tiang.

Gambar 7 merupakan kurva tahanan tanah horizontal terhadap kedalaman. Kurva tahanan tanah horizontal terhadap kedalaman menunjukkan pada kondisi kasus A dan kasus B pada lokasi kepala tiang sampai kedalaman tanah mendekati 4 meter, besar perpindahan horizontal terdapat perbedaan yang signifikan. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari tiang pancang eksisting terhadap tahanan tanah horizontal di sekitar tiang pancang baru. Besar tahanan tanah horizontal untuk kasus A dan B adalah 55.13 kN/m dan 117.91 kN/m. Perbedaan ini menunjukkan tahanan tanah horizontal meningkat pada kasus B. Namun, pada kedalaman sekitar 5 sampai 17 meter, tidak terdapat perbedaan yang signifikan atau kurva terlihat berhimpit. Hal ini dikarenakan pembebanan beban horizontal hanya diaplikasikan di kepala tiang sehingga tidak terjadi interaksi tanah dan tiang yang signifikan.



Gambar 7. Tahanan tanah horizontal terhadap kedalaman

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil perhitungan menggunakan program MIDAS GTS NX didapat kesimpulan sebagai berikut:

- Berdasarkan kurva momen lentur terhadap kedalaman, efek dari adanya tiang pancang eksisting dapat mengurangi besaran momen lentur pada kedalaman sekitar permukaan tanah yang mana pada kasus A dan B relatif di kedalaman 0 sampai 5 meter di bawah permukaan tanah.
- Besar perpindahan horizontal di kepala tiang untuk kasus A dan B adalah 8.48 mm dan 7.86 mm. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari tiang pancang eksisting yang dapat mengurangi perpindahan horizontal tiang pancang baru di kepala tiang.
- Besar tahanan tanah horizontal di sekitar permukaan tanah untuk kasus A dan B adalah 55.13 kN/m dan 117.91 kN/m. Hal ini menunjukkan bahwa adanya pengaruh dari tiang pancang eksisting yang dapat meningkatkan tahanan tanah horizontal di sekitar tiang pancang baru pada permukaan tanah saat tiang pancang baru dibebani horizontal.

## DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kropp, A. 1988. *Existing Pile Load Capacity Evaluation*. Second International Conference on Case Histories in Geotechnical Engineering (p. 6.89). California: Missouri University of Science and Technology

- [2] Tamura, S., Adachi, K., Sakamoto, T., Hida, T., & Hayashi, Y. 2012. *Effects of existing piles on lateral resistance of new piles*. Soils and Foundations, 52(3):381–392
- [3] Khodair, Y., & Mohti, A. A. 2014. *Numerical Analysis of Pile–Soil Interaction under Axial and Lateral*. International Journal of Concrete Structures and Materials, 239-249
- [4] Kim, Y., & Jeong, S. 2011. *Analysis of soil resistance on laterally loaded piles based on 3D soil–pile interaction*. Computers and Geotechnics 38, 248-257.
- [5] Rathod, D., Muthukkumaran, K., & Sitharam, T. G. 2018. *Effect of Slope on p-y Curves for Laterally Loaded Piles in Soft Clay*. Geotech Geol Eng, 36:1509–1524.
- [6] Yoshida, I., & Yoshinaka, R. 1972. *A Method TO Estimate Modulus Of Horizontal Subgrade Reaction For A Pile*. Soils And Foundations Vol.12
- [7] H. G Poulos dan E. H. Davis. 1980. *Pile Foundation Analysis and Design*. John Wiley and Sons, New York.
- [8] Pradhan, D. L. 2012. *Development of P-Y Curves for Monopiles in Clay using Finite Element Model Plaxis 3D Foundation*. Trondheim: Department of Civil an Transport Engineering, NTNU.
- [9] Lesmana, A & Susila, E. 2016. *Studi Perilaku dan Mekanisme Interaksi Penggabungan Prefabricated Vertical Drain dan Deep Cement Mixing untuk Perbaikan Tanah Lunak*. Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil Jurnal Teoretis dan Terapan Bidang Rekayasa Sipil, 203-212.
- [10] Hazzar, L, Karrya, M & Bouassida, M. 2010. *Lateral capacity of single pile embedded in clay subjected to lateral loading*. International Conference on Geotechnical Engineering.
- [11] Sheng, D, Cui, L, & Ansari, Y. 2013. *Interpretation of cone factor in undrained soils via full penetration finite element analysis*. International Journal of Geomechanics, ASCE, 745-753