

## PENGARUH NILAI SENSITIVITAS TANAH TERHADAP DAYA DUKUNG TIANG PADA BATTER PILE

Jason Limanjaya<sup>1</sup> dan Alfred Jonathan Susilo<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*jasonlimanjaya987@gmail.com*

<sup>2</sup>Program Studi Doktor Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*alfred@ft.untar.ac.id*

Masuk: 03-01-2024, revisi: 13-01-2024, diterima untuk diterbitkan: 06-02-2024

### ABSTRACT

*The use of batter pile is a form of foundation engineering that aims to increase lateral bearing capacity by converting part of the axial bearing capacity into lateral bearing capacity. Batter piles are generally used in buildings that withstand large lateral loads, such as bridges and coastal buildings. The thing that must be considered in addition to the foundation is the soil characteristics, in cohesive soils there is a soil sensitivity parameter that describes how responsive the soil is to disturbance. This study aims to determine the effect of cohesive soil sensitivity on the bearing capacity of batter piles in coastal areas with the pile tilt angle to be used is 0° to 25° and the sensitivity values to be used as parameters to be reviewed are 1, 4, 8, and 16. Calculation of bearing capacity on batter piles will be done by manual calculation. The dominant soil type that will be used in this research is clay. Based on the analysis, it is found that the greater the sensitivity value of the soil, the bearing capacity of the batter pile will be smaller and the largest change in bearing capacity occurs in the range of sensitivity values 1 to 4.*

*Keywords: Batter pile; lateral bearing capacity; axial bearing capacity; soil sensitivity; cohesive soil*

### ABSTRAK

Penggunaan *batter pile* merupakan salah satu bentuk rekayasa fondasi yang bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral dengan mengkonversi sebagian daya dukung aksial menjadi daya dukung lateral. *Batter pile* umumnya digunakan pada bangunan yang menahan beban lateral cukup besar, seperti jembatan dan bangunan pesisir pantai. Hal yang harus diperhatikan selain fondasi adalah karakteristik tanah, pada tanah kohesif terdapat parameter sensitivitas tanah yang menggambarkan seberapa responsif tanah terhadap gangguan. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh sensitivitas tanah kohesif terhadap daya dukung pada *batter pile* di daerah pesisir pantai dengan sudut kemiringan tiang yang akan digunakan adalah 0° hingga 25° dan nilai sensitivitas yang akan digunakan sebagai parameter yang akan ditinjau adalah 1, 4, 8, dan 16. Perhitungan daya dukung pada *batter pile* akan dilakukan dengan perhitungan manual. Jenis tanah dominan yang akan digunakan pada penelitian ini adalah tanah lempung. Berdasarkan analisis didapatkan semakin besar nilai sensitivitas tanah, maka daya dukung pada *batter pile* akan semakin kecil dan perubahan daya dukung terbesar terjadi pada rentang nilai sensitivitas 1 sampai 4.

Kata kunci: *Batter pile*; daya dukung lateral; daya dukung aksial; sensitivitas tanah; tanah kohesif.

### 1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data dari Badan Pusat Statistik Republik Indonesia, Indonesia merupakan negara kepulauan dengan total luas 5.051.442 km<sup>2</sup> yang terdiri dari 17.504 pulau dengan luas lautan sebesar 3.146.873 km<sup>2</sup> dan luas daratan sebesar 1.904.569 km<sup>2</sup>. Panjang garis pantai negara Indonesia mencapai lebih dari 54.700 km, hal ini menjadikan negara Indonesia memiliki salah satu garis pantai terpanjang di dunia. Dari begitu banyaknya pulau dan panjangnya garis pantai di negara Indonesia, konstruksi dermaga merupakan konstruksi yang menjadi sangat penting untuk dapat mengoptimalkan pemanfaatan potensi laut.

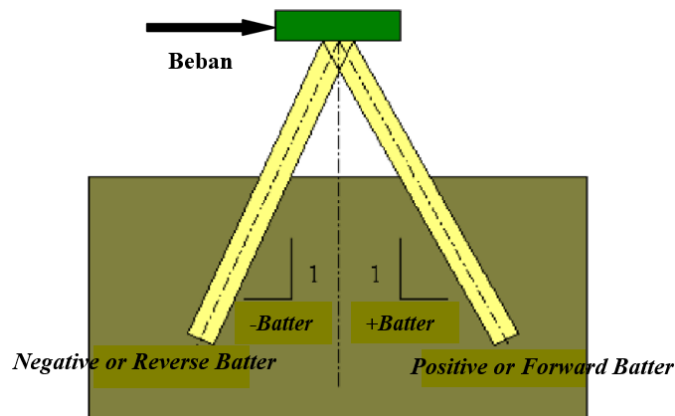
Dalam membangun sebuah dermaga yang dapat digunakan secara optimal, maka dalam konstruksinya harus diperhitungkan secara cermat dan tepat. Dalam konstruksi dermaga, penggunaan fondasi harus disesuaikan dengan kebutuhan pembebanan yang bekerja pada struktur dermaga. Beban yang bekerja pada dermaga sangat berbeda dengan pembebanan pada bangunan gedung pada umumnya. Hal yang membedakan adalah jenis pembebanan pada struktur, umumnya pada gedung beban yang cukup mendominasi ada beban aksial dari berat struktur itu sendiri saja, sedangkan pada struktur dermaga selain beban aksial dari struktur dermaga terdapat juga beban lateral yang berasal dari beban gelombang, arus, tumbukan kapal, tambatan kapal, dan lainnya. Berdasarkan beban yang bekerja pada

struktur dermaga, maka perlu dilakukan rekayasa fondasi yang berfungsi untuk mengoptimalkan kerja tiang fondasi dalam menahan beban aksial dan lateral. Salah satu rekayasa fondasi untuk menahan beban lateral yang cukup besar pada struktur dermaga adalah *batter pile*. Menurut Harri dan Susilo (2019), *batter pile* merupakan salah satu adaptasi yang dapat dilakukan untuk meningkatkan daya dukung fondasi akibat beban lateral khususnya di daerah pesisir pantai.

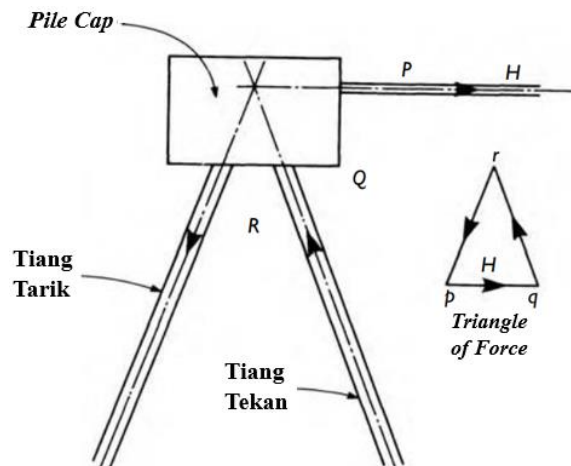
### ***Batter pile***

Menurut Das (2011), *batter pile* merupakan tiang pancang yang dipancang dengan sudut kemiringan tertentu untuk memberikan daya dukung lateral yang lebih besar dibandingkan dengan tiang pancang vertikal dan besar sudut kemiringan pada *batter pile* umumnya berkisar  $14^\circ$  sampai  $28^\circ$ . *Batter pile* merupakan fondasi tiang pancang yang dalam pemancangannya tiang diberikan sudut kemiringan terhadap sumbu vertikal. Pemberian sudut kemiringan pada *batter pile* bertujuan untuk meningkatkan daya dukung lateral dengan cara mengkonversikan sebagian daya dukung aksial menjadi daya dukung lateral. Menurut Tjandra dan Prihatingsih (2022), *batter pile* atau *inclined Pile* merupakan fondasi tiang yang dalam proses pengaplikasiannya diberikan sudut kemiringan tertentu terhadap posisi vertikal guna untuk meningkatkan daya dukung lateral pada struktur fondasi.

Menurut Zhang et al. (2002), *batter pile* dapat diklasifikasikan menjadi 2 tipe berdasarkan arah kemiringan terhadap beban lateral yang bekerja, yaitu *batter pile negative* dan *batter pile positive*. Menurut Tomlinson dan Woodward (1994), konsep dari penahanan gaya horizontal pada *batter pile* adalah sesuai dengan diagram *triangle of force*. Apabila gaya horizontal bekerja ke arah positif, maka gaya yang bekerja pada *batter pile positive* adalah gaya tekan dan gaya yang bekerja pada *batter pile negative* adalah gaya tarik. Untuk penggambaran jenis-jenis *batter pile* berdasarkan kemiringan terhadap arah lateral dapat dilihat pada Gambar 1 dan untuk penggambaran konsep penahanan gaya horizontal pada *batter pile* dapat dilihat pada Gambar 2.



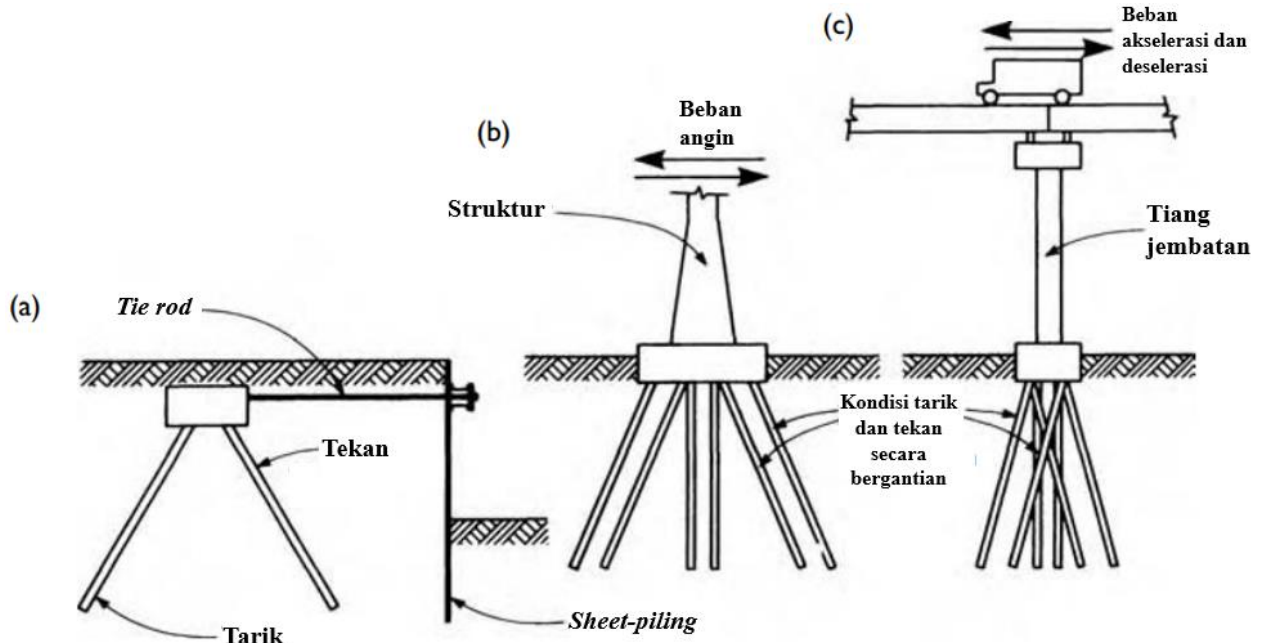
Gambar 1. Tipe-tipe batter pile berdasarkan arah kemiringan terhadap arah beban lateral (Pathak, 2011)



Gambar 2. Konsep penahanan gaya horizontal pada *batter pile* (Tomlinson & Woodward, 1994)

Penggunaan *batter pile* dapat diaplikasikan untuk macam-macam pekerjaan konstruksi yang membutuhkan daya dukung lateral yang cukup besar. Contoh penerapan *batter pile* untuk menahan geser dan guling pada struktur dapat

dilihat pada Gambar 3. Pada Gambar 3(a) merupakan penerapan *batter pile* untuk menahan tekanan lateral tanah, Gambar 3(b) merupakan penerapan *batter pile* untuk menahan beban angin, dan Gambar 3(c) untuk penerapan *batter pile* untuk menahan akselerasi dan deselerasi kendaraan.



Gambar 3. Contoh penerapan *batter pile* untuk menahan geser dan guling pada struktur (Tomlinson & Woodward, 1994)

### Sensitivitas tanah

Dalam sebuah struktur, selain fondasi tanah juga ikut berkontribusi untuk menahan beban struktur. Apabila fondasi cukup kuat untuk menahan beban struktur, namun tanah tidak cukup kuat untuk menahan beban struktur maka kegagalan tetap bisa terjadi. Tanah diklasifikasikan menjadi 2 jenis, yaitu tanah kohesif dan tanah non-kohesif. Pada penelitian jenis tanah yang akan dianalisis adalah tanah kohesif dengan parameter tanah yang dijadikan objek penelitian adalah sensitivitas tanah.

Sensitivitas tanah merupakan parameter tanah yang menggambarkan seberapa responsif tanah akibat gangguan (*disturbance*). Menurut Lefebvre (2018), sensitivitas merupakan rasio dari kekuatan geser tidak terganggu (*undisturbed*) terhadap kekuatan geser tanah yang dicetak ulang (*remolded*), yang berarti sensitivitas menyatakan besarnya kekuatan yang hilang ketika tanah dicetak ulang. Untuk nilai sensitivitas sendiri bisa didapatkan dengan melakukan pengujian laboratorium seperti *unconfined compression test* (UCT). Menurut Bowles (1979), sensitivitas tanah diklasifikasikan menjadi 5, yaitu *insensitive*, *medium sensitive*, *sensitive*, *very sensitive*, dan *quick*. Untuk besar nilai sensitivitas pada setiap klasifikasi dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Klasifikasi sensitivitas tanah lempung (Bowles, 1979)

Classification Soil	Soil Sensitivity
Insensitive	$S_t < 2$
Medium Sensitive	$2 < S_t < 4$
Sensitive	$4 < S_t < 8$
Very Sensitive	$8 < S_t < 16$
Quick	$S_t > 16$

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh nilai sensitivitas tanah terhadap daya dukung *batter pile* akibat gangguan pada saat proses pemancangan tiang. Hal ini dikarenakan pada saat proses pemancangan, tanah disekitar selimut tiang mengalami gesekan yang mengakibatkan struktur molekul tanah menjadi kehilangan kekuatannya. Namun pada umumnya nilai sensitivitas suatu tanah pasti akan kembali ke kondisi semula dalam kurun waktu tertentu.

### Perhitungan daya dukung aksial pada *batter pile*

Analisis daya dukung aksial dan tarik *batter pile* pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan perhitungan manual. Menurut Meyerhof dan Ranjan (1973), besarnya daya dukung maksimum pada *batter pile* dapat diperhitungkan dengan cara mengasumsikan *batter pile* sebagai sebuah tiang vertikal yang diberikan beban yang bersudut/miring. Persamaan 1-5 yang digunakan untuk mencari daya dukung tiang pancang vertikal yang dapat dilihat pada Gambar 4.

Persamaan daya dukung aksial tiang vertikal:

$$Q_u = Q_t + Q_s \quad (1)$$

Untuk tanah kohesif:

$$Q_t = q_p A_p = 9 C_u A_p \quad (2)$$

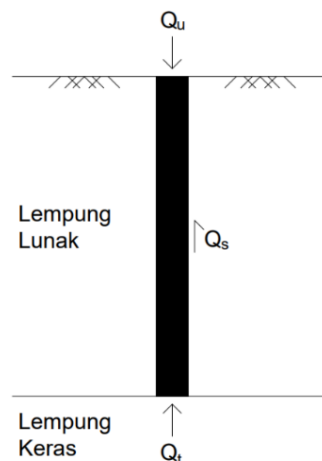
$$Q_s = f_s A_s = \alpha C_u A_s \quad (3)$$

Untuk tanah non kohesif:

$$Q_t = 40 \text{ N-SPT } A_p \quad (4)$$

$$Q_s = 0,2 \text{ N-SPT } A_s \quad (5)$$

dengan  $Q_u$  = Daya dukung tiang tunggal vertikal (kN),  $Q_t$  = Tahanan ujung tiang (kN),  $q_p$  = Tegangan efektif pada ujung tiang (kN/m<sup>2</sup> atau kPa),  $A_p$  = Luas penampang tiang (m<sup>2</sup>),  $C_u$  = Kohesi atau kuat geser tanah (kN/m<sup>2</sup> atau kPa),  $\alpha$  = Koefisien alfa,  $Q_s$  = Tahanan friksi tiang (kN),  $f_s$  = Unit tahanan selimut tiang (kN/m<sup>2</sup>), dan  $A_s$  = Luas selimut tiang (m<sup>2</sup>).



Gambar 4. Daya dukung tiang vertikal

Persamaan 6-11 untuk daya dukung aksial *batter pile* yang dapat dilihat pada Gambar 5.

$$Q_{um} = \left( \left( \frac{\cos \alpha}{Q_a} \right)^2 + \left( \frac{\sin \alpha}{Q_h} \right)^2 \right)^{-1} \quad (6)$$

$$Q_{um} = Q_a \cos \beta \quad (7)$$

$$Q_a = 9 C_u A_p + \alpha C_u A_s \quad (8)$$

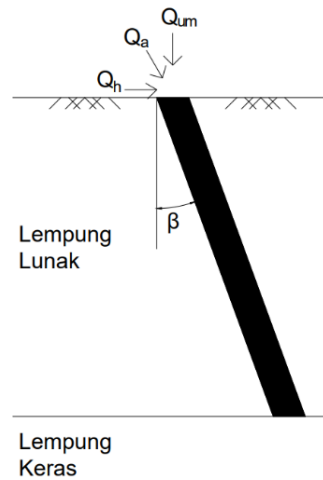
$$Q_a = 40 \text{ N-SPT } A_p + 0,2 \text{ N-SPT } A_s \quad (9)$$

$$Q_h = 0,4 C_u D d K_c \quad (10)$$

$$\alpha = (90 - \beta)^\circ \quad (11)$$

dengan  $Q_{um}$  = Daya dukung tiang tunggal miring (kN),  $Q_a$  = Daya dukung searah tiang (kN),  $Q_h$  = Daya dukung horizontal (kN),  $\beta$  = Sudut kemiringan tiang ( $^\circ$ ),  $A_p$  = Luas penampang tiang (m<sup>2</sup>),  $C_u$  = Kohesi atau kuat geser tanah

(kN/m<sup>2</sup> atau kPa),  $K_c$  = Koefisien tekanan tanah,  $\alpha$  = Koefisien alfa,  $A_s$  = Luas selimut tiang (m<sup>2</sup>),  $D$  = Kedalaman tiang tertanam (m), dan  $d$  = Diameter tiang (m).



Gambar 5. Daya dukung *batter pile*

### Perhitungan daya dukung tarik pada *batter pile*

Untuk perhitungan daya dukung tarik memiliki konsep perhitungan yang sama dengan perhitungan daya dukung aksial, hanya saja dalam memperhitungkan daya dukung tarik tiang dianggap sebagai *friction pile* yang berarti dalam perhitungan daya dukung tarik tidak memperhitungkan daya dukung ujung tiang ( $Q_t$ ). Selain itu, dalam perhitungan daya dukung tarik juga memperhitungkan berat dari tiang ( $W_p$ ). Maka, besarnya daya dukung tarik pada tiang sama dengan gaya gesek pada selimut tiang ditambah dengan berat tiang pancang.

Menurut Rahardjo (1992) dan beberapa literatur menyatakan bahwa nilai gesekan ultimit tiang pada kondisi tarik memiliki nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan gesekan ultimit tiang pada kondisi tekan. Umumnya besar nilai gesekan ultimit tiang dalam keadaan tarik berkisar 40% hingga 70% dari nilai gesekan ultimit tiang dalam keadaan tekan. Persamaan 12-13 yang dapat digunakan dalam menentukan daya dukung tarik pada tiang.

Persamaan daya dukung tiang vertikal:

$$T_u = T + W_p \quad (12)$$

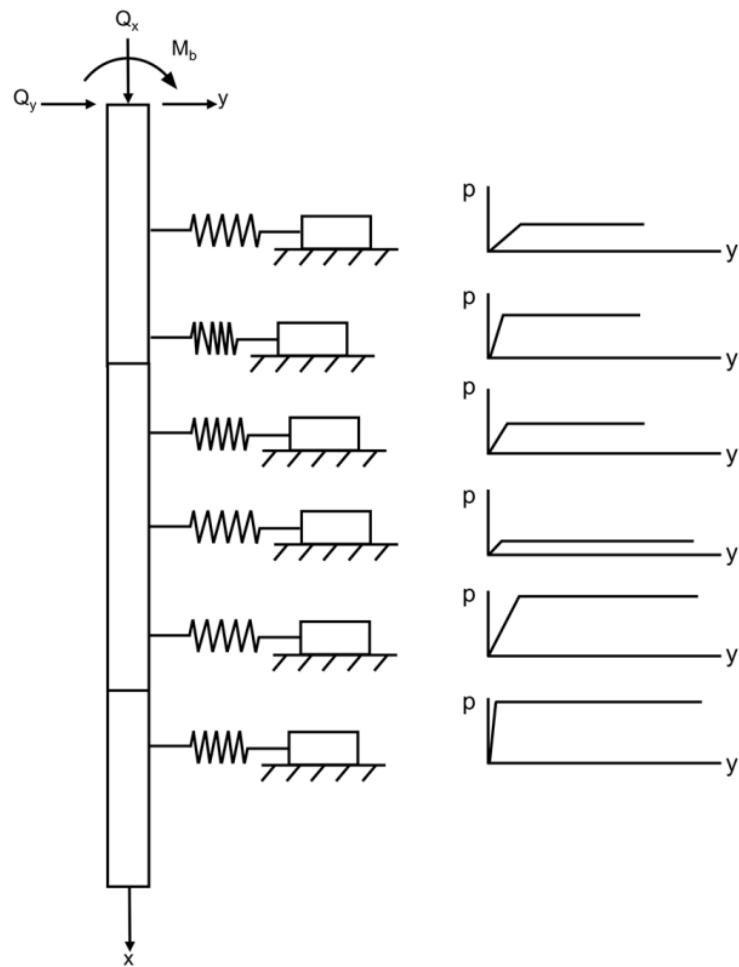
Persamaan daya dukung *batter pile*:

$$T_u = T \cos(\beta) + W_p \quad (13)$$

dengan  $T_u$  = Daya dukung tarik ultimit (kN),  $T$  = Daya dukung tarik selimut tiang (kN), dan  $W_p$  = Berat tiang (kN) untuk nilai  $T$  sama dengan 40% - 70% dari daya dukung selimut tiang akibat beban tekan

### Perhitungan daya dukung lateral pada *batter pile*

Analisis daya dukung lateral pada *batter pile* pada penelitian ini akan dilakukan dengan menggunakan metode *p-y curve*. Metode kurva *p-y* merupakan metode analisis nonlinier yang paling banyak digunakan, dimana "p" adalah daya dukung tanah per satuan panjang tiang dan "y" adalah defleksi atau lendutan lateral pada tiang. Metode ini diilustrasikan pada Gambar 6, dengan memodelkan daya dukung tanah terhadap beban lateral sebagai rangkaian pegas nonlinier.



Gambar 6. Model metode analisis nonlinier dengan kurva p-y (Hannigan et al., 2016)

Persamaan 14-15 yang digunakan untuk menggambarkan *p-y curve*.

$$P_{ult} = 9 C_u b \quad (14)$$

$$P_{ult} = \left( 3 + \frac{\gamma}{C_u} z + \frac{J}{b} z \right) C_u b \quad (15)$$

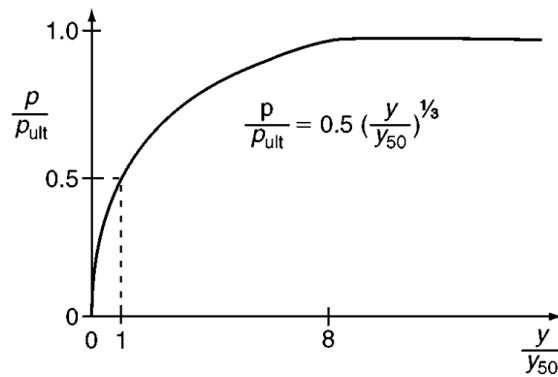
dengan  $P_{ult}$  = Daya dukung maksimal tiang per satuan panjang (kN),  $\gamma$  = Berat jenis tanah rata-rata ( $\text{kN/m}^3$ ),  $z$  = Kedalaman (m),  $C_u$  = Kuat geser tanah pada kedalaman  $z$  ( $\text{kN/m}^2$  atau kPa),  $b$  = Diameter tiang (m), dan  $J$  = Koefisien eksperimental ( $J = 0,5$ )

Berdasarkan Gambar 7 terdapat persamaan hubungan antara daya dukung tanah dengan defleksi yang terjadi. Persamaan 16-17 yang dapat digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah per satuan tiang ( $p$ ) yang akan menjadi komponen pada sumbu vertikal dalam kurva *p-y* (Reese & van Impe, 2001). Nilai  $p$  akan mencapai nilai konstan ketika nilai  $y = 8 y_{50}$ .

$$\frac{p}{P_{ult}} = 0,5 \left( \frac{y}{y_{50}} \right)^{\frac{1}{3}} \quad (16)$$

$$y_{50} = 2,5 \epsilon_{50} b \quad (17)$$

dengan  $\epsilon_{50}$  = Nilai koefisien regangan saat mencapai 50% kuat geser tanah dari Tabel 2 dan  $y_{50}$  = Defleksi lateral saat mencapai 50% kuat geser tanah (m)

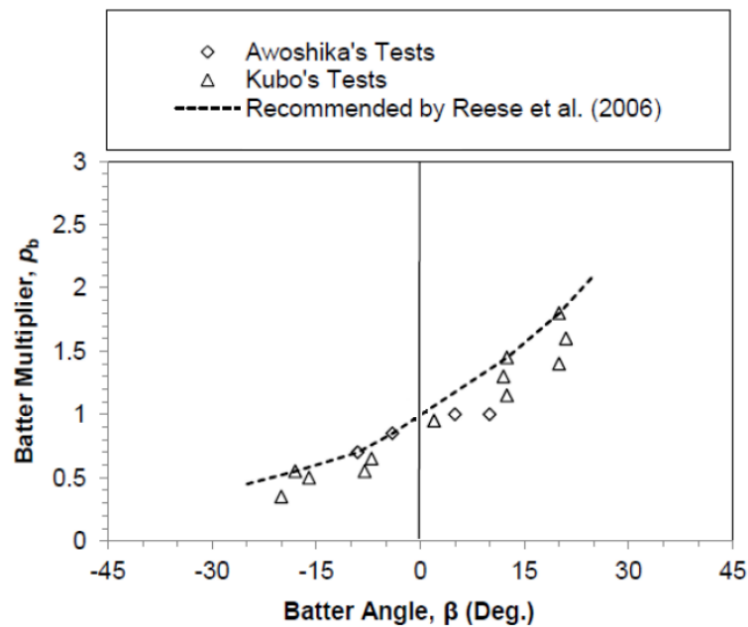


Gambar 7. Bentuk tipikal kurva p-y tanah lempung akibar beban statik (Reese & van Impe, 2001)

Tabel 2. Nilai koefisien  $\epsilon_{50}$  pada tanah lempung (Hannigan et al., 2016)

Clay Consistency	Average Undrained Shear Strength, $S_u$		$\epsilon_{50}$
	(ksf)	(kN/m <sup>2</sup> )	
Soft Clay	0,25 - 0,5	11,97 - 23,94	0,02
Medium Clay	0,5 - 1,0	23,94 - 47,88	0,01
Stiff Clay	1,0 - 2,0	47,88 - 95,76	0,007
Very Stiff Clay	2,0 - 4,0	95,76 - 191,52	0,005
Hard Clay	4,0 - 8,0	191,52 - 383,04	0,004

Menurut Awoshika dan Reese (1971), kemiringan tiang mempengaruhi kurva p-y, sehingga dibuatlah sebuah kurva untuk menentukan faktor modifikasi yang dapat digunakan dalam pembuatan kurva p-y untuk *batter pile*. Kurva yang digunakan sebagai faktor modifikasi untuk *batter pile* dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Faktor modifikasi untuk tiang pancang *batter pile* (Boeckmann, 2018)

### Perhitungan pengaruh nilai sensitivitas tanah terhadap kuat geser tanah

Sensitivitas tanah merupakan parameter tanah yang menggambarkan seberapa responsif suatu tanah terhadap gangguan (*disturbance*). Parameter ini umumnya didapatkan berdasarkan hasil pengujian laboratorium *unconfined compression test*. Nilai Sensitivitas tanah sangat berhubungan erat dengan kuat geser tanah, Persamaan 18-19 yang menghubungkan nilai sensitivitas tanah dengan kuat geser tanah.

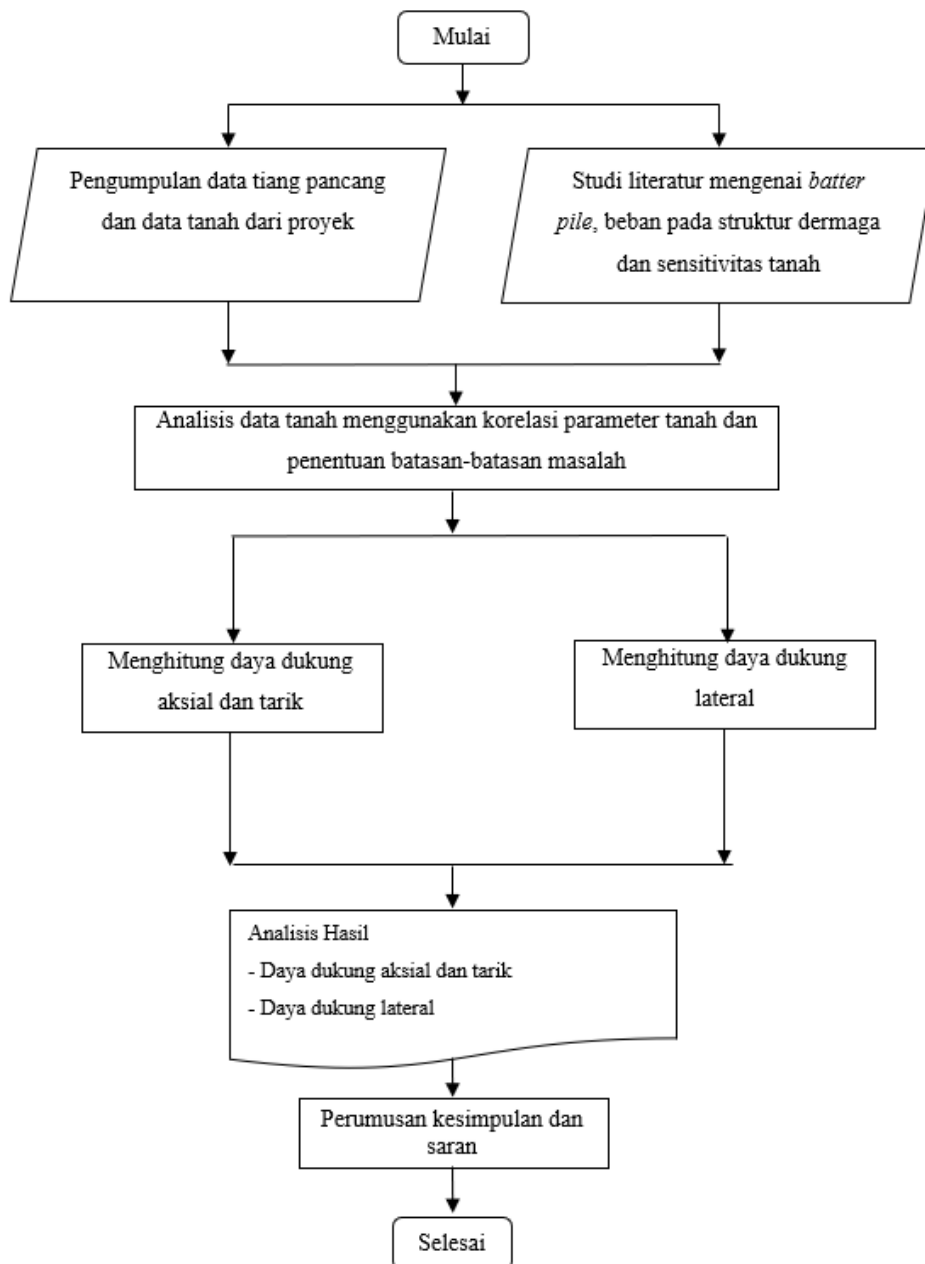
$$\text{Sensitivity } (S_t) = \frac{q_u (\text{undisturbed})}{q_u (\text{remolded})} \quad (18)$$

$$S_u = \frac{q_u}{2} \quad (19)$$

dengan  $S_t$  = Sensitivitas tanah,  $S_u$  = Kuat geser tanah ( $\text{kN/m}^2$ ),  $q_u (\text{undisturbed})$  = Kuat tekan tanah tanpa gangguan ( $\text{kN/m}^2$ ), dan  $q_u (\text{remolded})$  = Kuat tekan tanah dengan gangguan ( $\text{kN/m}^2$ )

## 2. METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini akan menggunakan metodologi analisis dengan perhitungan manual dalam mencari daya dukung aksial, tarik, dan lateral pada tiang *batter pile*. Tujuan pembuatan diagram alir penelitian ini adalah untuk memaparkan langkah penelitian dari awal mulai, pengumpulan data, proses analisis, hingga perumusan kesimpulan. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9. Diagram alir penelitian



### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### Data tanah

Dari hasil pengumpulan data tanah yang telah dilakukan, data tanah yang didapat berupa *boring log* dan data laboratorium. Berdasarkan data yang tersebut akan dilakukan korelasi guna untuk melengkapi data parameter yang dibutuhkan dalam proses analisis daya dukung. Data tanah setelah dilakukan korelasi parameter dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Parameter tanah untuk desain

Kedalaman (m)	Jenis Tanah	Konsistensi	N-SPT	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{wet}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$S_u$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$E_u$ (MPa)	$e_o$	$v$
0 - 12	Silty Clay	Stiff	8	18,5	17	45	23,5	28	0,8	0,30
12 - 26	Silty Clay	Soft	3	17	15,5	15	17,5	14	1,2	0,38
26 - 38,5	Silty Clay	Stiff	14	19,2	18	70	24,2	37,5	0,7	0,28
38,5 - 40	Silty Sand	Medium Dense	28	19	16,5	-	32	40	0,6	0,25
40 - 45	Clayey Silt	Hard	35	19,8	18,8	210	29	85	0,7	0,16
45 - 50	Silty Clay	Very Stiff	15	19,5	18,5	85	25	40	0,6	0,25

#### Spesifikasi tiang

Pada penelitian ini, fondasi yang digunakan adalah tiang pancang *spun pile* dari WIKA Beton dengan diameter tiang 800 mm dan ketebalan tiang 120 mm. Kedalaman pemancangan tiang mencapai 40 m disesuaikan dengan kedalaman tanah keras. Untuk panjang tiang yang digunakan akan disesuaikan dengan sudut kemiringan tiang dari 0° hingga 25° dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Data panjang tiang berdasarkan kemiringan tiang

Kemiringan Tiang (°)	Panjang Tiang (m)
0	40
5	40,1528
10	40,6171
15	41,4110
20	42,5671
25	44,1351

#### Analisis pengaruh sensitivitas tanah terhadap kuat geser tanah

Nilai sensitivitas yang akan digunakan sebagai parameter tanah yang akan ditinjau adalah 1, 4, 8, dan 16. Berdasarkan nilai sensitivitas tanah yang telah ditentukan akan dilakukan analisis pengaruh nilai sensitivitas tanah terhadap kuat geser tanah. Berdasarkan persamaan hubungan antara sensitivitas tanah dengan kuat tekan dan kuat geser tanah yang dipaparkan sebelumnya, hasil analisis pengaruh sensitivitas tanah terhadap kuat geser tanah dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil analisis pengaruh sensitivitas tanah terhadap kuat geser tanah

Depth (m)	$S_t = 1$		$S_t = 4$		$S_t = 8$		$S_t = 16$	
	$S_{uu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{uu}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$q_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )	$S_{ur}$ (kN/m <sup>2</sup> )
0 - 12	45	90	22,5	11,25	11,25	5,625	5,625	2,8125
12 - 26	15	30	7,5	3,75	3,75	1,875	1,875	0,9375
26 - 38,5	70	140	35	17,5	17,5	8,75	8,75	4,375
38,5 - 40	-	-	-	-	-	-	-	-
40 - 45	210	420	210	420	210	420	210	420
45 - 50	85	170	85	170	85	170	85	170

#### Analisis daya dukung pada *batter pile*

Daya dukung tiang yang akan ditinjau pada penelitian ini meliputi daya dukung aksial, tarik, dan lateral pada *batter pile* dengan menggunakan perhitungan manual, serta akan ditampilkan perbandingan *bending moment* dan *shear force* pada *batter pile* berdasarkan defleksi izin gempa kuat untuk kondisi kepala tiang bebas yaitu 25 mm. Berdasarkan parameter tanah desain, spesifikasi tiang, dan hasil analisis pengaruh sensitivitas terhadap kuat geser tanah yang telah

dipaparkan, hasil analisis daya dukung aksial, tarik, dan lateral pada tiang *batter pile* dengan sudut kemiringan dan nilai sensitivitas yang telah ditetapkan sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 6 - Tabel 8 dan grafik perbandingan daya dukung aksial, tarik, dan lateral dapat dilihat pada Gambar 10-12.

Tabel 6. Hasil perhitungan daya dukung aksial

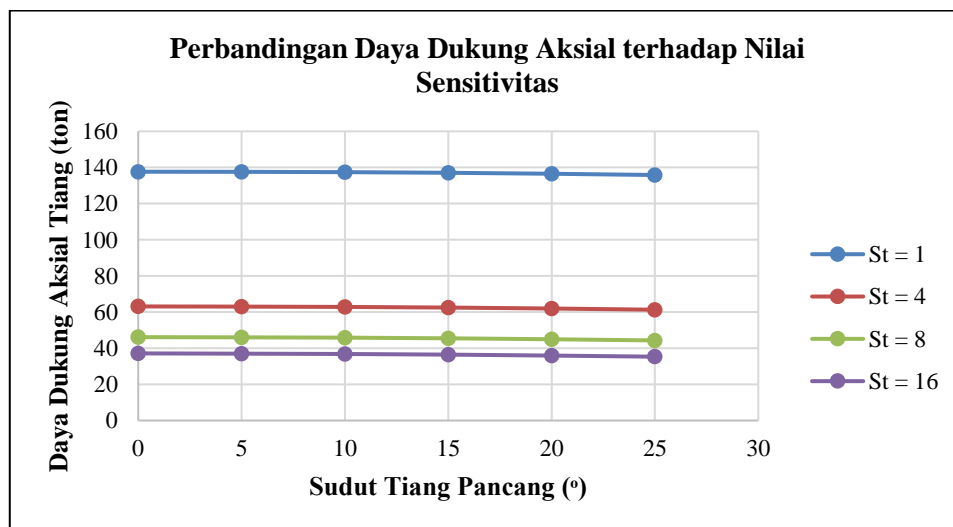
Sudut (°)	$S_t = 1$	$S_t = 4$	$S_t = 8$	$S_t = 16$
	Aksial (ton)	Aksial (ton)	Aksial (ton)	Aksial (ton)
0	137,66	63,12	46,13	37,14
5	137,58	63,05	46,05	37,07
10	137,36	62,83	45,83	36,85
15	136,99	62,46	45,47	36,48
20	136,49	61,96	44,96	35,97
25	135,84	61,31	44,31	35,32

Tabel 7. Hasil perhitungan daya dukung tarik

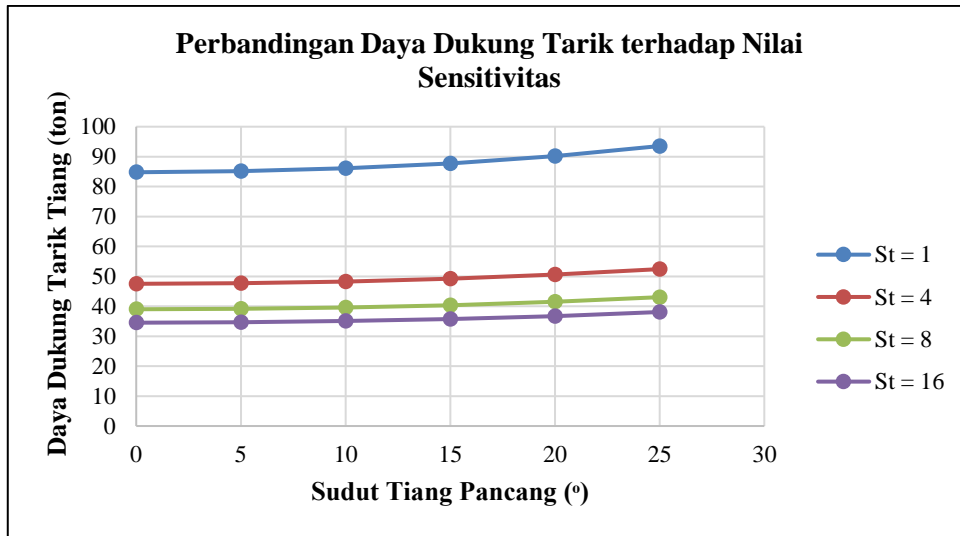
Sudut (°)	$S_t = 1$	$S_t = 4$	$S_t = 8$	$S_t = 16$
	Tarik (ton)	Tarik (ton)	Tarik (ton)	Tarik (ton)
0	84,78	47,51	39,01	34,52
5	85,10	47,69	39,16	34,65
10	86,09	48,24	39,62	35,05
15	87,77	49,19	40,39	35,74
20	90,22	50,56	41,52	36,74
25	93,54	52,42	43,05	38,09

Tabel 8. Hasil perhitungan daya dukung lateral

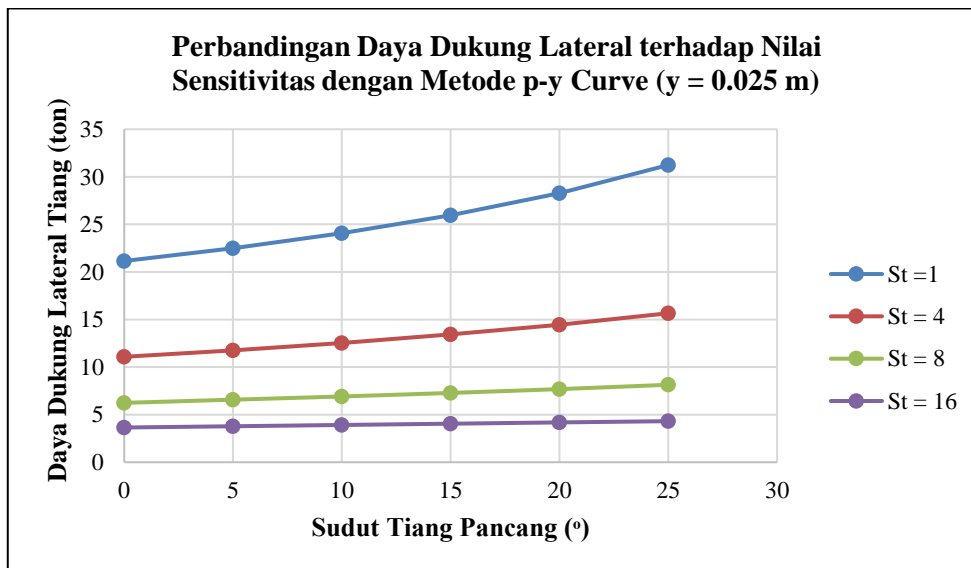
Sudut (°)	$S_t = 1$	$S_t = 4$	$S_t = 8$	$S_t = 16$
	Lateral (ton)	Lateral (ton)	Lateral (ton)	Lateral (ton)
0	21,15	11,08	6,24	3,65
5	22,49	11,77	6,56	3,78
10	24,08	12,53	6,90	3,90
15	25,97	13,43	7,27	4,03
20	28,30	14,45	7,69	4,17
25	31,24	15,66	8,14	4,31



Gambar 10. Perbandingan daya dukung aksial untuk setiap nilai sensitivitas tanah

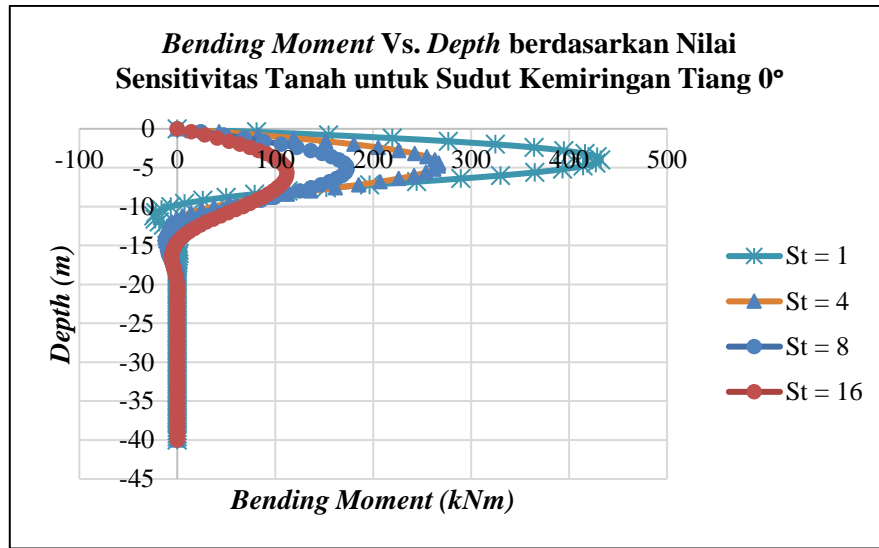


Gambar 11. Perbandingan daya dukung tarik untuk setiap nilai sensitivitas tanah

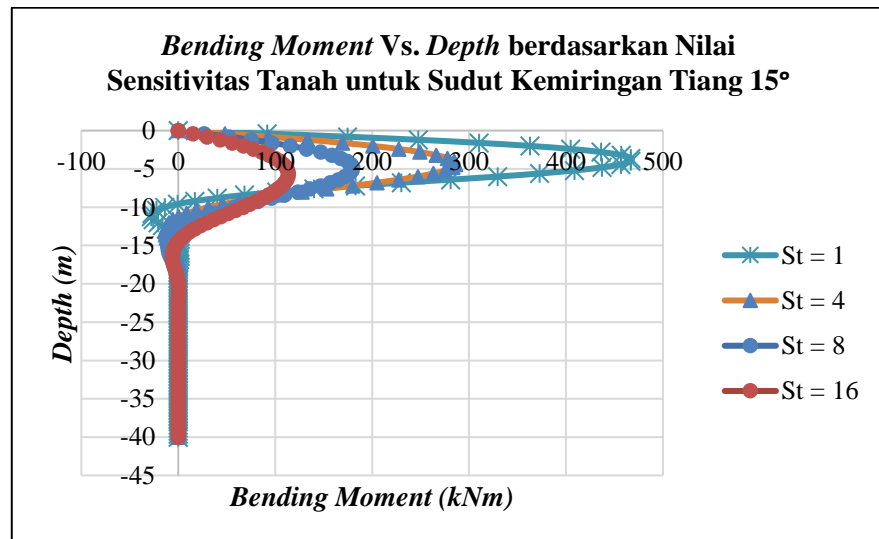


Gambar 12. Perbandingan daya dukung lateral untuk setiap nilai sensitivitas tanah

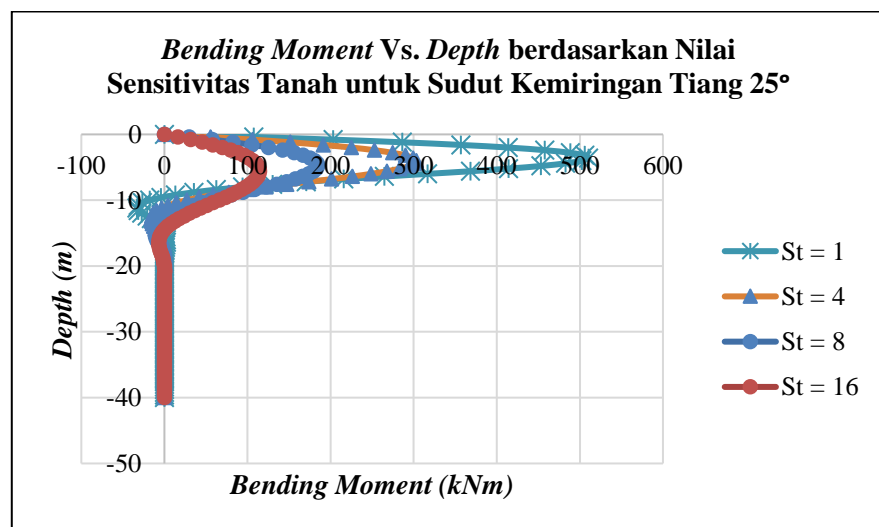
Berdasarkan perhitungan daya dukung lateral dengan menggunakan metode *p-y curve*, akan dilakukan penginputan dengan menggunakan *software* untuk mengetahui perbandingan *bending moment* dan *shear force* pada *batter pile* dengan sudut kemiringan dan nilai sensitivitas yang telah ditetapkan sebelumnya. Perbandingan *bending moment* pada *batter pile* dapat dilihat pada Gambar 13-15 dan perbandingan *shear force* pada *batter pile* dapat dilihat pada Gambar 16-18.



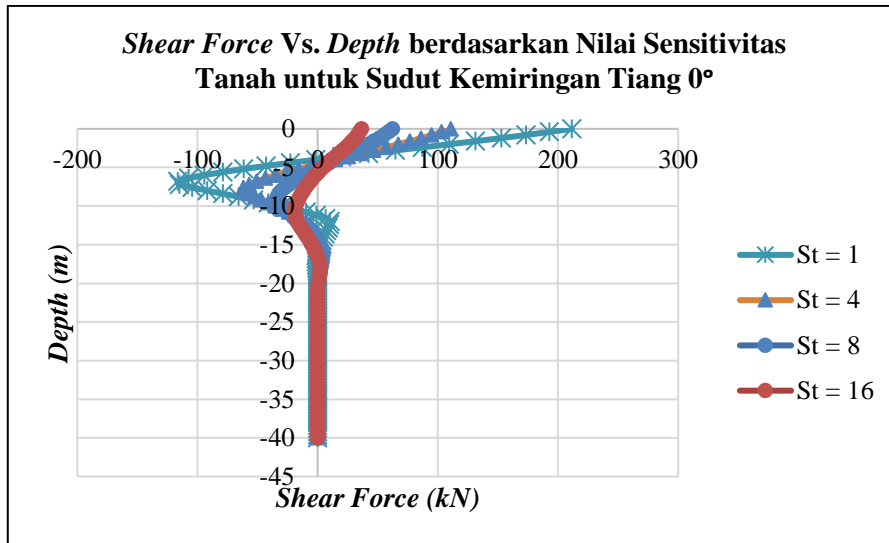
Gambar 13. *Bending moment vs. depth* berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 0°



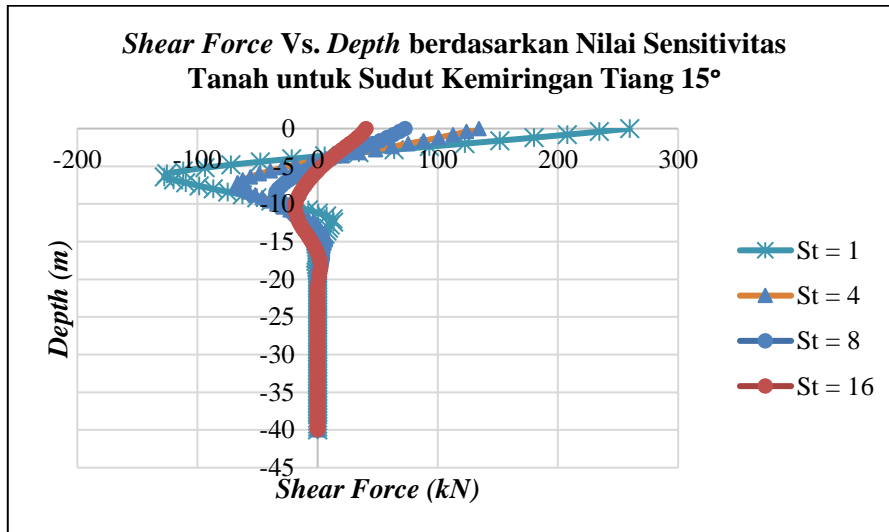
Gambar 14. *Bending moment vs. depth* berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 15°



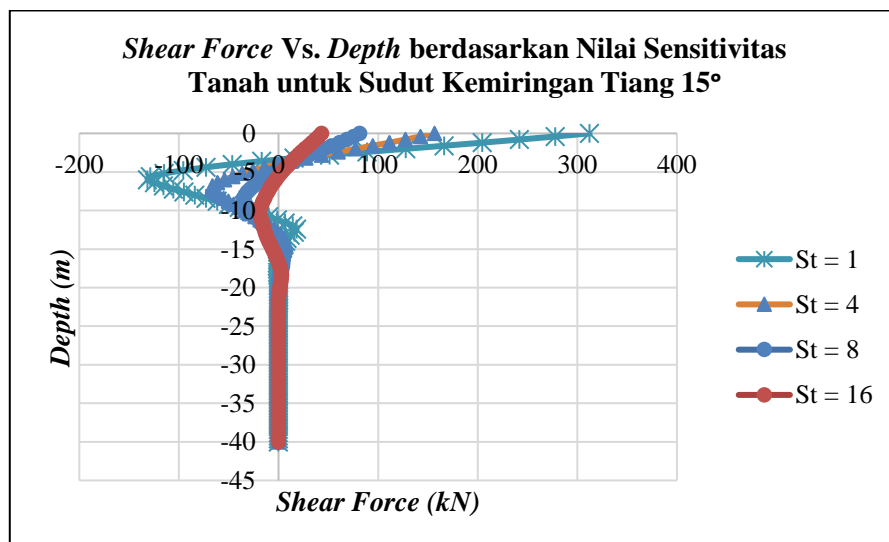
Gambar 15. *Bending moment vs. depth* berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 25°



Gambar 16. Shear force vs. depth berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 0°



Gambar 17. Shear force vs. depth berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 15°



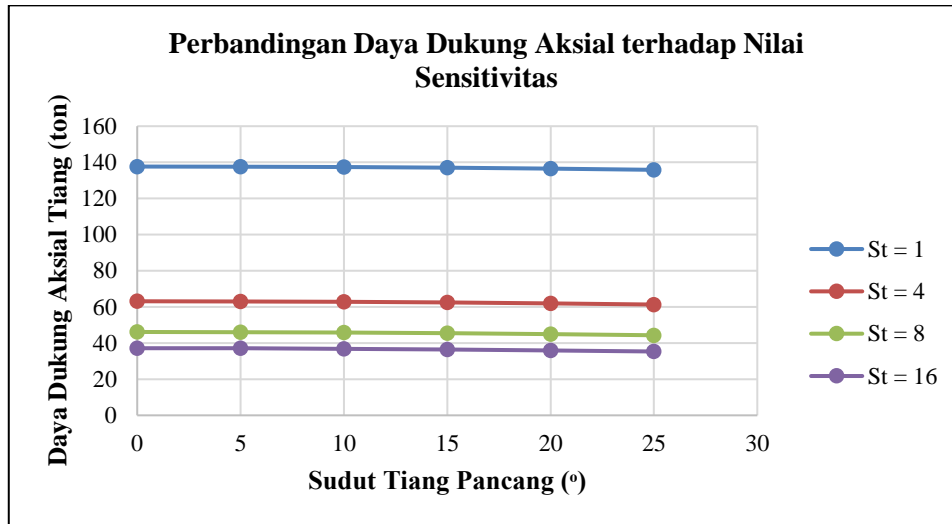
Gambar 18. Shear force vs. depth berdasarkan nilai sensitivitas tanah untuk sudut kemiringan tiang 25°

#### 4. KESIMPULAN DAN SARAN

##### Kesimpulan

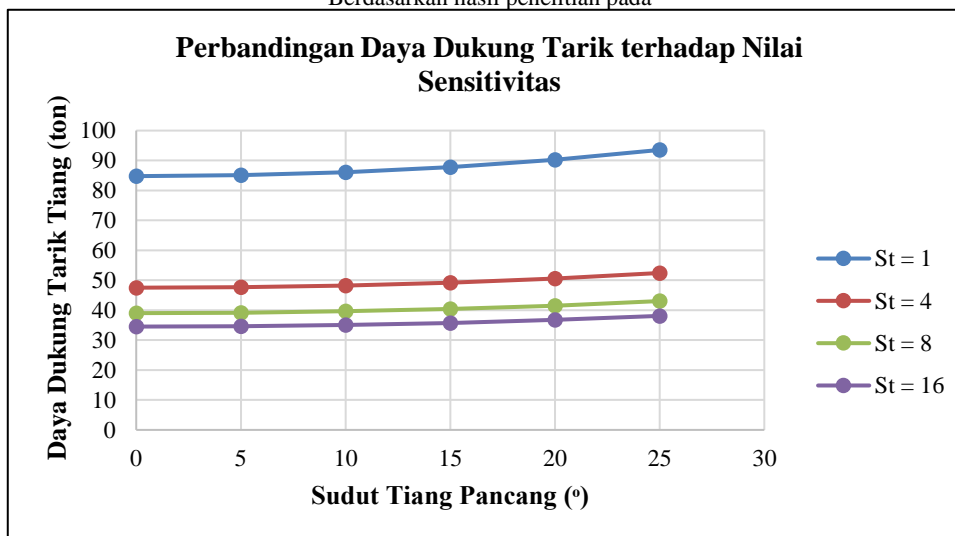
Berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan:

Berdasarkan hasil penelitian pada



1. Gambar 10, dapat disimpulkan besarnya daya dukung aksial berbanding terbalik dengan nilai sensitivitas tanah dan kapasitas lateral akibat kemiringan tiang, besar penurunan daya dukung aksial terbesar terjadi pada tiang dengan sudut kemiringan 25° dan rentang nilai sensitivitas 1 sampai 4 sebesar 58,86%

Berdasarkan hasil penelitian pada



2. Gambar 11, dapat disimpulkan besarnya daya dukung tarik berbanding terbalik dengan nilai sensitivitas tanah dan berbanding lurus dengan sudut kemiringan tiang, besar penurunan daya dukung tarik terbesar terjadi pada tiang dengan sudut kemiringan 25° dan rentang nilai sensitivitas 1 sampai 4 sebesar 43,95%
3. Berdasarkan hasil penelitian pada Gambar 12, dapat disimpulkan besarnya daya dukung lateral berbanding terbalik dengan nilai sensitivitas tanah dan berbanding lurus dengan sudut kemiringan tiang, besar penurunan daya dukung lateral terbesar terjadi pada tiang dengan sudut kemiringan 25° dan rentang nilai sensitivitas 1 sampai 4 sebesar 49,87%
4. Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan semakin besar nilai sensitivitas tanah maka *bending moment* dan *shear force* yang terjadi pada *batter pile* akan semakin kecil, sedangkan semakin besar sudut kemiringan tiang maka *bending moment* dan *shear force* yang terjadi pada *batter pile* akan semakin besar.

##### Saran

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dan kesimpulan yang sudah dipaparkan, berikut merupakan saran yang dapat diberikan:

1. Perlu dilakukannya uji laboratorium agar mendapatkan parameter tanah yang jauh lebih akurat
2. Selain pengaruh sensitivitas tanah terhadap daya dukung *batter pile*, pengaruh sensitivitas tanah terhadap penurunan pada *batter pile* juga harus diperhatikan

## DAFTAR PUSTAKA

- Awoshika, K., & Reese, L. (1971). *Analysis of foundation with widely spaced batter piles*. U. S. Department of Transportation Federal Highway Administration.
- Boeckmann, A. (2018). *Effect of coupling on a-walls for dlope stabilization*. U.S. Department of Transportation Office of the Assistant Secretary for Research and Technology.
- Bowles, J. E. (1979). *Physical and geotechnical properties of soils*. The McGraw-Hill Companies, Inc.
- Das, B. M. (2011). *Principles of foundation engineering* (edisi ke 7, SI). Cengage Learning.
- Hannigan, P. J., Rausche, F., Likins, G. E., Robinson, B. R., Becker, M. L., & Berg, R. R. (2016). *Design and construction of driven pile foundation*. National Highway Institute.
- Harri, C., & Susilo, A. J. (2019). Pengaruh sudut kemiringan tiang pancang batter pile terhadap daya dukung aksial dan lateral. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 2(1), 19-26. <https://doi.org/10.24912/jmts.v2i1.3031>
- Lefebvre, G. (2018). Soft sensitive clays. Dalam Turner, A. K., & Schuster, R. L., *Landslides: Investigation and mitigation* (hal. 607-619). Transportation Research Board
- Meyerhof, G. G., & Ranjan, G. (1973). The bearing capacity of rigid piles under inclined loads in sand. III: Pile groups. *Canadian Geotechnical Journal*, 10(3), 71-85. <https://doi.org/10.1139/t73-036>
- Pathak, B. (2011). *Analysis of static lateral load test of battered pile group at 1-10 twin span bridge*. Louisiana State University and Agricultural & Mechanical College ProQuest Dissertations Publishing.
- Rahardjo, P. P. (1992). *Manual pondasi tiang*. Universitas Katolik Parahyangan.
- Reese, L. C., & van Impe, W. (2001). *Single piles and pile groups under lateral loading* (edisi ke 2). CRC Press.
- Tjandra, M. S., & Prihatingingsih, A. (2022). Pengaruh kemiringan tiang pancang batter pile terhadap penurunan tanah. *JMTS: Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 5(1), 247-256. <https://doi.org/10.24912/jmts.v5i1.16663>
- Tomlinson, M., & Woodward, J. (1994). *Pile design and construction practice*. Taylor & Francis.
- Zhang, L. M., McVay, M. C., Lai, P. W., & Gardner, R. (2002). Effects of dead loads on the lateral response of battered pile groups. *Canadian Geotechnical Journal*, 39(3), 561-575. <https://doi.org/10.1139/t02-008>