

## PENGARUH KEMIRINGAN FONDASI TIANG PANCANG *BATTERED PILE* PADA TANAH LEMPUNG DAN TANAH PASIR

Swendrinata Suwardi<sup>1</sup> dan Andryan Suhendra<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*Swendrinatas.ts@stu.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta  
*Andryansuhendra@yahoo.com*

Masuk: 17-01-2020, revisi: 01-05-2020, diterima untuk diterbitkan: 13-05-2020

### ABSTRACT

*The Battered Pile is one of the foundation designs that aims to increase the lateral bearing capacity of the foundation. Battered Pile are designed with a certain slope that aims to increase the lateral capacity of the soil. The type of soil used will affect the lateral capacity of the pole. Calculation of bearing capacity of the pile is carried out on the condition of clay and sand soils at slope 0° to +20°. The calculation results will then be analyzed to understand the effects that occur. The calculation results will be presented in the p-y curve method. The use of this method is expected to make it easier to understand the characteristics of Battered Pile for soil conditions. Based on the analysis it was found that an increase in the capacity of the pile up to 23% in the slope of 10° to 15°. Sand soil in conditions below the surface of the ground water will have a linear carrying capacity and have a lower deflection value when compared to clay soil at a depth of 2 meters. But at a depth of 16 meters, clay has a point where it has a lower deflection value compared to sandy soil.*

*Keywords: Battered Pile; sand soil; clay soil; p-y curve*

### ABSTRAK

Tiang pancang *Battered Pile* merupakan salah satu rekayasa fondasi yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral fondasi. Tiang *Battered Pile* dipancang dengan kemiringan tertentu yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral tanah. Jenis tanah yang digunakan akan mempengaruhi daya dukung lateral tiang. Perhitungan daya dukung tiang dilakukan pada kondisi tanah lempung dan tanah pasir pada kemiringan 0° hingga +20°. Hasil perhitungan kemudian akan dianalisis untuk memahami pengaruh yang terjadi. Hasil perhitungan akan disajikan dalam metode p-y curve. Penggunaan metode ini diharapkan dapat memudahkan dalam memahami karakteristik tiang *Battered Pile* terhadap kondisi tanah. Berdasarkan analisis didapatkan bahwa terjadi peningkatan daya dukung tiang hingga 23% pada kemiringan 10° hingga 15°. Tanah pasir pada kondisi di bawah permukaan air tanah akan mengalami kenaikan daya dukung secara linier dan memiliki nilai lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah lempung pada kedalaman 2 meter. Tetapi pada kedalaman 16 meter, tanah lempung memiliki titik dimana memiliki nilai lendutan yang lebih kecil jika dibandingkan dengan tanah pasir.

Kata kunci: *Battered Pile*; tanah pasir; tanah lempung; p-y curve

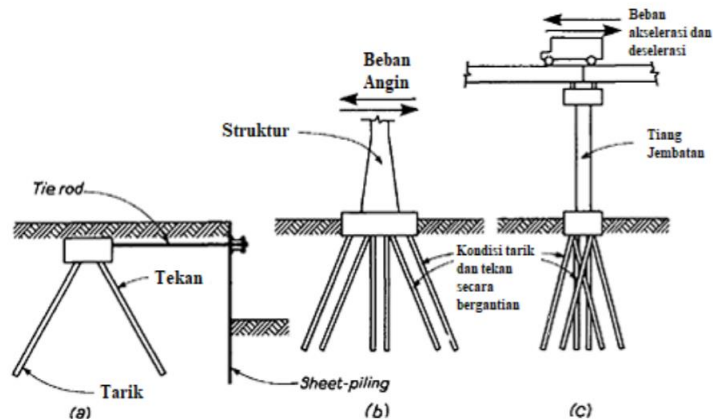
### 1. PENDAHULUAN

Dalam pemilihan konstruksi fondasi, *Battered Pile* merupakan salah satu bentuk upaya yang dapat digunakan dalam konstruksi daerah pesisir. Fondasi *Battered Pile* yang memasang tiang fondasi pada sudut kemiringan tertentu diharapkan memiliki daya tahanan lateral yang lebih baik dibandingkan dengan konstruks tiang biasa dengan spesifikasi yang serupa. Hal ini dapat terjadi dikarenakan sebagian beban lateral akan disalurkan sebagai beban aksial. Infrastruktur umum seperti jembatan, merupakan sarana umum yang digunakan oleh berbagai pihak. Jembatan menjadi peran penting dalam berbagai sektor kehidupan seperti transportasi, perekonomian, hingga kebutuhan sehari-hari. Kegagalan dalam pembangunan jembatan dapat berdampak buruk, selain dapat terjadi kegagalan ekonomi pada masyarakat sekitar, dapat pula terjadi kehilangan jiwa seseorang. Agar penelitian ini terfokus pada 1 masalah yang spesifik, memiliki batasan masalah seperti, Analisis menggunakan data penyelidikan tanah di Pantai Indah Kapuk, Jakarta Utara. Spesifikasi tiang yang digunakan adalah tiang pancang beton dengan diameter 457 mm. Sudut kemiringan tiang yang digunakan 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°. Dilakukan perhitungan daya lateral tiang fondasi dengan metode Kurva p-y yang dikorelasikan dengan *software* computer. Perhitungan yang dilakukan berdasarkan kondisi

plastis tanah. Dan dilakukan perhitungan berdasarkan tanah pasir dan tanah lempung. Tujuan pada penelitian ini adalah untuk memahami pengaruh sudut kemiringan *Battered Pile* pada jenis tanah pasir dan tanah lempung.

### ***Battered Pile***

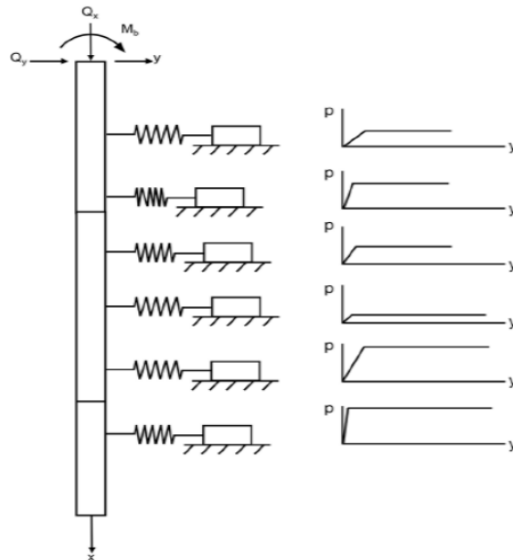
Menurut Hannigan, et al. (2016), *Battered Pile* umumnya digunakan untuk meningkatkan daya dukung lateral dari sekelompok tiang jika tiang vertikal tidak dapat menyediakan daya dukung yang dibutuhkan. Contoh penggunaan *Battered Pile* dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Contoh penggunaan *Battered Pile* (Sumber: Tomlinson, 1994)

### **Metode kurva p-y**

Metode kurva p-y (Hannigan, 2016) 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. Pada metode ini, serangkaian pegas nonlinier digunakan untuk menggambarkan daya dukung tanah terhadap beban lateral.



Gambar 2. Model metode analisis non-linier dengan kurva p-y (Sumber: Hannigan, 2016)

Pada metode ini, serangkaian pegas nonlinier digunakan untuk menggambarkan daya dukung tanah terhadap beban lateral seperti yang ditampilkan di Gambar 1. Persamaan yang dapat menggambarkan kurva p-y adalah sebagai berikut:

$$k = -\frac{p}{y} \quad (1)$$

dengan  $k$  = Modulus reaksi lapisan tanah (kN/meter),  $p$  = Daya dukung tanah per satuan panjang tiang (kN), dan  $y$  = Lendutan lateral (meter).

## Tanah pasir

Tanah pasir adalah tanah dengan partikel berukuran besar. Tanah ini terbentuk dari batuan-batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butiran besar dan kasar atau yang sering disebut dengan kerikil. Tanah pasir memiliki kapasitas serat air yang rendah karena sebagian besar tersusun atas partikel berukuran 0,02 sampai 2 mm.

Tanah pasir memiliki tekstur yang kasar. Terdapat ruang pori-pori yang besar diantara butiran-butirannya sehingga kondisi tanah ini menjadi struktur yang lepas dan gembur. Dengan kondisi yang seperti itu menjadikan tanah pasir ini memiliki kemampuan yang rendah untuk dapat mengikat air. Pada dasarnya tanah pasir merupakan tanah yang tidak cocok untuk digunakan sebagai media tanam karena partikelnya yang besar dan kurang dapat menahan air.

Tanah pasir dalam kondisi padat cenderung memiliki sifat-sifat yang baik. Namun pada kondisi tertentu, seperti bila dalam kondisi lepas dan jenuh air, dapat memiliki kuat geser yang rendah ketika terjadi beban siklik seperti gempa bumi. Pada keadaan ini lapisan pasir kehilangan kuat gesernya atau berkurang. Secara umum, kuat geser tanah pasir disumbangkan oleh nilai sudut gesek internal. Guna meningkatkan kuat gesernya, perbaikan tanah pasir sering dilakukan dengan inklusi serat atau campuran semen.

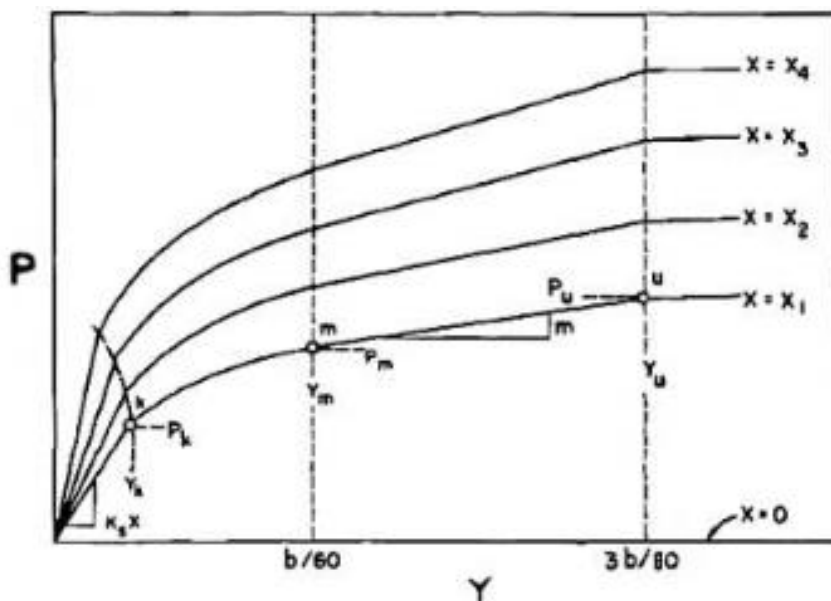
Tanah pasir adalah tanah dengan partikel berukuran besar. Tanah ini terbentuk dari batuan-batuan beku serta batuan sedimen yang memiliki butiran besar dan kasar atau yang sering disebut dengan kerikil. Tanah pasir memiliki kapasitas serat air yang rendah karena sebagian besar tersusun atas partikel berukuran 0,02 sampai 2 mm. Pada tanah pasir, Dalam menghitung nilai daya dukung maksimal tiang per satuan panjang ( $P_s$ ), dapat digunakan beberapa persamaan seperti berikut ini;

$$P_{s1} = \gamma z \left[ \frac{k_0 z \tan \phi \sin \beta}{\tan(\beta - \phi) \cos \alpha} + \frac{\tan \beta}{\tan(\beta - \phi)} (b + z \tan \beta \tan \alpha) + K_0 z \tan \beta (\tan \phi \sin \beta - \tan \alpha) - K_a b \right] \quad (2)$$

dan,

$$P_{s2} = K_a b \gamma z (\tan^8 \beta - 1) + K_0 b \gamma z \tan \phi \tan^4 \beta \quad (3)$$

Lalu diambil nilai terkecil dari kedua nilai  $P_s$  tersebut. Karakteristik bentuk kurva p-y pada tanah pasir dapat dilihat pada gambar 3.



Gambar 3. Bentuk karakteristik kurva p-y dengan beban statik pada tanah pasir (Sumber: Reese et al., 2001)

## Tanah lempung

Berdasarkan SNI 6371-2015, Tanah lempung adalah butiran tanah yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) yang dalam satu rentang kadar air tertentu bersifat plastis dan mempunyai kekuatan yang cukup besar pada saat kering udara. Untuk klasifikasi, lempung termasuk tanah yang berbutir halus, atau bagian tanah yang berbutir halus, dengan indeks plastisitas sama atau lebih besar dari 4.

Tanah lempung merupakan tanah yang berasal dari pelapukan unsur kimiawi penyusun batuan pada ukuran mikrokonis dan sub-mikrokonis dengan rumus kimia  $Al_2O_3.nSiO_2.kH_2O$ . Menurut Bowles (1991), tanah lempung adalah partikel mineral yang berukuran lebih kecil dari 0,002 mm yang merupakan unsur utama dalam proses kohesif dalam tanah. Tanah lempung dari proses pembentukannya merupakan hasil dari pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian lagi prosesnya berasal dari aktifitas panas bumi atau geothermal.

Tanah lempung dari proses pembentukannya merupakan hasil dari pelapukan batuan silika oleh asam karbonat dan sebagian lagi prosesnya berasal dari aktifitas panas bumi atau geothermal. Tanah lempung adalah butiran tanah yang lolos ayakan No. 200 (0,075 mm) yang dalam satu rentang kadar air tertentu bersifat plastis dan mempunyai kekuatan yang cukup besar pada saat kering udara.

Dalam melakukan analisis pada tanah lempung, Dapat dilakukan dengan menghitung daya dukung maksimal tiang per satuan panjang ( $P_{ult}$ ) dengan persamaan seperti berikut :

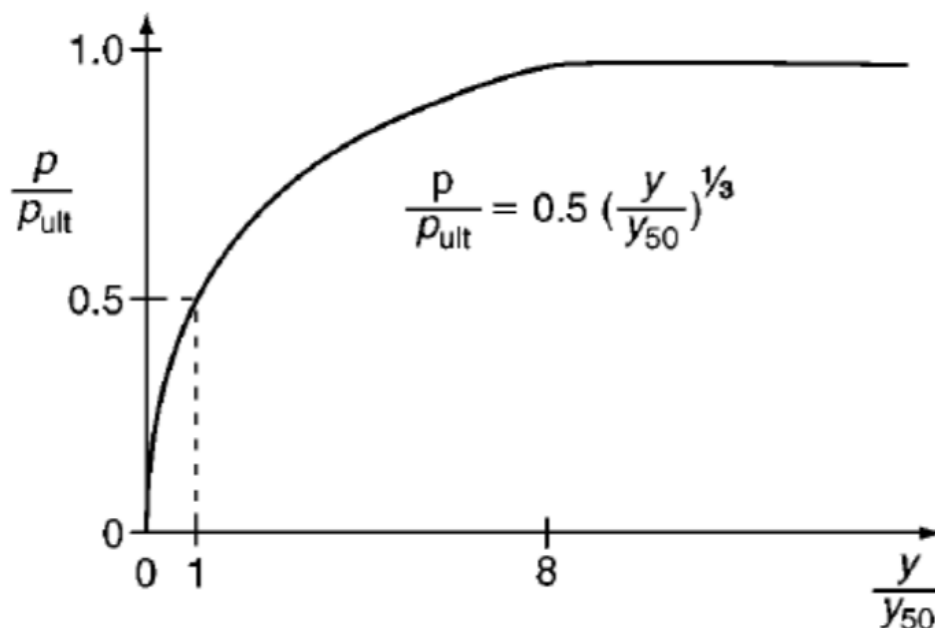
$$P_{ult} = 9 C_u b \quad (4)$$

dan,

$$P_{ult} = \left( 3 + \frac{\gamma}{C_u} z + \frac{J}{b} z \right) C_u b \quad (5)$$

dengan,  $\gamma$  = Berat Jenis Tanah rata-rata,  $Z$  = Kedalaman,  $C_u$  = Kuat Geser pada kedalaman  $Z$ ,  $B$  = Diameter Tiang, dan  $J$  = Koefisien eksperimental(0,5).

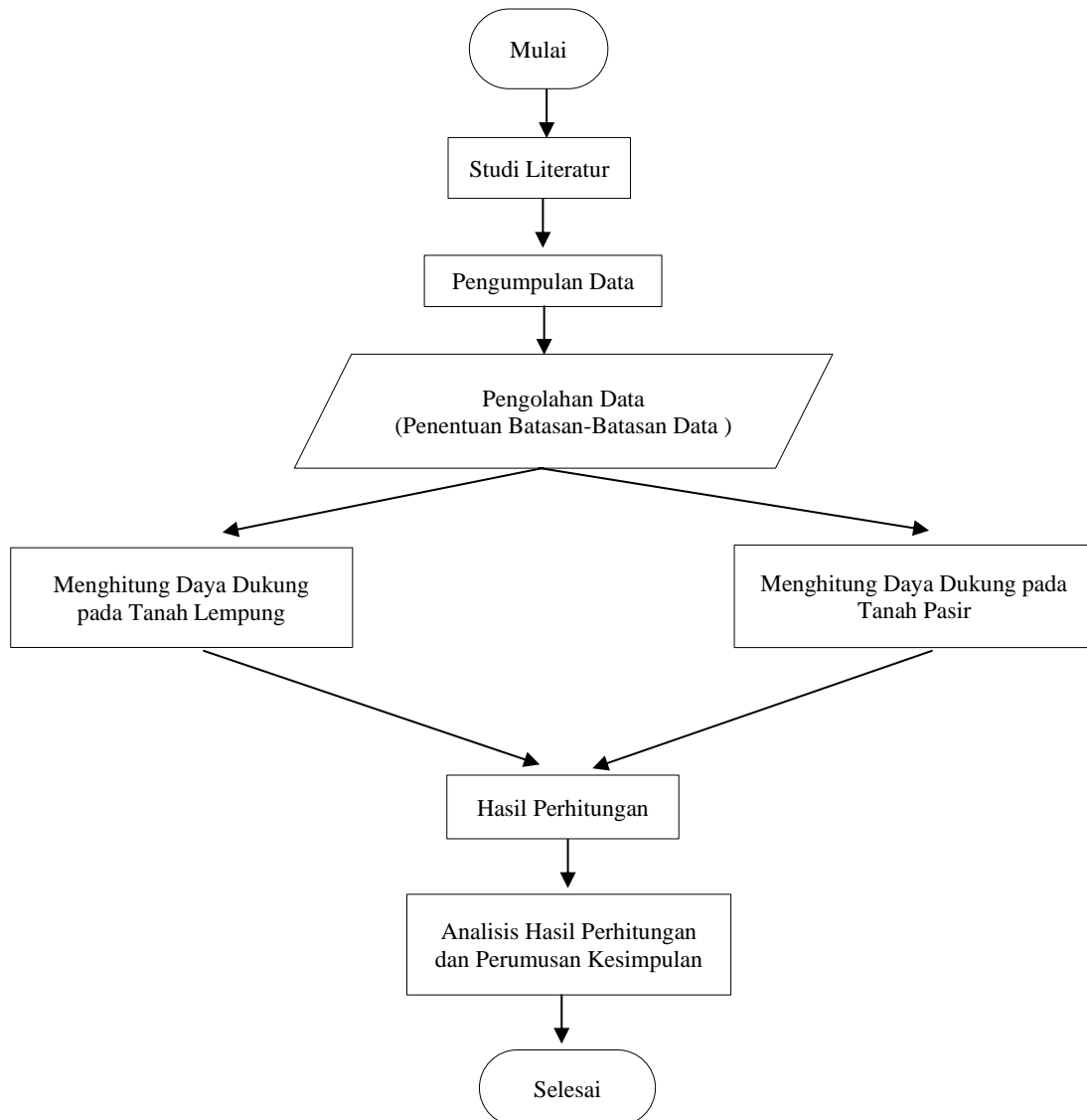
Pada Gambar 4 terdapat bentuk karakteristik kurva p-y pada jenis tanah lempung.



Gambar 4. Bentuk tipikal kurva p-y pada tanah lempung (Sumber: Reese et al., 2001)

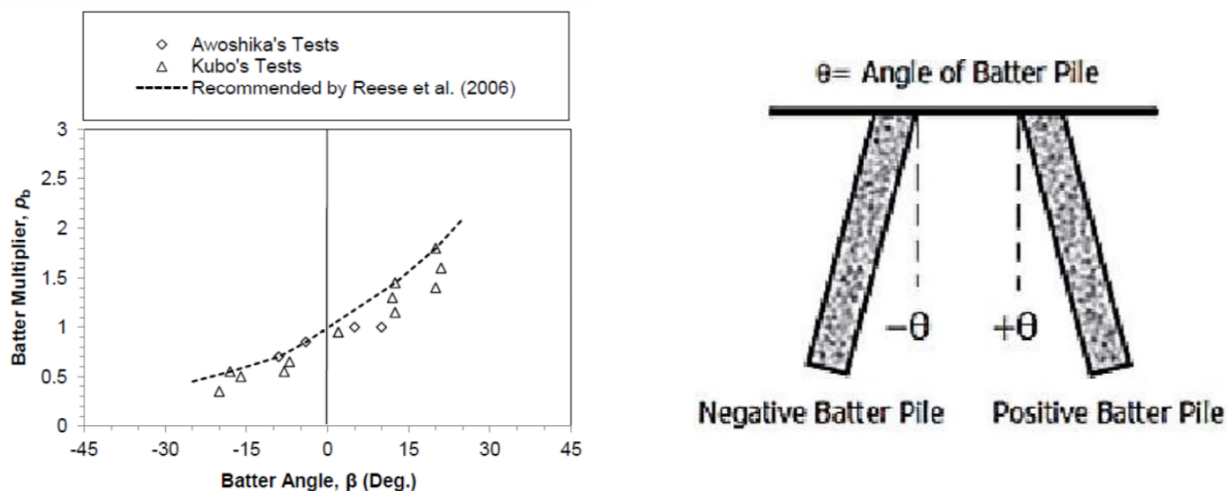
## 2. METODE PENELITIAN

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. Pada Gambar 5 telah dijelaskan mengenai diagram alir penelitian yang dilakukan. Analisis daya dukung lateral dalam penelitian ini menggunakan metode Kurva p-y dengan menggunakan faktor modifikasi untuk tiang *Battered Pile* menurut Boeckmann(2018).



Gambar 5. Diagram alir penelitian

Metode kurva p-y ini digunakan untuk menganalisis respon tanah lempung lunak terhadap beban lateral. Analisis akan dilakukan dengan menggunakan model tiang dengan sudut positif yaitu kemiringan searah dengan beban lateral. Model tiang bersudut positif ini digunakan sesuai dengan karakteristik umum penggunaan *Battered Pile* sebagai tiang untuk menahan gaya lateral. Plot kurva dibuat pada setiap kemiringan tiang dimulai dari 0°, 5°, 10°, 15°, dan 20°. Pada gambar 6 merupakan faktor modifikasi yang diusulkan dalam perancangan tiang *Battered Pile*.



Gambar 6. Faktor modifikasi yang diusulkan untuk tiang pancang *Battered Pile* (Sumber: Boeckmann, 2018)

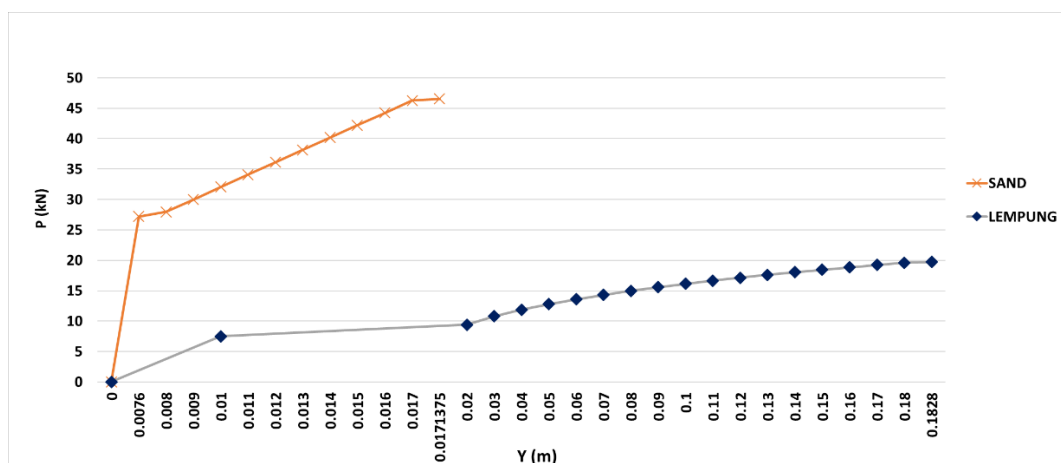
### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Susunan lapisan tanah dibuat berdasarkan hasil pengujian SPT 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 berikut;

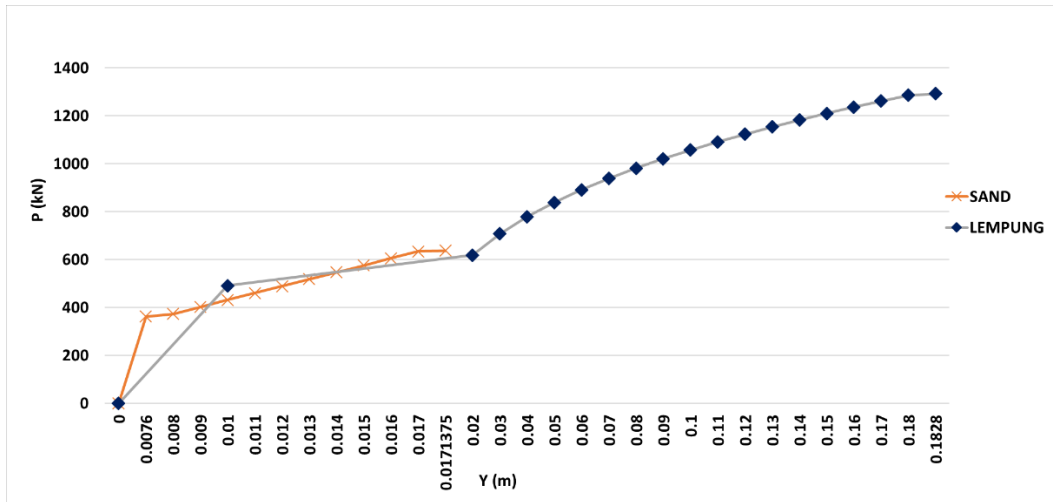
Tabel 1. Data tanah yang digunakan

Kedalaman	NSPT
0-10	1
10-12	12
12-13.5	9
13.5-15	17
15-16	33

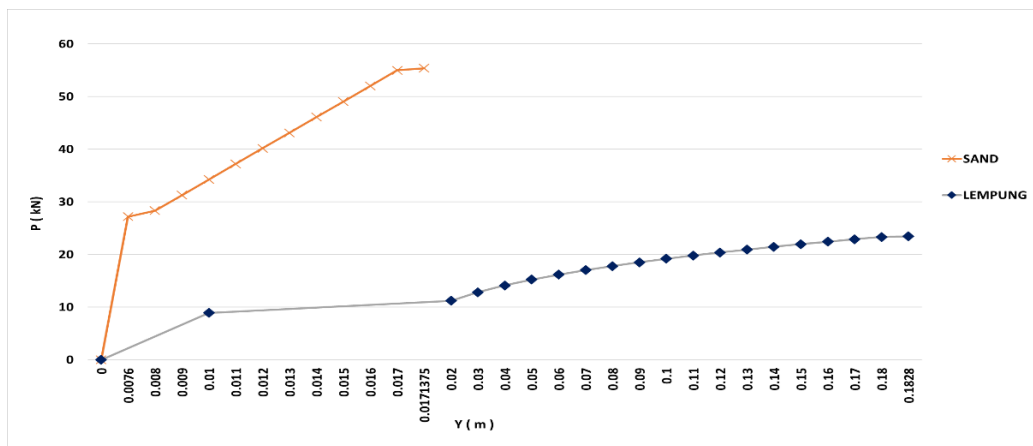
Data tiang yang digunakan berupa *Driving Steel Pile (Open End)* dengan diameter 457mm, dan ketebalan 10 mm. Pembebanan yang digunakan dalam analisis adalah tiang tunggal *free head* dengan jenis pembebanan statis.



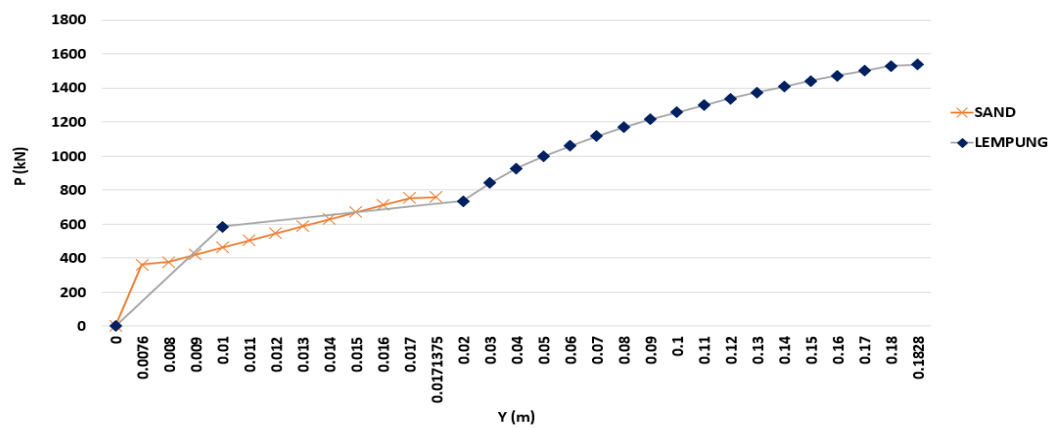
Gambar 7. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $0^0$  kedalaman 2 meter



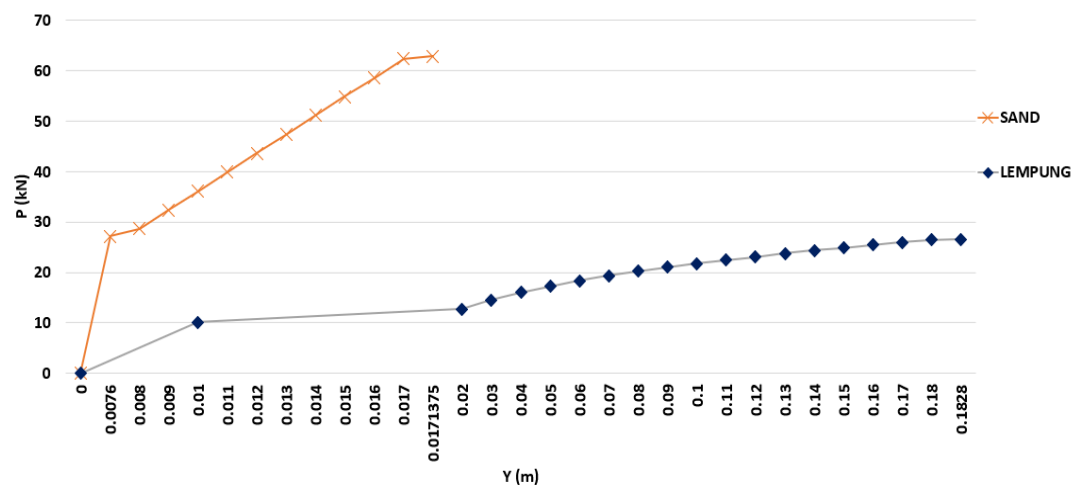
Gambar 8. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $0^0$  kedalaman 16 meter



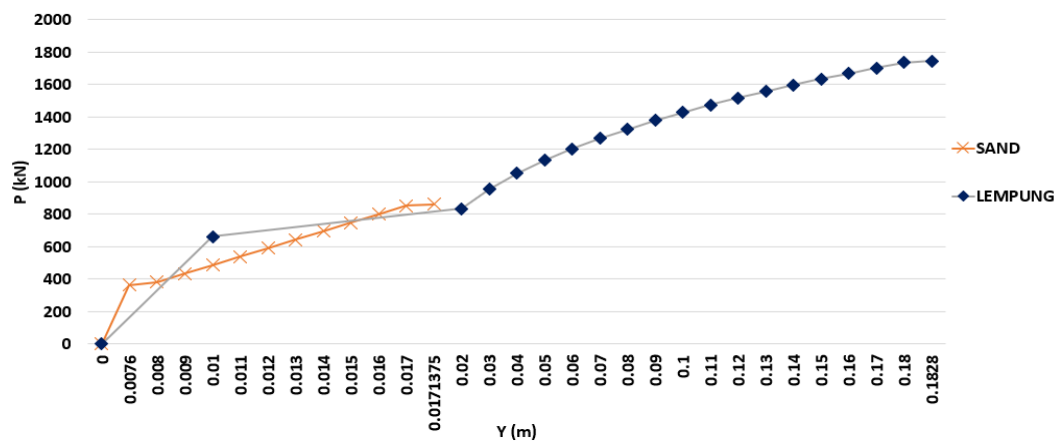
Gambar 9. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $5^0$  kedalaman 2 meter



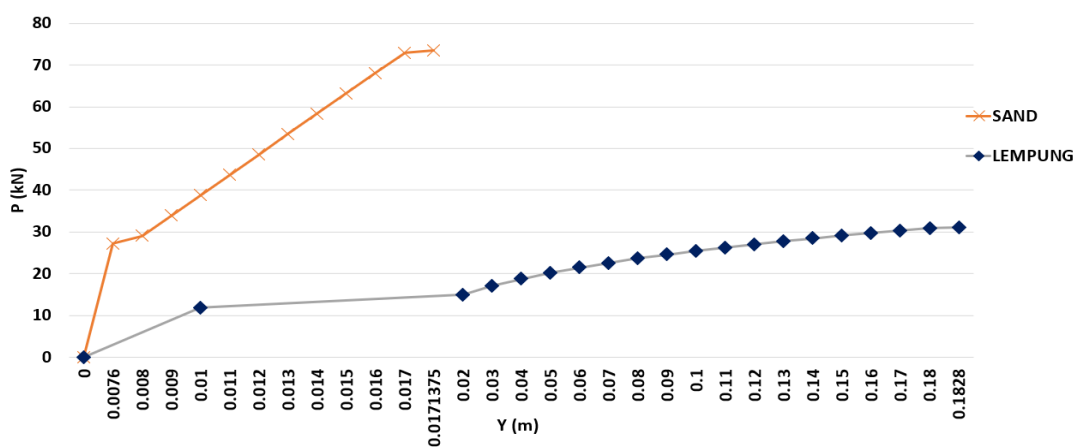
Gambar 10. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $5^0$  kedalaman 16 meter



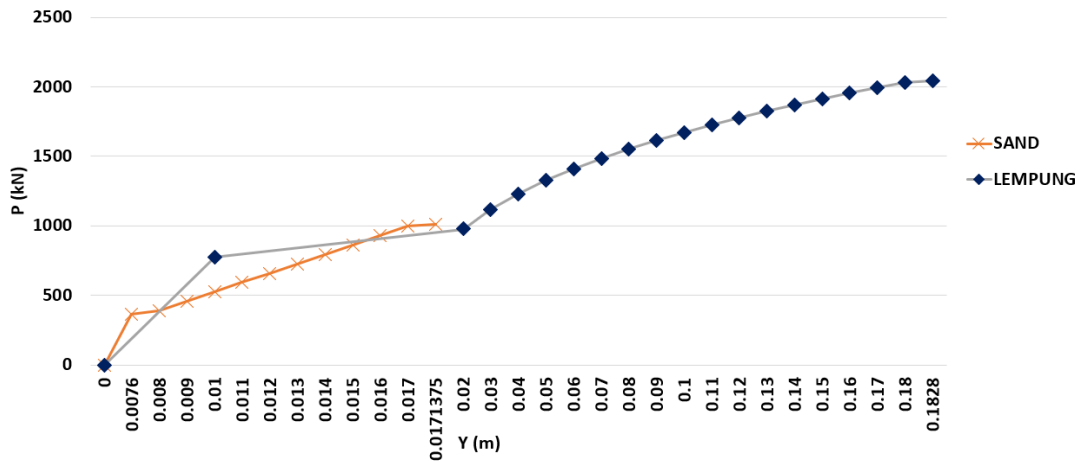
Gambar 11. kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $10^0$  kedalaman 2 meter



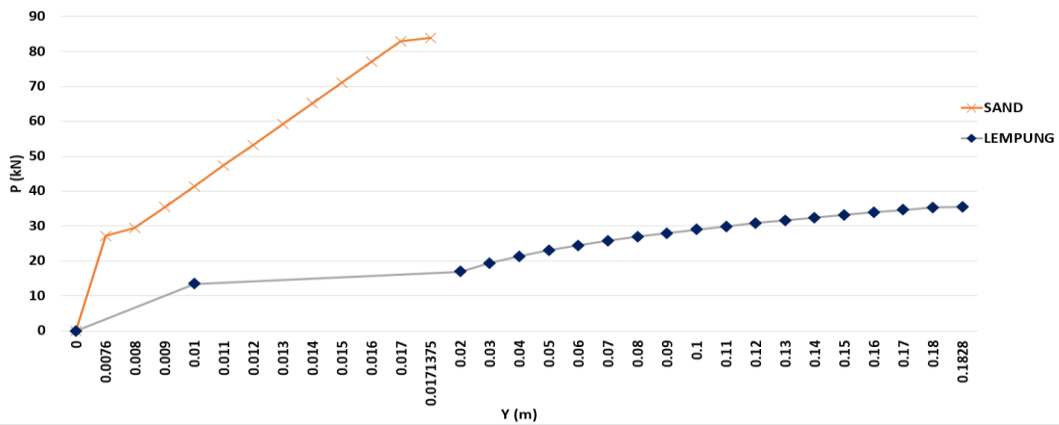
Gambar 12. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $10^0$  kedalaman 16 meter



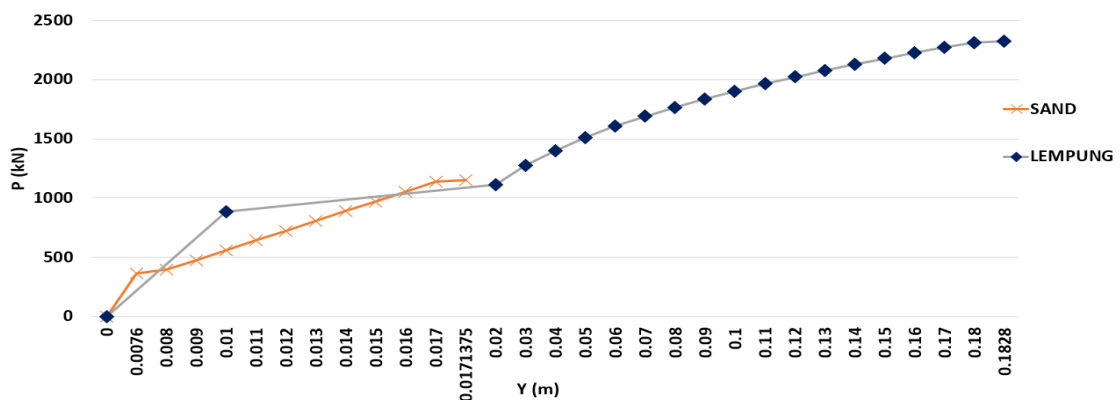
Gambar 13. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $15^0$  kedalaman 2 meter



Gambar 14. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $15^0$  kedalaman 16 meter



Gambar 15. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $20^0$  kedalaman 2 meter



Gambar 16. Kurva p-y terhadap tanah pasir dan tanah lempung kondisi tiang  $20^0$  kedalaman 16 meter

Berdasarkan gambar 7-16, terdapat perbandingan kurva p-y pada tanah pasir dan tanah lempung. Pada kedalaman 2 meter, tanah pasir memiliki daya dukung lateral yang lebih baik dibandingkan tanah lempung dengan lendutan yang lebih kecil, tetapi pada kedalaman 16 meter, tanah lempung memiliki batas daya dukung lateral yang lebih besar dibandingkan dengan tanah pasir.

Tabel 2. Pult pada analisis *Battered Piles* pada kedalaman 2 meter.

Angle	Jenis Tanah	
	Pasir	Lempung
0.000	46.544	19.710
5.000	55.387	23.455
10.000	62.835	26.609
15.000	73.540	31.142
20.000	83.779	35.478

Tabel 3. Pult pada analisis *Battered Piles* pada kedalaman 16 meter

Angle	Jenis Tanah	
	Pasir	Lempung
0.000	637.983	814.374
5.000	759.200	969.105
10.000	861.277	1099.405
15.000	1008.014	1286.711
20.000	1148.370	1465.873

Pada Tabel 2 dan 3 telah terdapat analisis perbandingan daya dukung tiang ( $P_{ult}$ ) pada kedalaman 2 dan 16 meter. Dapat dilihat bahwa pada kedalaman 2 meter tanah pasir memiliki daya dukung tiang yang lebih baik daripada tanah lempung. Tetapi pada kedalaman 16 meter tanah lempung memiliki nilai daya dukung tiang yang lebih besar dibandingkan dengan tanah pasir.

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan

1. peningkatan kemampuan daya dukung yang signifikan, peningkatan daya dukung terbesar terjadi pada rentang kemiringan  $+10^0$  hingga  $+15^0$  yang mengalami peningkatan sebesar 23%.
2. Berdasarkan kurva p-y pada tanah pasir, tanah pasir yang berada di bawah permukaan air tanah relatif memiliki kenaikan secara konstan atau linier.
3. Tanah pasir cenderung memiliki lendutan yang jauh lebih kecil dibandingkan dengan tanah lempung pada kedalaman 2 meter. Tetapi pada kedalaman 16 meter, tanah lempung memiliki titik dimana terjadi lendutan yang lebih kecil dibandingkan dengan tanah pasir.
4.  $y_{ult}$  pada tanah lempung lebih tinggi dibandingkan dengan  $y_{ult}$  pada tanah pasir. Seperti pada kondisi tiang  $0^0$  kedalaman 2 meter.  $y_{ult}$  tanah pasir adalah sebesar 0,0171meter, sedangkan pada tanah lempung sebesar 0,1828 meter.
5. Daya dukung *ultimate* tanah lunak pada tiang yang berada di kedalaman 2 meter dan 16 meter mengalami kenaikan sebesar 1270,707% dari 46,544 kN menjadi 637,983 kN.
6. Pada kedalaman 2 meter, tanah pasir memiliki daya dukung ultimate yang lebih besar 136,1447% dibandingkan tanah lempung. Tetapi pada saat kedalaman 16 meter, daya dukung tanah pasir lebih kecil 27,648% dibandingkan tanah lempung.

##### Saran

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

1. Melakukan survey di lapangan dan dapat melakukan perhitungan dengan metode lain sehingga mendapatkan data yang lebih akurat.
2. Melakukan analisis dengan aplikasi lain sebagai pembanding dan untuk melengkapi kekurangan-kekurangan pada program yang digunakan.
3. Perlu dilakukannya uji laboratorium agar didapatkan parameter dan karakteristik tanah yang lebih akurat.
4. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk panjang tiang lainnya.

## **DAFTAR PUSTAKA**

- Awoshika, K., dan Reese, L. C., *Analysis of Foundation with Widely Spaced Batter Piles*. U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration, 1971.
- Boeckmann, A. J., et al. *Effect of Coupling on A-Walls for Slope Stabilization*. U.S. Department of Transportation Office of the Assistant Secretary for Research and Technology, 2018.
- Hannigan, Patrick J., et al. *Design and Construction of Driven Pile Foundations*. National Highway Institute, 2016.
- Moore, M. A. *Raked Piles, Battered and Misunderstood*. Structure Magazine, 2005 .
- Reese, L. C., dan Van Impe, W. *Single Pile and Pile Groups Under Lateral Loading*. 2 nd Edition, CRC Press, 2001.
- Badan Standarisasi Nasional. *SNI 6371-2015: Tata cara pengklasifikasian tanah untuk keperluan teknik dengan sistem klasifikasi unifikasi tanah*. Badan Standarisasi Nasional, 2015.
- Tomlinson, M. J. *Pile Design and Construction Practice*. E & F N, Spon, 1994.

