

Desain Proteksi Galian Dalam dengan Soldier Pile pada Konstruksi Basement Sport Center

(Studi Kasus : Gedung Sport Center Universitas Muhammadiyah Jember)

Deep Digging Protection Design with Soldier Pile on Basement Sport Center Construction (Case Study : University Jember Sports Center Building)

Yunita Diah Andriyani¹⁾, Arief Alihudien^{2*)}, Ilanka Cahya Dewi³⁾

¹Mahasiswa Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: yunitadiahandriyani.yda@gmail.com

²Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember* Koresponden Author
email: ariefalihudien@unmuhjember.ac.id

³Dosen Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember
email: ilankadewi@unmuhjember.ac.id

Abstrak

Penggalian konstruksi *basement* akan menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini. *Basement* mulai berkembang di kota-kota besar karena keterbatasan lahan, ketinggian, atau keberadaan kereta bawah tanah. Runtuhnya dinding vertikal tanah menjadi kendala pekerjaan galian *basement*. Studi ini bertujuan untuk merencanakan dinding penahan tanah yang stabil dengan menggunakan metode elemen hingga. Dinding penahan adalah bangunan yang dirancang untuk menahan tanah pada tempatnya, mencegah runtuhnya lereng atau medan yang curam, yang kestabilannya tidak dapat dijamin oleh kemiringan tanah itu sendiri, dan untuk menciptakan bidang tegak. Jenis dinding penahan tanah yang digunakan pada penelitian ini adalah *soldier pile* karena berdasarkan kondisi aktual di lapangan dan sebagai struktur penahan tanah, *soldier pile* dapat digunakan di hampir semua jenis tanah dan di segala jenis lapangan. Analisis *soldier pile* dengan menggunakan aplikasi Plaxis 2D dan PCA Column. Plaxis digunakan untuk mendapatkan besarnya deformasi dan gaya-gaya dalam, sedangkan PCA Column digunakan untuk merencanakan struktur. Diameter *soldier pile* yang direncanakan adalah 60 cm dengan tinggi 6 m. Diameter 60 cm merupakan diameter maksimal dengan tingkat kesulitan mencapai batas dan dibutuhkan angkur.

Kata Kunci: *Basement; dinding penahan tanah; soldier pile; metode elemen hingga; Plaxis 2D.*

Abstract

Excavation of basement construction will be the subject of this research. Basements are starting to develop in big cities because of limited land, height, or the presence of a subway. The collapse of the vertical walls of the soil is an obstacle to basement excavation work. This study aims to design a stable retaining wall using the finite element method. A retaining wall is a structure designed to hold soil in place, prevent collapse of slopes or steep terrain, the stability of which cannot be guaranteed by the slope of the soil itself, and to create vertical planes. The type of retaining wall used in this study is soldier pile because based on actual conditions in the field and as a retaining structure, soldier pile can be used in almost all types of soil and in all types of fields. Soldier pile analysis using 2D plaxis and PCA Column applications. Plaxis is used to get the amount of deformation and internal forces, while PCA Column is used to plan the structure. The planned soldier pile diameter is 60 cm with a height of 6 m. The diameter of 60 cm is the maximum diameter with the degree of difficulty reaching the limit and the need for anchors.

Keywords: *Basement; retaining wall; soldier pile; finite element method; plaxis 2D*

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Universitas Muhammadiyah Jember semakin hari semakin berkembang sebagai salah satu perguruan tinggi swasta di Indonesia. Dimulai dengan sumber daya manusia seperti dosen, mahasiswa, karyawan dan terus berlanjut hingga ke lingkungan. Namun, tidak jarang mengalami sejumlah hambatan dalam perjalanan menuju perbaikan ini.

Kesenjangan antara kebutuhan siswa dengan sarana dan prasarana yang tersedia merupakan salah satu tantangan yang harus diatasi. Universitas Muhammadiyah Jember pun tergerak untuk segera mengatasi persoalan tersebut atas dasar kebutuhan. Penyediaan infrastruktur tambahan untuk siswa yang ada adalah salah satu pendekatan yang terpikirkan. Itulah landasan pembangunan Gedung *Sport Center*.

Penggalian konstruksi *basement* akan menjadi pokok bahasan dalam penelitian ini. *Basement* mulai berkembang di kota-kota besar karena keterbatasan lahan, ketinggian, atau keberadaan kereta bawah tanah. Sebagian besar ruang bawah tanah digunakan sebagai tempat parkir atau fasilitas umum.

Runtuhnya dinding vertikal tanah menjadi kendala pekerjaan galian *basement*. Namun, kondisi tanah dan tingkat air tanah yang tinggi biasanya menimbulkan sejumlah tantangan saat mendesain ruang bawah tanah. Sebuah dinding penahan harus digunakan untuk mengatasi hal ini.

Berdasarkan kondisi aktual di lapangan dan sebagai struktur penahan tanah, *soldier pile* dapat digunakan di hampir semua jenis tanah dan di segala jenis lapangan [1].

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas maka dapat disusun perumusan masalah sebagai berikut :

1. Bagaimana stabilitas dinding penahan *soldier pile* pada Bangunan *Basement Sport Center* Universitas Muhammadiyah Jember?.

2. Apakah dinding penahan tanah aman dan stabil apabila dinding penahan tanah *soldier pile* direncanakan diameter 60 cm?
3. Apakah dengan diameter *soldier pile* 60 cm masih mampu menahan beban dan gaya lateral tanah?.

2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Dinding Penahan Tanah

Dinding penahan tanah adalah struktur bangunan yang digunakan untuk menahan tanah atau memberikan kestabilan pada tanah untuk mencegah keruntuhan tanah yang miring atau lereng yang kemampuan tidak dapat dijamin oleh tanah itu sendiri [2].

Dinding penahan tanah berfungsi sebagai penyokong tanah dan mencegahnya dari bahaya kelongsoran baik akibat berat tanah itu sendiri, air hujan dan akibat beban yang bekerja di atasnya. Kestabilan dinding penahan tanah dipengaruhi oleh tekanan tanah lateral massa tanah..

B. Dinding Penahan Tanah Tipe Soldier Pile

Soldier pile adalah dinding penahan tanah pada suatu galian yang terdiri dari rangkaian atau barisan *bored pile* yang terbuat dari beton yang dicor di tempat (*cast in situ*).

Soldier pile terdiri dari barisan tiang yang saling memotong sehingga jarak as ke asnya lebih kecil dari diameter tiang, dimana tiang yang terpotong tidak menggunakan tulangan (*soft pile*) dan yang memotong menggunakan tulangan (*hard pile*) guna menahan momen atau gaya geser. Sama dengan *diaphragm wall*, *soldier pile* dapat digunakan untuk penggalian yang dalam [3].

Pekerjaan *soldier pile* ini melibatkan beberapa kegiatan antara lain adalah pekerjaan pengukuran dan menentukan titik yang akan di cor sesuai *shop drawing* yang telah ditentukan oleh pemilik. Pekerjaan *soldier pile* dimulai dengan persiapan lahan kerja dan matras untuk jalan alat berat, pabrikasi tulangan yang dikerjakan dekat dengan lokasi pengeboran untuk memudahkan pekerjaan.

C. Tekanan Tanah Lateral

Tekanan tanah lateral adalah sebuah parameter perencanaan yang penting di dalam sejumlah persoalan teknik pondasi, dinding penahan dan konstruksi-konstruksi lain yang ada di bawah tanah. Agar dapat merencanakan konstruksi penahan tanah dengan benar maka kita perlu mengetahui gaya horizontal yang bekerja antara konstruksi penahan tanah dan massa tanah yang ditahan.

Suatu dinding penahan tanah dalam keseimbangan menahan tekanan tanah horizontal tekanan dapat dievaluasi dengan menggunakan koefisien tanah K_a , jadi apabila berat suatu tanah sampai kedalaman H maka tekanan tanahnya adalah γH . Dengan γ adalah berat volume tanah, dan arah dari tekanan tersebut adalah arahnya vertikal ke atas. Sedangkan untuk mendapatkan tekanan horizontal, maka K_a adalah konstanta yang fungsinya mengubah tekanan vertikal tersebut menjadi tekanan horizontal. Penulisannya dapat dilihat seperti dalam contoh **Persamaan 1**.

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

dimana:

K_a = koefisien aktif.

ϕ = sudut geser tanah ($^\circ$).

D. Faktor Keamanan

Faktor keamanan (SF) umumnya didefinisikan sebagai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan. Definisi ini tepat untuk pondasi, tetapi tidak tepat untuk turap, dinding penahan tanah maupun timbunan. Untuk struktur-struktur semacam ini, akan lebih tepat untuk menggunakan definisi faktor keamanan dalam mekanika tanah, yaitu perbandingan antara kuat geser yang tersedia terhadap geser yang dibutuhkan untuk mengisi keseimbangan [4].

Aplikasi Plaxis dapat digunakan untuk menghitung faktor keamanan dengan menggunakan prosedur “Reduksi ϕ -c”.

Umumnya faktor keamanan stabilitas lereng atau faktor aman terhadap kuat geser tanah diambil lebih besar atau sama dengan 1,2 – 1,5. Faktor keamanan minimum dinding penahan tanah dikatakan aman terhadap gaya guling jika nilai $SF \geq 2$ [5].

3. METODOLOGI PENELITIAN

A. Metode Elemen Hingga

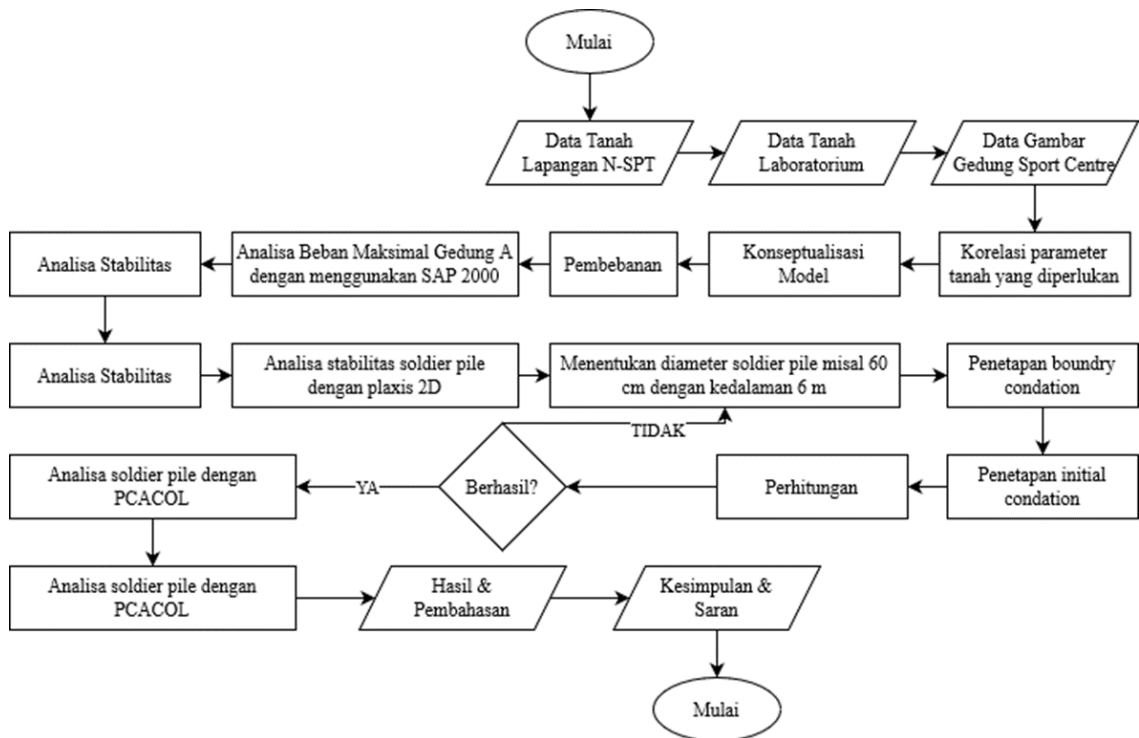
Metode Elemen Hingga adalah salah satu metode numerik yang cocok diterapkan untuk menghitung gaya-gaya dalam (*internal forces*) pada berbagai kasus di bidang rekayasa [6]. Proses analisis dilakukan berdasarkan metode kekakuan yang disajikan dalam formulasi matriks. Keunggulan metode elemen hingga antara lain kemampuannya untuk memodelkan berbagai bentuk geometri struktur yang tidak beraturan.

Metode elemen hingga sangat berguna dalam penyelesaian suatu struktur yang besar dan kompleks. Metode elemen hingga yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aplikasi Plaxis 2D.

B. Plaxis 2D

Metode ini merupakan langkah-langkah yang akan dilaksanakan dalam mendesain dinding penahan tanah jenis *soldier pile*. *Soldier pile* kemudian dihitung dengan menggunakan data tanah yang diperoleh, khususnya data N-SPT, untuk menentukan apakah *soldier pile* tersebut stabil terhadap gaya-gaya di tanah yang akan membebaninya. Mengaplikasikan dengan program Plaxis 2D v.8.6 dan PCA Column untuk analisis [1].

Melalui perencanaan memasukkan diameter tembok penahan 60 cm dengan kedalaman galian *basement* adalah 6 m, apabila terjadi keruntuhan tanah maka digunakan kombinasi perkuatan *soldier pile* dan *ground anchor*. Adapun *flowchart* penelitian seperti pada **gambar 1**.



Gambar 1 Diagram Alur Penelitian
 Sumber: Hasil penggambaran sendiri

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Data Tanah

Perencanaan dinding penahan tanah memerlukan data tanah di lapangan. Data yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan data tanah lokasi pembangunan Gedung Sport Center Universitas Muhammadiyah Jember.

Pada penelitian ini dilakukan uji SPT dengan interval 2 meter dimulai pada kedalaman -2 meter dari tanah dasar sampai 30 meter. Setelah harga SPT ≥ 60 tiga kali berturut-turut dengan tinggi 30 sentimeter dan tebal minimal 6 meter atau sesuai permintaan, pelaksanaan SPT dihentikan. Berdasarkan data penyelidikan tanah hasil N-SPT, kemudian data tanah diuji di laboratorium dan dihitung menggunakan excel.

Sudut gesekan internal (ϕ), kohesi (c), Modulus Young (E), poisson's ratio (ν), dan sudut dilatasi (ψ) semuanya berdampak pada kriteria Mohr Coulomb, yang merupakan kriteria keruntuhan bahan yang dimanfaatkan. Berat satuan basah (γ), berat satuan tanah jenuh (γ_{sat}), dan koefisien permeabilitas (k) adalah

parameter tambahan yang diperlukan untuk pemodelan ini. Memanfaatkan rumus untuk menghitung data parameter tanah yang digunakan dalam plaxis dari nilai SPT.

Tabel 1 Data Parameter Tanah.

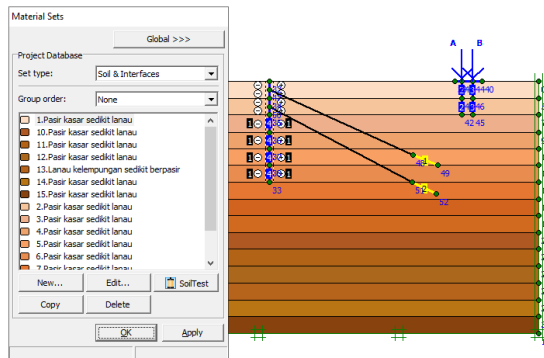
z	Jenis Tanah	C	ϕ °	γ_s kN/m ³	Ka
2	Pasir kasar sedikit lanau	24,5	22	20,2	0,5
4		35,3	11	16,8	0,7
6		29,4	17	16,9	0,6

B. Pemodelan Data Pada Plaxis

1. Pemodelan Soldier Pile dan Ground Anchor

Titik masuknya *soldier pile* ke dalam tanah ditentukan oleh model geometri *soldier pile* yang akan diteliti. Parameter material, seperti parameter tanah, parameter pasukan, dan beban bangunan sekitar, harus dimasukkan ke dalam elemen yang dihasilkan saat kondisi yang ada direpresentasikan dalam perangkat lunak Plaxis dan PCA Column.

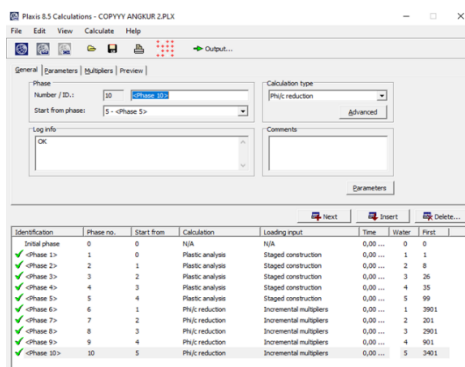
Diameter soldier pile = 0,60 m
 Kedalaman soldier pile = 6 m
 Mutu beton = K-250
 Mutu baja = BJ-37



Gambar 2 Pemodelan *soldier pile*, *ground anchor* dan lapisan tanah
 Sumber: Hasil perhitungan Plaxis

2. Menentukan kondisi awal dan perhitungan

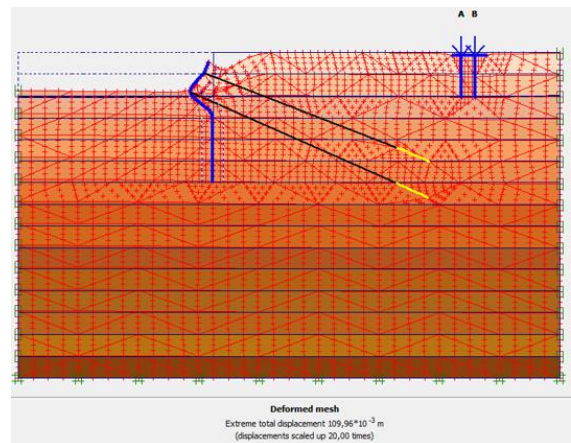
Analisis pori awal dan analisis tekanan awal adalah dua jenis analisis yang digunakan untuk menentukan kondisi awal. Kedalaman tabel air tanah pertama-tama harus ditentukan sebelum tekanan air pori awal dapat dianalisis. Hasil akhir perhitungan dapat diketahui besar momen, deformasi, gaya aksial, dan faktor keamanan.



Gambar 3 Jendela perhitungan Plaxis 2D v.8.6.
 Sumber: Hasil perhitungan Plaxis

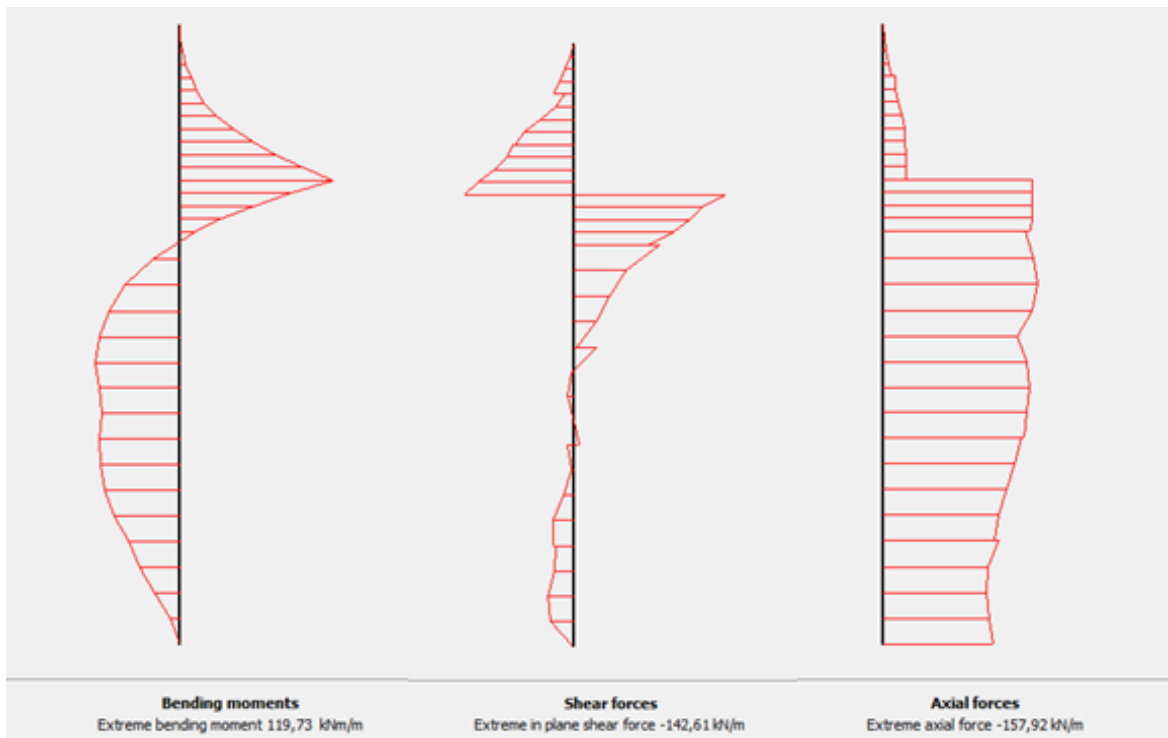
C. Hasil Analisa Gaya Soldier Pile

Berdasarkan parameter tanah, analisis jangka pendek (plastis) dilakukan dalam penelitian ini. Variabel yang dibahas meliputi derajat deformasi, gaya yang bekerja, dan tegangan dalam tanah untuk menahan gaya lateral dalam penggalian *soldier pile*. Dengan aplikasi Plaxis 2D, berikut adalah hasil dari analisis jangka pendek (plastis) dan *phi-reduction*. Hasil ini didasarkan pada parameter efektif tanah.

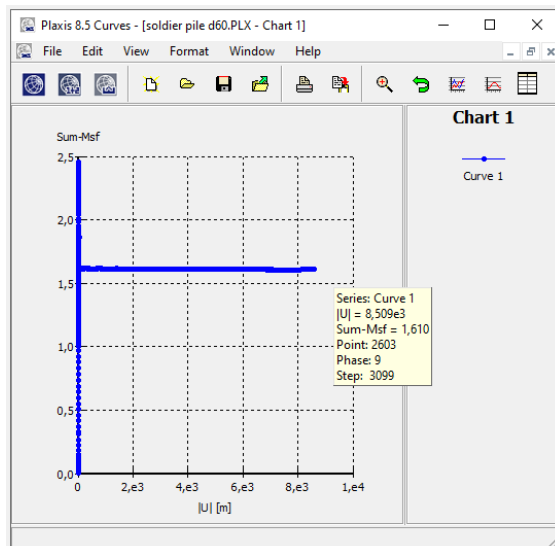


Gambar 4 Deformasi galian *soldier pile*.
 Sumber: Hasil perhitungan Plaxis

Pada **gambar 4**, hasil *output* perhitungan diperoleh nilai deformasi galian sebesar $109,96 \cdot 10^{-3}$ m atau 10,99 cm.



Gambar 5 Momen lentur, gaya geser dan gaya aksial pada *soldier pile*.
 Sumber: Hasil perhitungan Plaxis



Gambar 6 Faktor keamanan *soldier pile* dengan *ground anchor*
 Sumber: Hasil perhitungan Plaxis

Dari hasil *output* Plaxis 2D, dapat diketahui besar *moment soldier pile* sebesar 119,73 kNm/m, gaya geser sebesar -142,61

kN/m dan gaya aksial sebesar -157,92 kN/m serta didapatkan hasil faktor keamanan *soldier pile wall* sebesar 1,610 yang kemudian akan dimasukkan ke dalam aplikasi PCA Column untuk mengetahui kekuatan aksial dan momen *soldier pile*.

D. Hasil analisa dengan PCACOL

PCACOL atau PCA Column merupakan *software* analisis dan desain kolom beton bertulang.

Diketahui perencanaan *soldier pile* sebagai berikut:

Diameter *soldier pile* = 0,60 m

Kedalaman *soldier pile* = 6 m

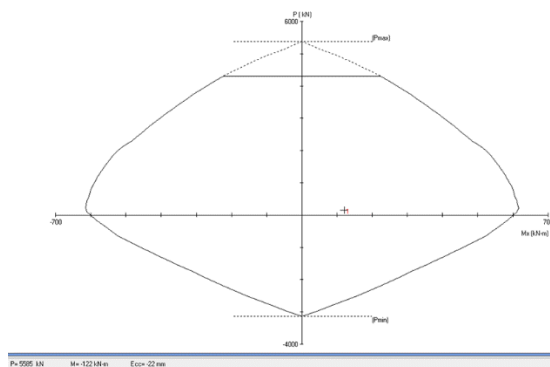
Mutu beton = K-250

Mutu baja = BJ-37

Momen = 119,72 kNm/m

gaya aksial = -157,92 kN/m

Dengan memasukkan parameter dinding penahan tanah *soldier pile* disesuaikan dengan data perencanaan, maka didapatkan hasil sebagai berikut :



Gambar 7 Diagram interaksi *soldier pile*.
Sumber: Hasil perhitungan PCACOL

Jika titik plot antara gaya aksial dan momen hasil pembesaran masih masuk dalam area ijin, maka struktur masih dalam kondisi aman dan fM_n/M_u lebih dari 1, artinya sama dengan $fM_n > M_u$ maka struktur *soldier pile* aman.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan berikut dapat ditarik dari data yang diolah dan dianalisis pada bab sebelumnya yaitu:

1. Gaya-gaya dalam dihasilkan dari hasil analisis stabilitas pada *soldier pile*. Momen sebesar 119,73 kN-m/m, gaya geser sebesar 142,61 kN/m serta gaya aksial sebesar 157,92 kN/m diperoleh dari analisis plastis Plaxis 2D. Pada analisis plastis menunjukkan bahwa tegangan total sebesar 487,08 kN/m² dan tegangan efektif sebesar 254,69 kN/m² serta faktor keamanan sebesar 1,61.
2. Dari hasil perencanaan *soldier pile* dengan diameter sebesar 60 cm dan kedalaman 6 meter, dengan menggunakan bantuan aplikasi PCA Column dapat diketahui penulangan *soldier pile*, dengan mutu beton K-250 dan mutu baja BJ-37 menggunakan besi tulangan 10D14.
3. Untuk perkuatan dinding penahan tanah *soldier pile* berdiameter 60 cm perlu ditambahkan *ground anchor* karena diameter 60 cm sudah mencapai batas maksimum untuk tingkat kesulitannya.

B. Saran

Saran penulis untuk melakukan penelitian tambahan tentang penggunaan *soldier pile* sebagai dinding penahan tanah adalah:

1. Dilakukan perencanaan menggunakan jenis struktur dinding penahan tanah lainnya sebagai pembanding.
2. Untuk perencanaan pembangunan disarankan untuk menggunakan angkur sebagai perkuatan dan stabilitas tanah.
3. Perlu dicek kembali perhitungan menggunakan program aplikasi lain selain menggunakan plaxis sebagai pembanding nilai deformasi.

6. REFERENSI

- [1] B. R. Sianipar, "Perencanaan Soldier Pile Untuk Perkuatan Lereng Jalan Tol Gempol – Pandaan STA. 6+518 S/D 6+575," 2016.
- [2] Lindawati, S. Nabilah, dan Sutikno, "Perhitungan Dinding Penahan Tanah Pada Proyek Jalan Tol Di Depok," *Pros. Semin. Nas. Tek. Sipil Politek. Negeri Jakarta*, 2019.
- [3] P. M. Siregar, "Analisis Stabilitas Soldier Pile Sebagai Dinding Penahan Tanah Dengan Metode Elemen Hingga Pada Gedung Menara Bri Jl. Jend. Sudirman Pekanbaru," 2019.
- [4] T. D. Putra, N. Silmi, dan N. Djarwati, "Analisis Stabilitas Lereng Di Das Tirtomoyo Wonogiri Akibat Hujan Periode Ulang," *Matriks Tek. Sipil*, 2015.
- [5] S. N. I. SNI, *Persyaratan perancangan geoteknik*, vol. 8460. 2017.
- [6] N. W. Siregar, "Analisis Steel Combined Wall Dengan Tubular Pile Terhadap Stabilitas Tanah Menggunakan Metode Elemen Hingga," 2021.
- [7] Rubikon, *Proyek Soil Investigation Universitas Muhammadiyah Jember*. 2019.