

PENGARUH SUDUT KEMIRINGAN TIANG PANCANG *BATTER PILE* TERHADAP DAYA DUKUNG AKSIAL DAN LATERAL

Clifford Harri¹ dan Alfred Jonathan Susilo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: cliffhmail@gmail.com

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
Email: alfredsusilo@gmail.com

ABSTRAK

Tiang pancang *Batter Pile* merupakan salah satu bentuk rekayasa pondasi yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral pondasi. Tiang *Batter Pile* dipancang dengan sudut kemiringan tertentu. Kemiringan tiang mempengaruhi daya dukung aksial dan lateral. Penelitian ini dilakukan untuk memahami perubahan daya dukung aksial dan lateral pada tiang pancang *Batter Pile*. Perhitungan daya dukung aksial dan lateral dilakukan dengan parameter tiang pancang diameter 350mm dan perhitungan dilakukan pada kemiringan 0° hingga +25°. Hasil perhitungan menunjukkan peningkatan daya dukung aksial dan lateral. Peningkatan daya dukung lateral optimal pada rentang kemiringan +15° hingga +20°.

Kata kunci: tiang pancang, *batter pile*, *batter angle*, daya dukung lateral.

1. PENDAHULUAN

Menurut data dari Deputi Kedaulatan Maritim Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman (2017), Indonesia memiliki 17.504 pulau, dengan 16.056 di antaranya telah dibakukan namanya pada Kelompok Pakar untuk Nama Geografis Perserikatan Bangsa-Bangsa (UNGEGN). Menurut data dari Kementerian Kelautan dan Perikanan (2018), luas lautan Indonesia mencapai 74% dari total keseluruhan luas wilayah Indonesia, yaitu seluas 5,8 juta km² dari luas keseluruhan 7,81 juta km².

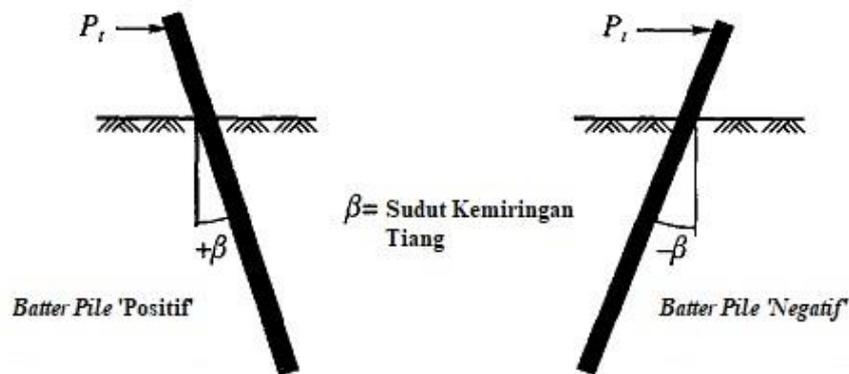
Salah satu infrastruktur kemaritiman yang paling penting adalah pelabuhan. Pembangunan pelabuhan di Indonesia saat ini mendapatkan perhatian khusus dari pemerintah Indonesia. Sejak tahun 2014, pemerintah Indonesia telah menyetujui rencana pengembangan infrastruktur kemaritiman dengan total anggaran mencapai 700 triliun rupiah, dengan 243 triliun di antaranya khusus untuk pengembangan 24 pelabuhan strategis.

Perancangan konstruksi pelabuhan, terutama konstruksi dermaga, memerlukan perhatian khusus. Terdapat beberapa faktor yang membedakan perancangan konstruksi konvensional dengan perancangan konstruksi di daerah pesisir/pantai, terutama akibat pengaruh geografis. Salah satu faktor yang perlu dipertimbangkan adalah pengaruh geografis yang unik seperti beban lateral akibat gelombang air laut.

Dalam konstruksi pondasi, konstruksi *Batter Pile* merupakan salah satu bentuk upaya adaptasi yang sesuai untuk aplikasi di daerah pesisir. Konsep pondasi *Batter Pile* memasang tiang pondasi pada sudut kemiringan tertentu. Dengan konstruksi tiang bersudut, konstruksi *Batter Pile* memiliki resistensi terhadap beban lateral yang lebih baik dibanding konstruksi tiang biasa dengan spesifikasi yang sama. Hal ini dapat dicapai karena pada konstruksi *Batter Pile*, sebagian beban lateral akan disalurkan dalam bentuk beban aksial.

Batter Pile

Konstruksi *Batter Pile* (atau disebut juga *Battered Pile* atau *Raked Pile* atau *Inclined Pile*) adalah teknik pemasangan tiang dengan memosisikan tiang pada kemiringan terhadap posisi vertikal dengan sudut tertentu. Menurut Murthy (2002), *Batter Pile* berdasarkan arah kemiringannya dibagi menjadi dua yaitu *Batter Pile* 'positif' yaitu tiang dengan kemiringan terhadap posisi vertikal searah dengan beban lateral dan *Batter Pile* 'negatif' yaitu tiang dengan kemiringan terhadap posisi vertikal berlawanan dengan beban lateral. Menurut Hannigan, et al. (2016), *Batter Pile* umumnya digunakan untuk meningkatkan daya dukung lateral dari sekelompok tiang jika tiang vertikal tidak dapat menyediakan daya dukung yang dibutuhkan.



Gambar 1. Dua Jenis *Batter Pile* berdasarkan arah kemiringannya terhadap posisi vertical (Murthy, 2002)

Perhitungan Daya Dukung Aksial *Batter Pile* dengan Metode Analisis Kurva p-y

Analisis daya dukung aksial pada tiang *Batter Pile* dalam penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan software komputer. Proses analisis ini dibagi menjadi beberapa tahapan antara lain tahap pemasukan data, tahap perhitungan dan kemudian analisis hasil. Tahap pemasukan data terdiri dari beberapa langkah yaitu menentukan judul proyek, standar satuan, jenis tiang, profil tiang, parameter tiang, jenis pembebanan, parameter tanah dan *factor of safety*. Kemudian kalkulasik akan dilakukan oleh *software* komputer.

Perhitungan Daya Dukung Lateral *Batter Pile* dengan Metode Analisis Kurva p-y

Metode kurva p-y adalah sebuah fungsi yang menggambarkan karakteristik reaksi dari tiang dan tanah secara nonlinier, di mana 'p' melambangkan daya dukung tanah per satuan panjang tiang sedangkan 'y' melambangkan lendutan lateral tiang. Langkah-langkah dalam pembuatan kurva p-y untuk tanah lempung antara lain:

1. Menyiapkan data parameter tanah. Data yang diperlukan berupa kuat geser terdrainase (c_u) dan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat})
2. Menentukan nilai koefisien ϵ_{50} , nilai koefisien ini dapat ditentukan dengan menggunakan kurva tekan-tarik tanah.
3. Menghitung nilai daya dukung maksimal tiang per satuan panjang (P_{ult}) dengan menggunakan persamaan-persamaan sebagai berikut;

$$P_{ult} = \left(3 + \frac{\gamma}{c_u} z + \frac{J}{b} z \right) c_u b \quad (1)$$

dan

$$P_{ult} = 9 C_u b \quad (2)$$

dengan P_{ult} = daya dukung maksimal tiang, γ = berat jenis tanah rata-rata, z = kedalaman, c_u = kuat geser pada kedalaman z , b = diameter tiang dan J = koefisien eksperimental.

4. Menentukan Nilai P_{ult} yang akan digunakan. Nilai yang akan digunakan adalah salah satu nilai yang didapat dari persamaan 1 dan 2, diambil nilai yang terkecil.
5. Menghitung nilai defleksi y_{50} dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$y_{50} = 2.5 \epsilon_{50} b \quad (3)$$

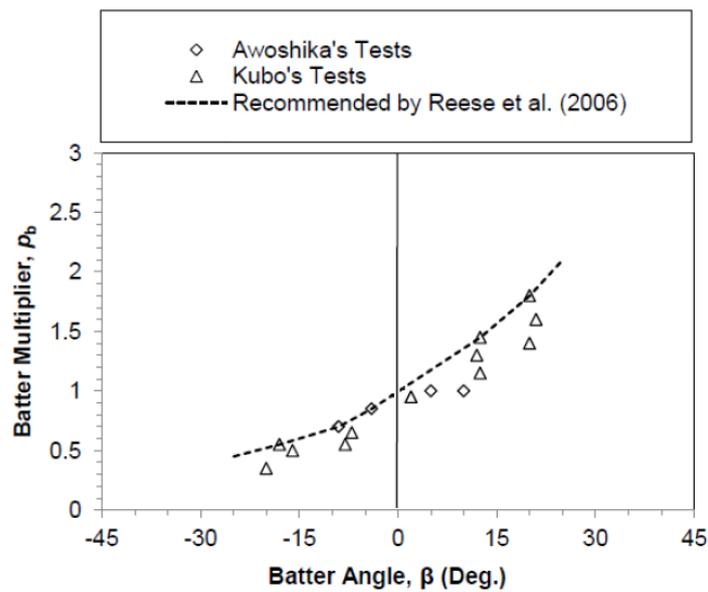
dengan ϵ_{50} = nilai koefisien berdasarkan kurva tekan-tarik dan b = diameter tiang.

6. Setelah didapat nilai P_{ult} dan ϵ_{50} , nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung nilai p yang menjadi elemen sumbu vertikal dengan perbandingan lurus dengan nilai y yang menjadi elemen sumbu horizontal pada kurva p-y dengan menggunakan persamaan sebagai berikut;

$$\frac{p}{P_{ult}} = 0.5 \left(\frac{y}{y_{50}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (4)$$

Menurut Reese dan Van Impe (2001), nilai p akan mencapai nilai konstan saat nilai $y = 8 y_{50}$.

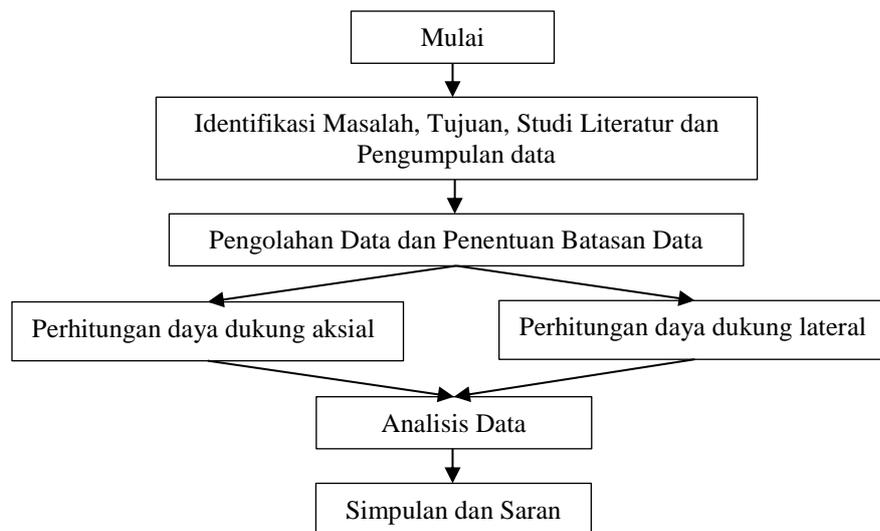
Pengaruh dari kemiringan tiang terhadap kurva p-y telah diteliti oleh Awoshika dan Reese (1971) dalam sebuah model tanki, serta oleh Kubo (1964) dalam pengujian berskala penuh. Berdasarkan hasil pengujian-pengujian tersebut, Awoshika dan Reese (1971) mengajukan sebuah kurva untuk menentukan faktor modifikasi yang dapat digunakan dalam pembuatan kurva p-y untuk tiang pancang bersudut. Kurva tersebut dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2. Faktor Modifikasi yang Diusulkan untuk Tiang Pancang *Batter Pile* (Boeckmann, 2018)

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, digunakan metodologi analisis dengan *software* komputer dan analisis dengan perhitungan manual. Diagram alur dibuat dengan tujuan menjelaskan langkah-langkah penelitian hingga dapat ditariknya kesimpulan.



Gambar 3. Diagram Alur Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data tanah

Susunan lapisan tanah dibuat berdasarkan hasil pengujian SPT dan laboratorium yang didapatkan saat proses pengumpulan data. Data yang tidak tersedia dari hasil pengujian didapatkan dengan melakukan korelasi atau pendekatan. Data tanah yang digunakan dapat dilihat pada tabel-tabel berikut;

Tabel 1. Data Tanah berdasarkan *Boring Log 1*

Kedalaman (m)	N-SPT	c/c'	ϕ	γ (kN/m ³)	Gs	e _o	c _u
0 – 26	1	0.03	0	14.7	2.62	2.23	7
27 – 30	8	0.21	9	15.1	2.68	1.01	56
31 – 35	10	-	-	18.6	-	-	70
36 – 40	13	-	-	18.6	-	-	91
41 – 45	16	-	-	18.6	-	-	112
46 – 50	20	-	-	19.6	-	-	140
51 – 60	23	-	-	19.6	-	-	161

Tabel 2. Data Tanah berdasarkan *Boring Log 2*

Kedalaman (m)	N-SPT	c/c'	ϕ	γ (kN/m ³)	Gs	eo	cu
0 – 16	1	0.03	0	14.5	2.58	2.41	7
17 – 25	11	0.03	7	14.7	2.56	2.25	77
26 – 40	13	-	-	18.9	-	-	91
41 – 48	15	-	-	18.9	-	-	105
49 – 60	21	-	-	19.6	-	-	147

Tabel 3. Data Tanah berdasarkan *Boring Log 3*

Kedalaman (m)	N-SPT	c/c'	ϕ	γ (kN/m ³)	Gs	e _o	c _u
0 – 8	1	0.05	23	15.9	2.62	1.72	7
9 – 20	11	0.06	6	15.2	2.69	2.18	77
21 – 28	14	-	-	18.9	-	-	98
29 – 50	15	-	-	18.9	-	-	105
51 – 60	23	-	-	19.6	-	-	161

Analisis daya dukung aksial tiang pancang *batter pile* dengan software komputer

Analisis dilakukan pada ketiga data *boring log* dengan menggunakan software komputer. Parameter yang digunakan antara lain; *Pile Type = Driving Concrete Pile, Units = Metric*, tiang beton (*concrete*) dengan diameter 350 mm, luas penampang efektif 96211 mm², tiang tunggal *free head* dengan beban statis dan faktor keamanan yang digunakan baik untuk daya dukung selimut maupun daya dukung ujung tiang adalah 2. Dalam penelitian ini, panjang tiang yang digunakan disesuaikan dengan kemiringan tiang dan kedalaman lapisan tanah ujung. Kedalaman lapisan tanah ujung yang digunakan pada ketiga data tanah adalah 51 meter. Profil tiang yang digunakan dapat dilihat dalam tabel 4.

Tabel 4. Profil Tiang yang Digunakan

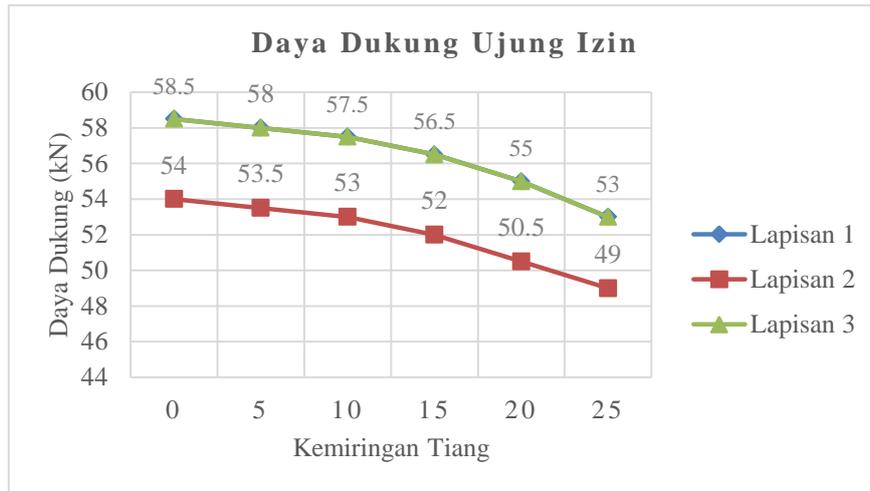
Kemiringan Tiang (<i>Batter Angle</i>)	Panjang Tiang
0°	51 meter
5°	51.2 meter
10°	51.8 meter
15°	52.8 meter
20°	54.3 meter
25°	56.3 meter

Hasil analisis daya dukung aksial terdiri dari daya dukung selimut izin, daya dukung ujung izin dan daya dukung izin (total). Hasil analisis dapat dilihat pada Gambar 4-6.

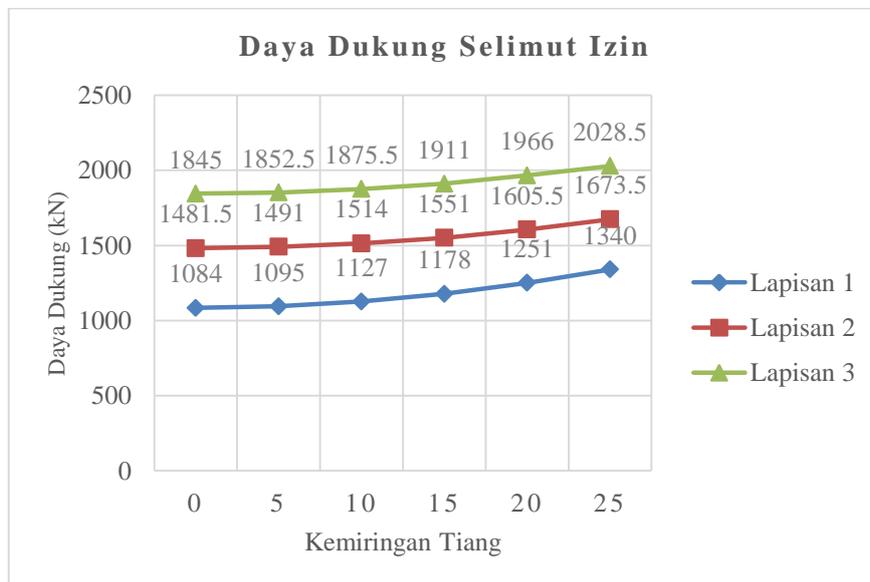
Analisis Daya Dukung Lateral Tiang Pancang *Batter Pile* dengan Metode Kurva p-y

Analisis daya dukung lateral dilakukan pada ketiga data *boring log* yang digunakan. Analisis dilakukan pada setiap kedalaman atau panjang tiang dan plot kurva dilakukan pada kedalaman 1 meter, 15 meter dan 30 meter. Analisis kemudian diulangi kembali pada kondisi tiang miring dengan sudut tertentu dengan mempertimbangkan faktor modifikasi untuk tiang *batter pile*.

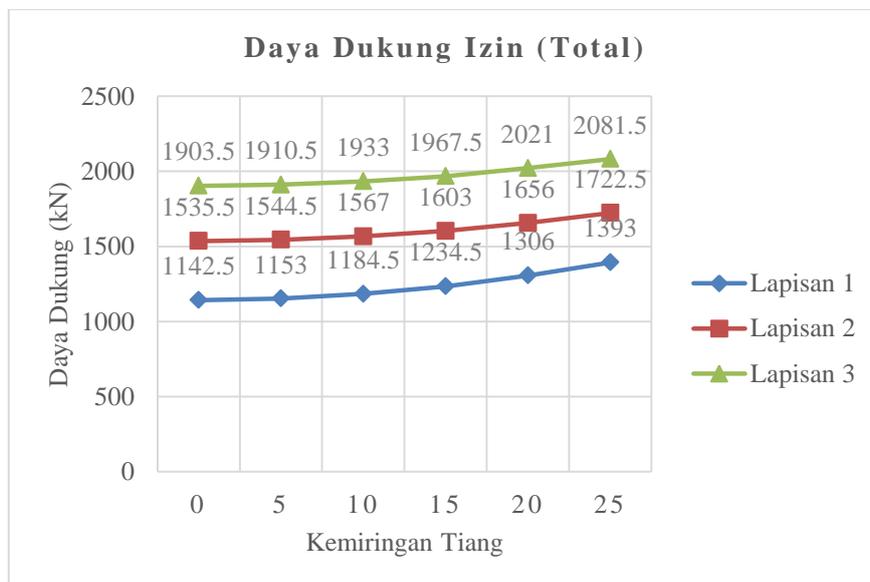
Hasil analisis daya dukung lateral dapat dilihat pada Gambar 7-9.



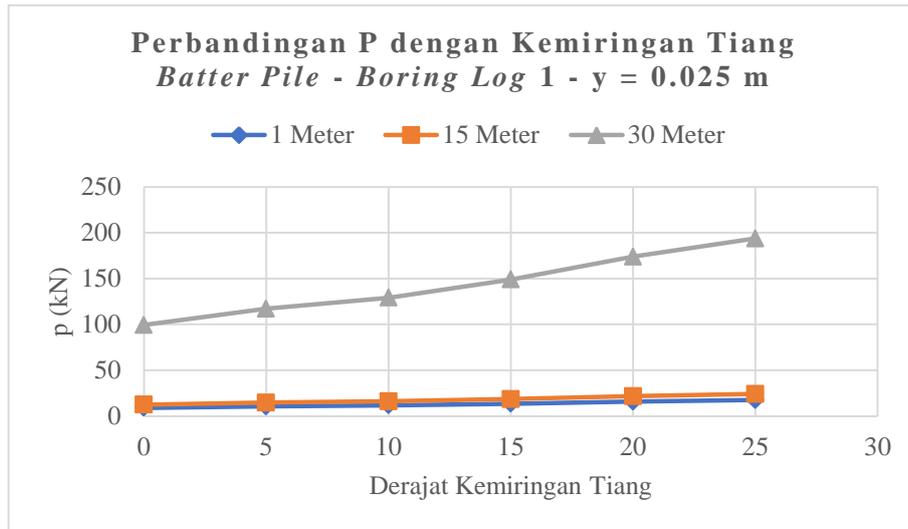
Gambar 4. Perubahan Daya Dukung Ujung Izin



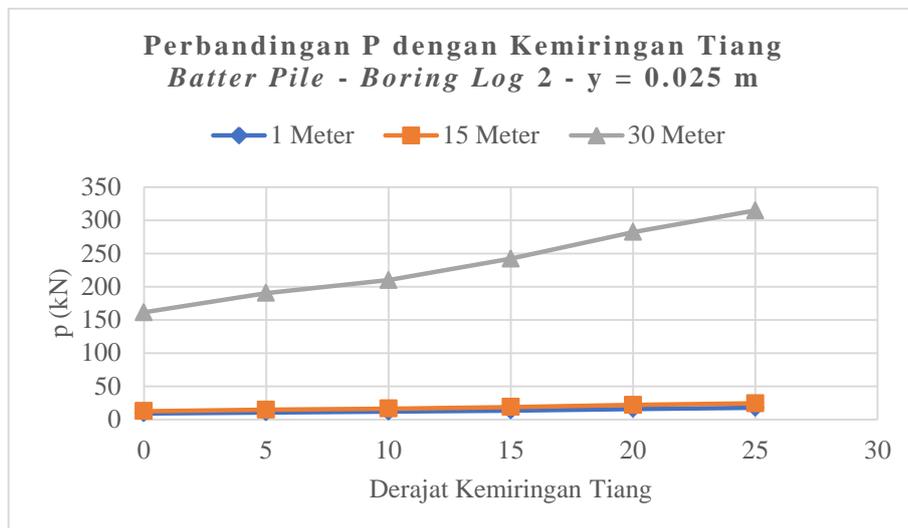
Gambar 5. Perubahan Daya Dukung Selimut Izin



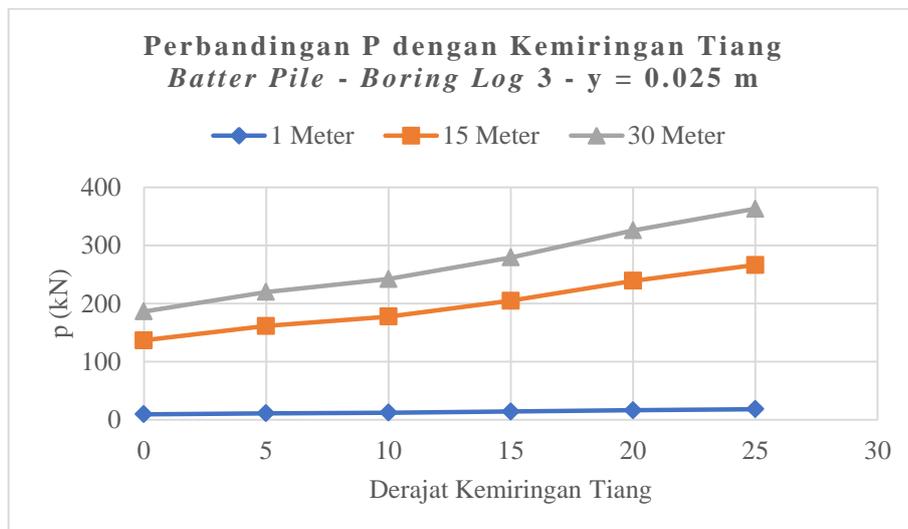
Gambar 6. Perubahan Daya Dukung Izin (Total)



Gambar 7. Perbandingan P dengan Kemiringan Tiang – *Boring log 1*



Gambar 8. Perbandingan P dengan Kemiringan Tiang – *Boring log 2*



Gambar 9. Perbandingan P dengan Kemiringan Tiang – *Boring log 3*

4. KESIMPULAN

Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan;

1. Seperti dapat diamati pada Gambar 4, daya dukung ujung tiang (aksial) akan menurun berbanding terbalik dengan meningkatnya sudut kemiringan tiang. Penurunan daya dukung terbesar terjadi pada rentang kemiringan $+20^\circ$ hingga $+25^\circ$, dengan 36% dari total penurunan daya dukung terjadi pada rentang kemiringan tersebut.
2. Seperti dapat diamati pada Gambar 5, daya dukung selimut tiang (aksial) meningkat sejalan dengan meningkatnya sudut kemiringan tiang. Namun perlu dipertimbangkan peningkatan panjang tiang yang terjadi akibat dari kemiringan tiang.
3. Seperti dapat diamati pada Gambar 6, daya dukung izin total meningkat sejalan dengan meningkatnya sudut kemiringan tiang. Hal ini dikarenakan nilai daya dukung selimut tiang yang jauh melebihi nilai daya dukung ujung tiang, sehingga pengaruh kenaikan daya dukung selimut terhadap daya dukung izin total lebih besar dibanding pengaruh penurunan daya dukung ujung tiang.
4. Seperti dapat diamati pada Gambar 7-9, pada parameter y konstan di 0.025 meter, daya dukung lateral meningkat sejalan dengan kenaikan sudut kemiringan tiang. Peningkatan daya dukung terbesar terjadi pada rentang kemiringan $+15^\circ$ hingga $+20^\circ$, dengan 26% dari total peningkatan daya dukung terjadi pada rentang kemiringan tersebut.

Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan kesimpulan yang telah dirumuskan, saran yang dapat diberikan antara lain;

1. Desain tiang *batter pile* sesuai digunakan untuk menahan beban lateral dengan peningkatan kemampuan daya dukung yang signifikan, peningkatan daya dukung terbesar terjadi pada rentang kemiringan $+10^\circ$ hingga $+15^\circ$.
2. Pada desain tiang *end bearing pile*, pengaruh penurunan daya dukung akibat kemiringan sudut tiang perlu diperhatikan. Pengaruh penurunan ini lebih minimal pada desain tiang *friction pile*. Rentang penurunan kritis terjadi pada kemiringan antara $+20^\circ$ hingga $+25^\circ$.
3. Penelitian lebih lanjut diperlukan untuk memahami pengaruh kemiringan sudut tiang terhadap *bending moment* yang bekerja pada tiang.

DAFTAR PUSTAKA

- Awoshika, K., Reese, L. C., *Analysis of Foundation with Widely Spaced Batter Piles*, Texas: U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1971
- Boeckmann, A. J., et. al., *Effect of Coupling on A-Walls for Slope Stabilization*, Washington D. C.: U.S. Department of Transportation Office of the Assistant Secretary for Research and Technology, 2018
- C. Chattopadhyay, B & J. Pise, P., *Uplift Capacity of Piles in Sand*, *Journal of Geotechnical Engineering*, 112: ASCE, 1986
- Hannigan, Patrick J., et. al., *Design and Construction of Driven Pile Foundations*, Washington D. C.: National Highway Institute, 2016
- Indonesia. BAPPENAS. *Pengembangan Tol Laut Dalam RPJMN 2015-2019 dan Implementasi 2015*, Jakarta: BAPPENAS, 2015
- Kementerian Koordinator Bidang Kemaritiman Republik Indonesia, *PBB Verifikasi 16.056 Nama Pulau Indonesia*, 2018, tersedia di: <https://maritim.go.id/pbb-verifikasi-16-056-nama-pulau-indonesia/> diakses 15 Januari 2019
- Kubo, J., *Experimental Study of the Behaviour of Laterally Loaded Piles*, *Proc. 6th International Conference*, Vol. 2.: *SM and FE*, 1965
- Matlock, H., *Correlation for Design of Laterally Loaded Piles in Soft Clay*. doi:10.4043/1204-MS, Austin: Offshore Technology Conference, 1970
- Murthy, V. N. S., *Geotechnical Engineering: Principles and Practices of Soil Mechanics and Foundation Engineering*, London: CRC Press, 2002
- PT. Pelindo IV, *Menteri BUMN Resmikan 16 Proyek Strategis Senilai Rp2,153 Triliun di Kawasan Timur Indonesia*, 2018, tersedia di: <https://inaport4.co.id/read/20171204/552/menteri-bumn-resmikan-16-proyek-strategis-senilai-rp2153-triliun-di-kawasan-timur-indonesia> diakses 15 Januari 2019
- Reese, L. C., Van Impe, W., *Single Pile and Pile Groups Under Lateral Loading 2nd Edition*, London: CRC Press, 2001

