

## ANALISIS PERBANDINGAN KOEFISIEN TANAH LATERAL MENGUNAKAN METODE PERHITUNGAN MANUAL (NUMERIK) DAN METODE ELEMEN HINGGA (PLAXIS)

Sinta Puja Agusty<sup>1</sup>, Trisviani Ardhia Pramesti<sup>2</sup>, Rinda Karlinasari<sup>3</sup>, Abdul Rochim<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung  
Email : sintapuja@gmail.com

<sup>2</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung  
Email : trisvianiardhiap@gmail.com

<sup>3</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung  
Email : rkarlinasari@gmail.com

<sup>4</sup> Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung  
Email : abd\_rch@yahoo.com

### ABSTRAK

Salah satu teknik pengendalian tanah yang digunakan untuk mendapatkan daya dukung tanah yaitu menggunakan dinding penahan tanah. Dinding penahan tanah berfungsi untuk menahan gaya tekanan aktif lateral tanah. Koefisien tekanan tanah lateral sangatlah berhubungan dengan tekanan aktif lateral. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan koefisien tanah lateral menggunakan metode perhitungan manual (numerik) dan metode elemen hingga (Plaxis V.8) dengan variasi jenis tanah, ketinggian timbunan, dan panjang *sheet pile* yang berbeda. Analisis penelitian ini menggunakan 2 (dua) metode yaitu metode perhitungan manual (numerik) tekanan tanah lateral menurut Rankine dan metode elemen hingga berupa program Plaxis V.8. Langkah awal dengan membuat suatu pemodelan dan memasukkan data parameter yang sesuai dengan keinginan, kemudian masuk ketahap perhitungan dan akan menghasilkan *output* berupa tegangan total rata-rata. Setelah mengetahui hasilnya dilakukan trial and error pada rumus tegangan tanah lateral menurut Rankine. Selanjutnya membandingkan hasil dari kedua metode tersebut. Berdasarkan analisis dari kedua metode tersebut dengan jenis tanah yang digunakan seperti tanah pasir dan tanah lempung, tinggi timbunan yang digunakan 5 meter, 6 meter, 7 meter, 8 meter, dan 9 meter serta panjang *sheet pile* tiga kali tinggi timbunan atau sebesar 15 meter, 18 meter, 21 meter, 24 meter, dan 27 meter, maka didapatkan perbandingan hasil  $K_0$  Theory =  $K_0$  Fem,  $K_a$  Theory <  $K_a$  Fem, dan  $K_p$  Theory >  $K_p$  Fem.

**Kata Kunci** : Tanah Lempung, Tanah Pasir, Sheet pile, Koefisien Tanah Lateral, Plaxis.

### ABSTRACT

*One of the soil reinforcement technique used to increase bearing capacity of the soil is to use a retaining wall. The retaining wall serves to resist the lateral active force of the soil. The coefficient of lateral earth pressure is closely related to lateral active pressure. This study aims compare lateral soil coefficients using manual calculation methods (numerical) and finite element method (Plaxis V.8) with different types of soil, embankment height, and length of sheet pile. The analysis of this study uses two methods, namely the method of manual calculation (numerical) lateral soil pressure according to Rankine and the finite element method using the Plaxis V.8 program. The first step is to make a modeling and input the parameter data as desired. After that the calculation phase that result an output in the form of average total stress. After knowing the results, trial and error was conducted on the formula of lateral ground stress according to Rankine then comparing the results of the two methods. Based on the analysis of the two methods with the type of soil used such as sand and clay soil, the height of the pile used is 5 meters, 6 meters, 7 meters, 8 meters and 9 meters and the length of sheet pile is three times of the height of the embankment or 15 meters, 18 meters, 21 meters, 24 meters and 27 meters, we get a comparison of the results of  $K_0$  Theory =  $K_0$  Fem,  $K_a$  Theory <  $K_a$  Fem, and  $K_p$  Theory >  $K_p$  Fem.*

**Keywords** : Clay; Sand; Sheet Pile; Lateral Soil Coefficient; Plaxis.

## I. PENDAHULUAN

Salah satu ilmu teknik sipil yang membahas tentang permasalahan kekuatan tanah dan batuan serta kemampuan menahan beban bangunan yang ada di atasnya ialah geoteknik. Pada geoteknik terdapat dua jenis tanah yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Tanah pasir atau tanah berbutir kasar atau bisa juga disebut dengan tanah non kohesif merupakan tanah yang memiliki ukuran 0,02 sampai 2 mm dan sering menimbulkan permasalahan dalam pekerjaan teknik sipil karena tidak adanya daya ikat antar partikel. Sedangkan tanah lempung atau tanah berbutir halus adalah tanah yang memiliki sifat kohesif dan plastis. Rendahnya kuat geser dan permeabilitas yang dimiliki oleh tanah ini mengakibatkan terjadinya penurunan dan *lateral deformation*. Oleh karena itu dibutuhkan perkuatan tanah untuk mengatasi masalah tersebut.

Dinding penahan tanah merupakan salah satu cara yang digunakan untuk perkuatan tanah. Terdapat dua jenis dinding penahan tanah yang dikenal pada konstruksi yaitu konstruksi dinding penahan tanah kaku berupa *gravity walls* atau *counterfort walls* dan konstruksi dinding penahan tanah lentur atau biasa disebut konstruksi dinding turap.

Dinding turap dibuat dengan menggunakan tiang pancang khusus dari baja maupun beton. Deretan tiang pancang dibuat supaya air tanah tidak dapat melewati dinding turap. Turap jenis ini disebut dengan dinding kantilever (*free standing*). Turap jenis ini biasa digunakan untuk menahan dinding parit dan galian, membantu menstabilkan lereng tanah, struktur tepi laut atau pelabuhan, melindungi pengikisan pantai, serta untuk dam pengelak.

Dalam perencanaan dinding turap terdapat dua metode perhitungan, yaitu :

- a. Metode Perhitungan Manual
- b. Metode Elemen Hingga (MEH)

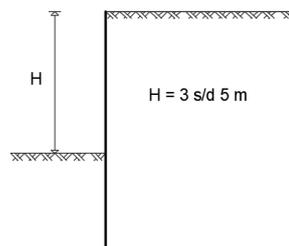
Dari kedua metode di atas, belum ada metode perhitungan yang pasti untuk digunakan dari perhitungan manual maupun metode elemen hingga. Sehingga perlu adanya analisis perhitungan guna mendapatkan hasil perbandingan perbandingan hasil koefisien tanah lateral pada *sheet pile* menggunakan metode perhitungan manual serta program Plaxis V.8.

## II. TINJAUAN PUSTAKA

Dinding Turap (*sheet pile*) merupakan dinding vertikal yang relatif tipis yang mempunyai fungsi untuk menahan tekanan tanah di sekelilingnya dan menahan air masuk ke dalam lubang. Dinding turap biasanya digunakan pada tebing jalan raya, galian, tanah yang berlereng, konstruksi bangunan ringan, serta pada kondisi tanah yang kurang mampu untuk mendukung dinding penahan. Kontruksi sheet pile terdiri dari beberapa lembaran turap yang dipancangkan ke dalam tanah, sehingga membentuk formasi dinding menerus vertikal. Dinding turap (*sheet pile*) dapat dibuat di pabrik (*prefabricated*) atau dicetak terlebih dahulu (*pre-cast*), sehingga kekuatan sheet pile dapat dikontrol dengan baik. Pada penelitian ini menggunakan dinding turap kantilever.

### A. Dinding Turap (*Sheet Pile*) Kantilever

Dinding turap (*sheet pile*) kantilever adalah dinding turap yang dalam menahan beban lateral dengan mengandalkan tahanan tanah di depan dinding (Gambar 1.). Maka jenis ini lebih direkomendasikan untuk dinding dengan ketinggian sedang karena memiliki defleksi lateral yang relatif besar.



Gambar 1. Dinding Turap (*Sheet Pile*) Tipe Kantilever

### B. Klasifikasi Tanah

Dalam geoteknik, terdapat dua golongan tanah, yaitu tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus. Yang termasuk dalam tanah berbutir kasar seperti kerikil dan pasir yang biasa disebut bahan granular atau tanah tidak berkohesi. Sedangkan yang termasuk tanah berbutir halus yaitu lanau dan lempung dan sering disebut tanah berkohesi.

Berdasarkan ukuran butiran tanahnya, maka terdapat 3 jenis golongan tanah yaitu :

#### 1. Kerikil dan Pasir

Golongan ini terdiri atas pecahan batu-batuan dengan bentuk dan ukuran yang beraneka ragam. Butiran kerikil biasanya terdiri atas pecahan-pecahan batu, tetapi kadang-kadang juga terdiri atas mineral-mineral tunggal. Butiran

pasir biasanya terdiri atas mineral tunggal, misalnya pasir kwarsa. Pada beberapa keadaan, pasir hanya terdiri atas butiran-butiran yang seukuran, sehingga disebut pasir seragam.

2. Lempung

Lempung terdiri atas butiran yang sangat kecil dan memiliki sifat kohesi dan plastisitas. Sifat ini tidak ditemukan pada pasir dan kerikil. Sifat kohesi berarti butiran-butirannya saling menempel, sedangkan sifat plastisitas adalah sifat yang memungkinkan tanah dapat berubah bentuk tanpa mengubah volume dan tidak menyebabkan retak atau pecah.

3. Lanau

Lanau merupakan bahan peralihan antara lempung dan pasir. Lanau bersifat kurang plastis dibanding lempung dan memiliki sifat permeabilitas yang lebih tinggi.

**C. Tekanan Tanah Lateral**

Tekanan tanah lateral adalah gaya tekan tanah di belakang dinding penahan tanah dan digunakan untuk merencanakan dinding penahan tanah dan struktur lainnya dengan meyakinkan keruntuhan total tidak akan terjadi. Untuk mengetahui tekanan tanah lateral dapat menggunakan metode Rankine. Ada 3 macam tekanan tanah lateral yang disebabkan oleh tanah, yaitu :

1. Tekanan Tanah Dalam Keadaan Diam (*At Rest*)

Suatu tanah tertahan dalam arah horizontal sehingga tidak terjadi deformasi horizontal merupakan istilah dari tekanan tanah dalam keadaan diam. Koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam disebabkan oleh faktor-faktor khusus, seperti pergerakan tektonik. Sedangkan tegangan horizontal dipengaruhi oleh jenis tanah, proses pembentukannya, dan riwayat tegangannya.

Hubungan antara tegangan horizontal dan tegangan vertikal pada tanah umumnya disebut dengan koefisien tekanan tanah dalam keadaan diam,  $K_0$  dinyatakan dalam rumus :

$$K_0 = \frac{\sigma_h}{\sigma_v} \tag{1}$$

Secara teori elastis bahwa hubungan antara  $K_0$  dan rasio Poisson adalah :

$$K_0 = \frac{v'}{1-v'} \text{ dimana } v' \text{ adalah rasio Poisson} \tag{2}$$

Pada umumnya rasio Poisson berkisar antara 0,2 sampai 0,4 yang mempunyai nilai  $K_0$  antara 0,25 hingga 0,67. Berikut hubungan antara  $K_0$  dan sudut gesekan  $\phi'$  pada pasir dan lempung yang terkonsolidasi normal:

$$K_0 = 1 - \sin \phi' \text{ dimana } \phi' \text{ adalah sudut gesekan} \tag{3}$$

2. Tekanan Tanah Aktif (*Active Earth Pressure*)

Tekanan tanah aktif (*active earth pressure*) merupakan tekanan tanah lateral yang mengakibatkan dinding turap (*sheet pile*) mengalami keruntuhan atau bergeser menjauhi timbunan, maka tanah timbunan akan turun dan menekan dinding turap (*sheet pile*). Berikut rumus tegangan tanah aktif ( $\sigma'_a$ ) berdasarkan teori Rankine :

$$\sigma'_a = \gamma z K_a - 2 c' \sqrt{K_a} \tag{4}$$

Keterangan:

- $\gamma$  = Berat satuan tanah
- $z$  = Kedalaman
- $c'$  = Kohesi tanah
- $K_a$  = Koefisien tanah aktif

Dengan

$$K_a = \tan^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi} \tag{5}$$

$\phi$  = Sudut geser

3. Tekanan Tanah Pasif (*Passive Earth Pressure*)

Tekanan tanah pasif (*passive earth pressure*) yaitu tekanan tanah lateral yang diakibatkan oleh pergerakan dinding turap (*sheet pile*) menuju tanah timbunan. Tekanan ini yang berusaha untuk mengimbangi atau menahan tekanan aktif. Menurut teori Rankine, rumus tegangan tanah pasif ( $\sigma'_p$ ) sebagai berikut :

$$\sigma'_p = \gamma z K_p + 2 c' \sqrt{K_p} \tag{6}$$

Keterangan:

- $\gamma$  = Berat satuan tanah
- $z$  = Kedalaman

$c'$  = Kohesi tanah  
 $K_p$  = Koefisien tanah pasif

Dengan

$$K_p = tg^2 \left( 45 + \frac{\emptyset}{2} \right) = \frac{1 + \sin \emptyset}{1 - \sin \emptyset} \quad (7)$$

$\emptyset$  = Sudut geser

#### D. Program Plaxis

Seiring perkembangan teknologi di bidang struktur, maka terciptalah suatu *software* komputer yang digunakan untuk menganalisis deformasi dan stabilitas geoteknik berdasarkan metode elemen hingga dua dimensi. Aplikasi tersebut biasa dikenal dengan nama plaxis. Metode elemen hingga yang digunakan yaitu *plain strain* dan *axisymmetric*. *Plain strain* adalah model yang digunakan untuk struktur bangunan memanjang. Sedangkan *axisymmetric* digunakan pada struktur melingkar. Pengguna dapat membuat model penampang melintang dengan mudah karena diterapkan metode antarmuka grafis pada program ini. Aplikasi plaxis terdapat tiga program antara lain masukan, perhitungan, dan keluaran.

##### 1. Tahap Masukan

Tahap masukan bertujuan untuk membuat model geometri dan membentuk jaringan elemen hingga. Pemodelan dibuat dengan metode gambar dua dimensi.

##### 2. Tahap Perhitungan

Tahap perhitungan dalam plaxis merupakan tahap selanjutnya setelah parameter ditentukan dan memulai perhitungan dengan metode elemen hingga. Tahap awal dari program masukan merupakan titik awal dari perhitungan selanjutnya. Tahapan perhitungan baru dapat didefinisikan setelah tahapan-tahapan sebelumnya selesai dihitung.

##### 3. Tahap Keluaran

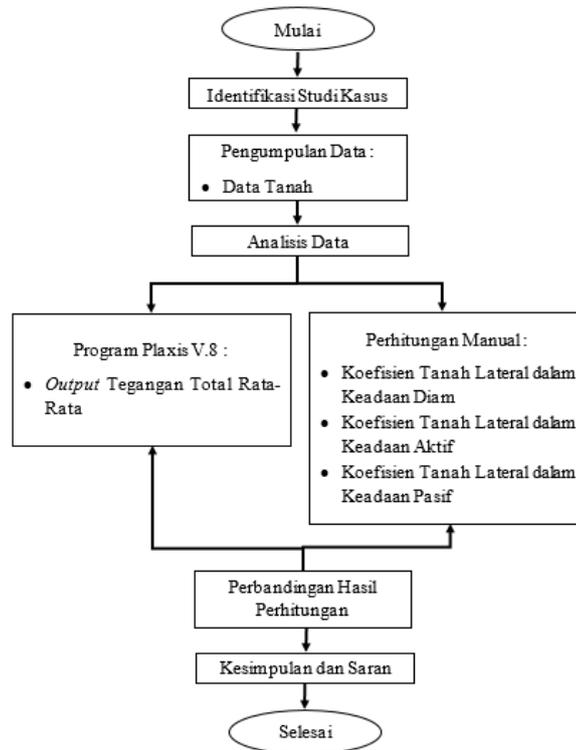
*Output* atau keluaran plaxis merupakan tahapan terakhir dalam program plaxis berupa hasil perhitungan. Hasil perhitungan yang dimaksud ialah gambar grafik maupun tabel dari perpindahan total, tegangan dan regangan, faktor keamanan, bending momen pada dinding, serta gaya geser pada dinding.

### III. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini terdapat beberapa batasan masalah, seperti :

1. Analisa diaplikasikan untuk jenis sheet pile baja tanpa angkur atau *cantilever sheet pile*.
2. Proses perhitungan dilakukan dengan analisa komputer menggunakan program Plaxis V.8 dan dibandingkan dengan hasil perhitungan secara manual.
3. Jenis tanah yang digunakan adalah tanah pasir dan tanah lempung.
4. Tidak menggunakan beban kerja pada sheet pile.
5. Mengetahui hasil koefisien tanah lateral.

Tujuan penelitian ini, yaitu membandingkan hasil perhitungan menggunakan metode perhitungan manual menurut Rankine dan hasil perhitungan menggunakan program plaxis V.8. Supaya tujuan yang diinginkan tercapai, maka perlu tahapan-tahapan yang dilakukan. Berikut diagram tahapan penelitian yang disajikan pada Gambar 2.

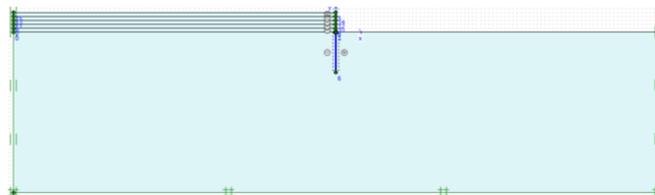


**Gambar 2.** Bagan Alur Penelitian

#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

##### A. Pemodelan Dinding Penahan Tanah

Pemodelan yang digunakan jenis *sheet pile* kantilever dengan jenis tanah lempung dan tanah pasir. *Sheet pile* yang digunakan ialah *PC Sheet Pile*. Setiap jenis tanah dibuat 5 pemodelan dengan tinggi timbunan 5 meter, 6 meter, 7 meter, 8 meter, dan 9 meter dengan panjang *sheet pile* 3 kali tinggi timbunan. Contoh pemodelan Plaxis V.8 dapat dilihat pada Gambar 3.



**Gambar 3.** Contoh Pemodelan Plaxis V.8

##### B. Analisis Menggunakan Plaxis V.8

Pemodelan dalam penelitian ini, timbunan tanah dilaksanakan secara bertahap setiap 1 meter sampai ketinggian timbunan yang diinginkan tanpa memperhatikan pengaruh konsolidasi. Kondisi muka air tanah terletak di permukaan tanah asli. Setelah membuat pemodelan dan memasukkan parameter yang digunakan dalam plaxis akan menghasilkan tegangan total rata-rata dan koefisien tanah lateral dalam keadaan diam ( $K_0$ ) seperti pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil *Output* Tegangan Pada Jenis Tanah Lempung

No.	Tinggi Timbunan (meter)	Tegangan Tanah Aktif (kN/m <sup>2</sup> )	Tegangan Tanah Pasif (kN/m <sup>2</sup> )	$K_0$
1.	5	357,06	207,01	0,5
2.	6	264,11	258,28	0,5
3.	7	316,57	263,91	0,5
4.	8	380,41	337,31	0,5
5.	9	357,06	355,04	0,5

Tabel 2. Hasil *Output* Tegangan Pada Jenis Tanah Pasir

No.	Tinggi Timbunan (meter)	Tegangan Tanah Aktif (kN/m <sup>2</sup> )	Tegangan Tanah Pasif (kN/m <sup>2</sup> )	K <sub>0</sub>
1.	5	216,63	188,91	0,293
2.	6	238,08	230,99	0,293
3.	7	288,40	266,35	0,293
4.	8	309,67	302,02	0,293
5.	9	326,67	323,32	0,293

Dari hasil tegangan total rata-rata di atas dapat digunakan untuk mencari nilai koefisien tanah lateral aktif dan pasif menggunakan *trial and error* rumus tegangan tanah menurut Rankine. Hasil koefisien tanah lateral aktif dan pasif dapat dilihat pada Tabel 3 dan Tabel 4.

Tabel 3. Hasil Koefisien Tanah Lateral Pada Jenis Tanah Lempung

No.	Tinggi Timbunan (meter)	K <sub>a</sub>	K <sub>p</sub>
1.	5	1,541	0,643
2.	6	1,463	0,758
3.	7	1,4	0,695
4.	8	1,39	0,85
5.	9	1,149	0,823

Tabel 4. Hasil Koefisien Tanah Lateral Pada Jenis Tanah Pasir

No.	Tinggi Timbunan (meter)	K <sub>a</sub>	K <sub>p</sub>
1.	5	0,88	1,063
2.	6	0,791	1,091
3.	7	0,828	1,084
4.	8	0,776	1,15
5.	9	0,727	1,03

### C. Analisis Menggunakan Perhitungan Manual

Dalam penelitian ini menggunakan perhitungan manual menurut Rankine untuk mendapatkan nilai koefisien tanah lateral dalam keadaan diam, aktif, dan pasif. Berikut rumus koefisien tanah lateral menurut Rankine :

1. Koefisien Tanah Lateral dalam Keadaan Diam

$$K_0 = 1 - \sin \phi'$$

2. Koefisien Tanah Lateral Aktif

$$K_a = tg^2 \left( 45 - \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 - \sin \phi}{1 + \sin \phi}$$

3. Koefisien Tanah Lateral Pasif

$$K_p = tg^2 \left( 45 + \frac{\phi}{2} \right) = \frac{1 + \sin \phi}{1 - \sin \phi}$$

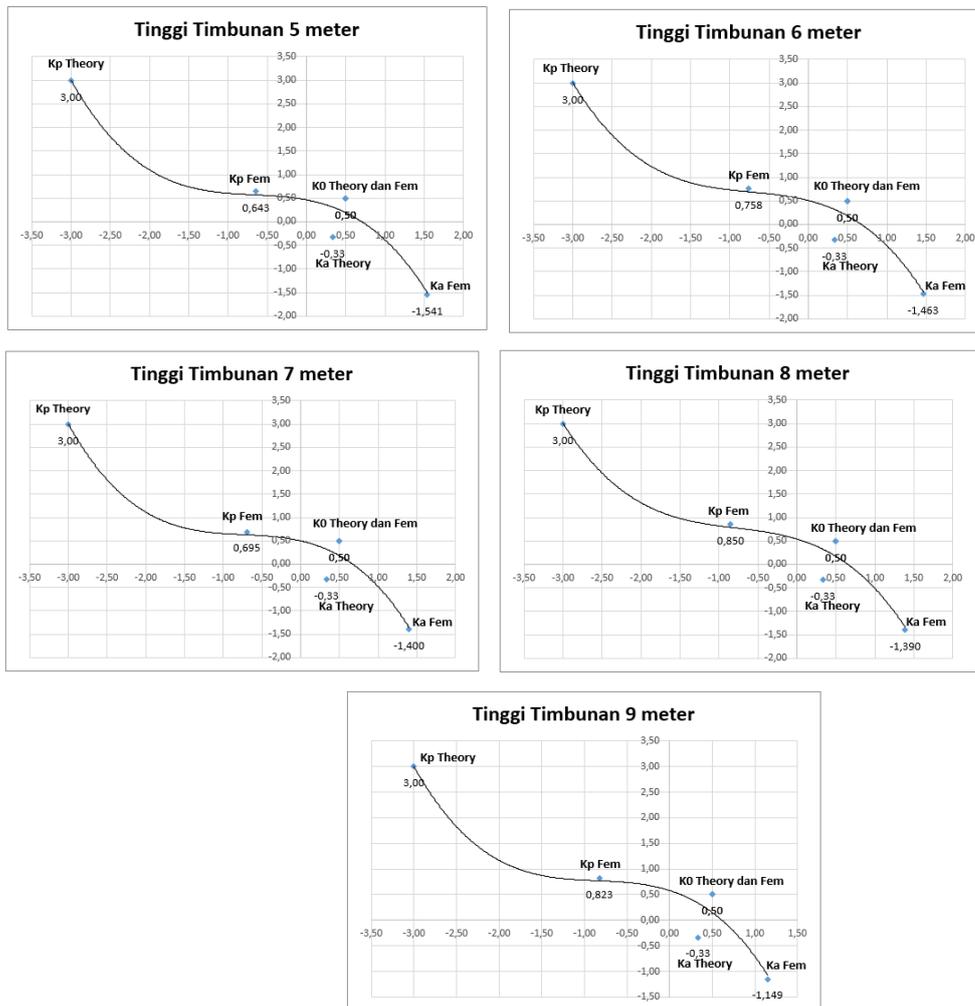
Berdasarkan ketiga rumus di atas didapatkan hasil koefisien tanah lateral pada jenis tanah lempung dan tanah pasir, seperti pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Koefisien Tanah Lateral Pada Jenis Tanah Pasir

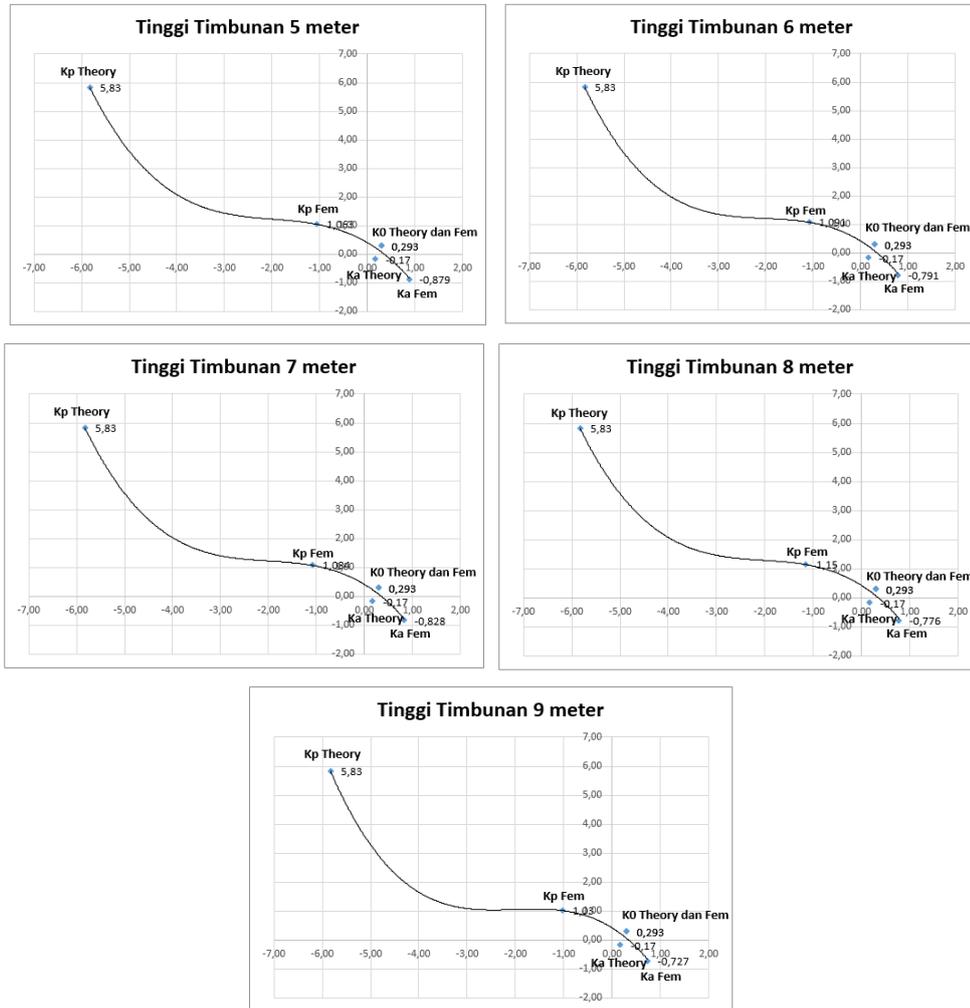
No.	Koefisien Tanah Lateral	Tanah Lempung	Tanah Pasir
1.	K <sub>0</sub>	0,5	0,293
2.	K <sub>a</sub>	0,33	0,17
3.	K <sub>p</sub>	3,00	5,83

### D. Analisis Perbandingan Koefisien Tanah Lateral

Dari hasil analisis menggunakan metode manual dan metode elemen hingga, maka kedua hasil koefisien tanah lateral menggunakan 2 metode tersebut kemudian dibandingkan dan dapat dilihat pada Gambar 4. dan Gambar 5.



**Gambar 4.** Hasil Perbandingan Koefisien Tanah Lateral Pada Tanah Lempung



**Gambar 5.** Hasil Perbandingan Koefisien Tanah Lateral Pada Tanah Pasir

## V. KESIMPULAN

Berikut merupakan kesimpulan analisis perbandingan koefisien tanah lateral menggunakan metode perhitungan manual (numerik) dan metode elemen hingga (plaxis) berdasarkan hasil analisis bab sebelumnya :

1. Hasil analisis perhitungan koefisien tanah lateral menggunakan metode perhitungan manual (numerik) pada tanah lempung dengan panjang *sheet pile* 15 meter, 18 meter, 21 meter, 24 meter, dan 27 meter didapatkan  $K_0 = 0,5$ ;  $K_a = 0,33$ ; dan  $K_p = 3,00$ . Sedangkan pada jenis tanah pasir didapatkan nilai  $K_0 = 0,293$ ;  $K_a = 0,17$ ; dan  $K_p = 5,83$ .
2. Pada metode elemen hingga (plaxis) dengan jenis tanah lempung dan panjang *sheet pile* 15 meter, 18 meter, 21 meter, 24 meter, dan 27 meter didapatkan hasil analisis perhitungan koefisien tanah lateral dalam keadaan diam ( $K_0$ ) sebesar 0,5. Koefisien tanah aktif ( $K_a$ ) didapatkan hasil 1,541; 1,463; 1,4; 1,39; dan 1,149. Serta koefisien tanah pasif ( $K_p$ ) sebesar 0,643; 0,758; 0,695; 0,85; dan 0,823. Sedangkan pada jenis tanah pasir didapatkan nilai  $K_0 = 0,5$ . Koefisien tanah aktif ( $K_a$ ) didapatkan hasil 0,88; 0,791; 0,828; 0,776; dan 0,727. Serta koefisien tanah pasif ( $K_p$ ) sebesar 1,063; 1,091; 1,084; 1,15; dan 1,03
3. Berdasarkan analisis yang telah dilakukan didapatkan hasil perbandingan antara metode perhitungan manual (numerik) dengan metode elemen hingga (Plaxis) pada tanah lempung dan tanah pasir yaitu  $K_0$  Theory =  $K_0$  Fem,  $K_a$  Theory <  $K_a$  Fem, dan  $K_p$  Theory >  $K_p$  Fem.

## UCAPAN TERIMAKASIH

Alhamdulillah, puja dan puji syukur kami panjatkan ke hadirat Allah SWT atas rahmat dan hidayahnya yang telah dilimpahkan sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Terimakasih kepada Ibu Dr. Ir. Rinda Karlinasari, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Dr. Abdul Rochim, ST., MT selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan bimbingan kepada kami dengan penuh kesabaran dan memberikan dorongan semangat untuk kami,

terimakasih kepada orangtua dan adik yang telah memberikan doa dan dukungan dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini. Serta terimakasih kepada semua pihak yang telah ikut membantu.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Agatha, M. Naufal. 2017. *Perencanaan Sheet Pile dengan Menggunakan Program Plaxis (Study Kasus : Jalan Padang Tambak – Liwa KM. 227+400)*. Skripsi. Bandar Lampung : Fakultas Teknik Universitas Lampung.
- [2] Aji, Nahda Mahindra. 2018. *Perencanaan Turap dengan Menggunakan Program Plaxis di Piyungan Yogyakarta*. Skripsi. Surakarta : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- [3] Amaly, Muhammad Fauzan. 2009. *Studi Parametrik Dinding Penahan Tanah Berangkur untuk Galian Tanah dengan Metode Elemen Hingga (Plaxis V.8)*. Skripsi. Depok : Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- [4] Chalid, Fachriyan. 2018. *Analisa Perancangan Dinding Turap (Sheet Piles) pada Proyek Pembangunan Dermaga di Belawan Internasional Container Terminal*. Skripsi. Medan : Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- [5] Endah, Noor dan Indrasurya B Mochtar. 1994. *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis) Jilid 2*. Jakarta : Erlangga.
- [6] Harahap, Rizaldy Hasian. 2015. *Analisis Penggunaan Secant Pile dengan Metode Element Hingga pada Proyek Hotel Sapadia Medan*. Tesis. Medan : Fakultas Teknik Universitas Sumatera Utara.
- [7] Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah 2 Edisi Kelima*. Yogyakarta. : Gadjah Mada University Press.
- [8] Pratikso. 2019. *Buku Panduan Dinding Penahan Tanah dan Turap*. Semarang : Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Sultan Agung.
- [9] Sijabat, David M.F. 2010. *Analisa Perkuatan Daya Dukung Tanah Lunak dengan Geosintetik Menggnakan Permodelan Perangkat Lunak (Program Plaxis)*. Skripsi. Depok : Fakultas Teknik Program Studi Teknik Sipil Universitas Indonesia.
- [10] Wesley, Laurence D. 2012. *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu*. Yogyakarta : Andi.
- [11] Wibawa, Ilham Akbar Mulya. 2018. *Perencanaan Turap (Sheet Pile) Jalan Tol Jorr II Seksi Kunciran-Serpong STA. 40+000 Menggunakan Program Plaxis*. Skripsi. Bogor : Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan Fakultas Teknologi Pertanian Institut Pertanian Bogor.
- [12] Yuliet, Rina, dkk. 2014. *Studi Stabilitas Turap Beton pada Tepi Sungai Anai Kabupaten Padang Pariaman*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 13 (1) : 56 – 68