

ANALISIS KONSOLIDASI DENGAN KOMBINASI METODE *REPLACEMENT* DAN *PRELOADING* MENGGUNAKAN PLAXIS PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN TOL PEKANBARU – PADANG

Muhammad Sultan Mubaraq Saragih^{1*}, Tika Ermita Wulandari²

^{1,2}Program Studi Teknik Sipil, Universitas Medan Area, Medan

muhammadsultan7125@gmail.com

ABSTRAK

Permasalahan geoteknik merupakan salah satu permasalahan geoteknik adalah penurunan dan daya dukung tanah yang merupakan pondasi dari jalan tol. Perbaikan tanah dengan cara Replacement pergantian tanah dengan pembebanan Preloading merupakan salah satu metode yang populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Analisis ini bertujuan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak. Analisis ini bertujuan untuk menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi secara analitis menggunakan pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh very fine dengan settlement plate lapangan, menganalisis dan membandingkan besar penurunan konsolidasi dengan pemodelan Plaxis 2D dengan tipe mesh yaitu very fine dengan data settlement plate yang ada di lapangan. Dari hasil analisis diperoleh lama waktu konsolidasi dengan pemodelan Plaxis 2D 149 hari sedangkan waktu penurunan dari hasil data settlement plate 39 hari dan besar penurunan konsolidasi menggunakan pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe very fine = 0,056 m sedangkan besar penurunan dari hasil data settlement plate sebesar = 0,416 m dengan perbandingan persentasinya 86,53% dengan angka faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,745. Dapat disimpulkan perbedaan hasil data lapangan dan hasil analisis pada Plaxis 2D yang cukup jauh dikarenakan data yang didapat tidak semua dimiliki untuk setiap lapisan tanah.

Kata kunci : Konsolidasi, *Replacement*, *Preloading*, Plaxis

ABSTRACT

One of the geotechnical problems is the reduction and bearing capacity of the soil which is foundation of the toll road. Soil improvement by replacement soil material and preloading is one of the popular methods used to increase the shear strength of soft soil. This analysis aims to analyze and compare the amount of consolidation settlement analytically using Plaxis 2D modelling using very fine mesh type with settlement plate data in the field, analyzing and comparing the magnitude of consolidation settlement using Plaxis 2D modeling with very fine mesh type with settlement plate data. Is in the field. From the results of the analysis, it was found that the consolidation time for modeling on Plaxis 2D was 149 days, while the reduction using Plaxis 2D modeling using then very fine type = 0,056 m, while the reduction amount from the settlement plate data results was = 0,416 m with the percentage comparison is 86,53% with a safety factor figure obtained of 1,745. It can be concluded that the differences between the results of field data and the results of analysis on Plaxis 2D are quite large because the data obtained is not all available for each soil layer.

Keywords : Consolidation, *Replacement*, *Preloading*, Plaxis

PENDAHULUAN

Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang terbagi menjadi lima zona pekerjaan yaitu zona 1, zona 2, zona 3, zona 4 dan zona 5 dengan apanjang ruas Tol zona 1 = 3 km, zona 2 = 5 km, zona 3 = 6 km, zona 4 = 6 km, dan zona 5 = 4,7 km. Hasil Sondir yang dilakukan

menggambarkan karakteristik tanah eksisting adalah tanah lunak dengan kadar air tinggi (Wulandari 2021) (Hamdhan and Rahmanisa 2023) (Adhi 2022). Tanah ini umumnya memiliki sifat kompresibilitas yang tinggi, permeabilitas yang rendah dan daya dukung yang rendah. Kondisi tanah tersebut merupakan kondisi yang tidak baik jika digunakan sebagai tanah dasar untuk sebuah konstruksi jalan Tol (Braja M Das 1993) (B. M. Das 1995) (Braja 2008). Kontruksi akan rusak karena adanya penurunan tanah yang terjadi. Hal ini lebih fatal jika penurunan yang terjadi bersifat setempat (Hari Wibowo et al. 2019) (Susiazti et al. 2020).

Kondisi tanah lunak ini tentunya perlu dilakukan perbaikan tanah sehingga dapat memperkuat tanah sebagai pondasi sebuah jalan Tol (Dewi, Priadi, and Faisal 2020) (Hayati, Roesyanto, and Iskandar 2021). Proses perbaikan yang dilakukan yaitu dengan kombinasi metode pergantian material tanah (Replacement) pada tanah dasar sedalam 1,4 m dan pembebanan awal (Preloading) setinggi 1,4 m, kedua metode ini merupakan metode yang populer digunakan untuk meningkatkan kekuatan geser tanah lunak (Hari Wibowo et al. 2019) (Susiazti et al. 2020). Pembebanan awal dilakukan dengan tujuan mengkonsolidasi lapisan tanah lunak dengan besar pembebanan yang sama atau lebih dari pada beban yang akan dipikul oleh tanah baik saat maupun setelah konstruksi (Dewi, Priadi, and Faisal 2020) (Hayati, Roesyanto, and Iskandar 2021).

Pemberian beban di atas suatu permukaan tanah dapat menyebabkan lapisan tanah di bawahnya mengalami pemampatan (Dewi, Priadi, and Faisal 2020) (Hayati, Roesyanto, and Iskandar 2021). Pemampatan tersebut disebabkan oleh adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel, keluarnya air atau udara dari dalam pori, dan sebab – sebab lain dimana faktor – faktor tersebut mempunyai hubungan dengan keadaan tanah yang bersangkutan (Viona, Pratikso, and Soedarsono 2022) (Arthaning Tyas, Isnaniati, and Utama 2022).

Dari penelitian sebelumnya belum ada pembahasan tentang penurunan menggunakan Plaxis 2D tipe mesh very fine, akan dibandingkan dengan kondisi dilapangan (El Sharief, Mohamedzein, and Hussien 2021) (Ameratunga n.d.) (Element 2022). Area yang akan ditinjau adalah area yang berdekatan dengan data Bore Hole atau data Sondir di STA 47+100 (R. Putri, Tyagita, and Hayati 2022) (Suardi et al. 2021) (Panguriseng and Makassar 2018). Dari penelitian dari latar belakang diatas, serta dengan data – data yang didapat dilapangan penulis tertarik untuk menjadikan bahan Tugas Akhir/Skripsi yang berjudul “Analisis Konsolidasi Dengan Kombinasi Metode Replacement dan Preloading Menggunakan Plaxis Pada Proyek Jalan Tol Pekanbaru – Padang” (C. A. Putri n.d.) (Adinegoro, Sholeh, and Novianto 2021) (Hidayati and Wiryana Ardana 2008).

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode Replacement dan Preloading dengan menggunakan Plaxis 2D sebagai analisis perhitungan konsolidasi.

Lokasi Penelitian

Lokasi yang dipilih untuk penelitian ini yaitu Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang pada ST 47+100, Lokasinya yang terletak di Kabupaten Kampar, Provinsi Riau merupakan salah satu daerah di pulau sumatera. Dimana berdasarkan hasil penyelidikan tanah dilapangan yang berupa hasil uji alat sondir dan boring, pada lokasi tersebut termasuk jenis tanah dan diperlukan perbaikan tanah terlebih dahulu sebelum dilakukan pembangunan jalan tol. Lokasi pembangunan Proyek Pembangunan Jalan Tol Pekanbaru – Padang.

Tahap Persiapan

Tahap persiapan ini merupakan rangkaian kegiatan sebelum melakukan pengumpulan data dan pengelolaan data. Dalam tahap ini disusun hal – hal penting yang harus dilakukan agar mengefektifkan waktu dan pekerjaan.

Adapun tahap – tahap persiapan ini meliputi :

1. Studi pustaka materi tugas akhir untuk menentukan garis besar permasalahan.
2. Menentukan kebutuhan data yang akan digunakan.
3. Mencari informasi melalui instansi terkait yang dapat dijadikan narasumber.
4. Survey lokasi untuk mengetahui gambaran kondisi pada lokasi proyek.

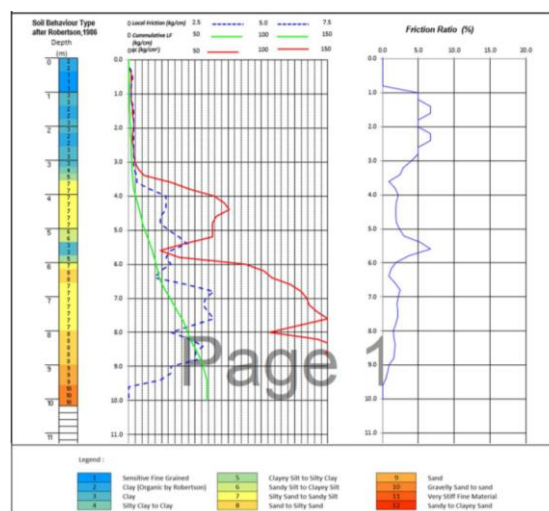
Persiapan diatas harus dilakukan Dengan cermat agar terhidar dari bagian yang terlupakan ataupun pekerjaan yang terulang.

Tahap Penelitian

Dalam penulisan Tugas Akhir ini, penulis melakukan beberapa tahap dan pelaksanaan sehingga tercapai maksud dan tujuan dari penelitian seperti yang di uraikan pada Bab I, tujuan dari penulisan Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui besar kecepatan penurunan konsolidasi dan masalah stabilitas yang terjadi pada tanah jika dilakukan perbaikan dan sesudah jika dilakukan perbaikan untuk mempercepat agar tanah mampu menahan beban yang ada diatasnya dengan menggunakan Kombinasi Metode *Replacement* Dan *Preloading* Menggunakan *Plaxis*, yang didasarkan pada data pengujian dilapangan, dan pengolahan data. Dalam mencapai tujuan tersebut, maka dilakukan tahap – tahap sebagai berikut :

1. Tahap Pertama
Mengumpulkan berbagai jenis literature dalam bentuk buku maupun tulisan ilmiah yang berhubungan dengan Tugas Akhir ini.
2. Tahap Kedua
Pada tahap ini dilakukan pengumpulan data – data dari hasil penyelidikan tanah yaitu berupa hasil boring pada tanah dan data spesifikasi bahan yang digunakan. Adapun data tersebut diperoleh dari PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk.
3. Tahap Ketiga
Melakukan analisis sesuai dengan data – data yang diperoleh PT.Wijaya Karya (Persero) Tbk dan data yang didapat dari hasil wawancara dilapangan berdasarkan dengan sumber referensi (jurnal dan buku yang berhubungan dengan tanah) yang berhubungan dengan penulisan tugas akhir ini.
4. Tahap Keempat
Menentukan hasil penurunan tanah yang terjadi dengan menggunakan pendekatan yang didapat dari referensi jurnal.

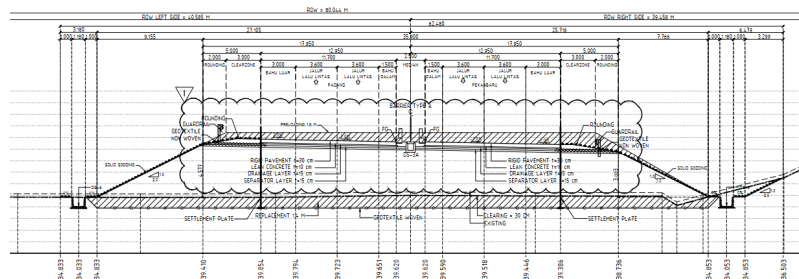
Data Sondir



Gambar 1 Data Sondir STA 47+100

Dari hasil diatas dapat disimpulkan secara keseluruhan lapisan tanah dari hasil penyelidikan tanah SO STA 47+100 merupakan lapisan tanah lempung, dengan sedikit tanah lanau yang lunak sampai dengan kedalaman yang cukup dalam, Seperti data sondir yang terdapat dibawah ini.

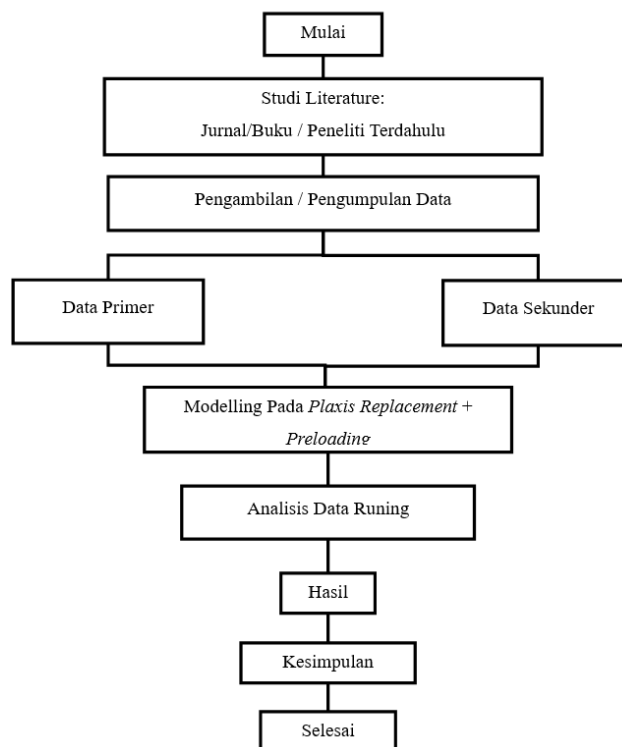
Detail Rencana *Preloading*



Gambar 2 Detail Gambar Rencana *Replacement* dan *Preloading* 47+100

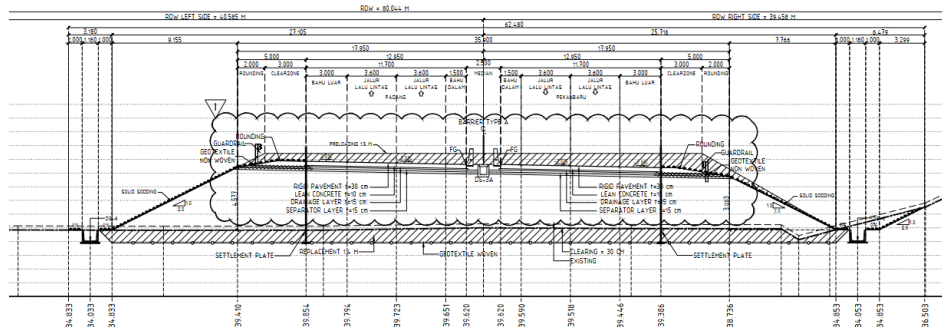
Pada perencanaan *Replacement* dan *Preloading* ini terdiri dari beberapa lapisan yaitu tanah eksisting, *Replacment*, Timbunan *Mainroad*, dan Timbunan *Preloading*. Untuk tanah eksisting sendiri yaitu terdiri dari 3 lapisan tanah, 3 lapisan tanah tersebut meliputi dari Lapisan tanah pertama dari titik 0 Elevasi permukaan tanah 0 – 3,2m terdapat tanah *Clay*, lapisan kedua 3,2 – 6m terdapat tanah *Silty Clay*, dan lapisan ketiga 6 – 10m terdapat tanah *Sand* yang bisa dilihat dari hasil data sondir. Untuk tanah *Replacement* yang material tanah yang digunakan adalah *Silty Sand* dengan kedalaman 1,4m dari titik 0 Elevasi permukaan tanah, sedangkan untuk material tanah yang digunakan pada timbunan *Mainroad* setinggi 4,58m dan *Preloading* 1,4m menggunakan material tanah CBM.

Kerangka Berfikir Penelitian



Gambar 3 Kerangka Berfikir

HASIL DAN PEMBAHASAN



Gambar 4 Detail Gambar Rencana *Replacement* dan *Preloading* 47+100

Pada *Replacement* dari hasil sondir terdapat pergantian material tanah yang dilakukan pada area STA 47+100 yang akan dilakukan replacement dari elevasi 0 sampai -1,4 m dari kedalaman hasil sondir yaitu 10 m sehingga lapisan lapisan yang dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Lapisan 1 (Timbunan CBM) Tebal 4,58 m
2. Lapisan 2 Replacement 1,4 m
3. Lapisan 3 Clay Tebal 1,8 m
4. Lapisan 4 Silty Clay Tebal 2,8 m
5. Lapisan 5 Sand Tebal 4 m

Tabel 1 Data yang diinput pada program *Plaxis*

Uraian	Unit	Material Properties STA 47+100				
		Timbunan	Silty Sand	Clay	Silty Clay	Sand
Material Model	-	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb	Mohr-Coulomb
Kedalaman	Mtr	5,98-0	0-1,4	1,4-3,2	3,2-6	6-10
Drainage Type	-	Drained	Drained	Undrained	Drained	Drained
γ_{unsat}	kN/m ³	17	16	16	17	18
γ_{sat}	kN/m ³	18	17	17	18	19
E	kN/m ²	10030	30000	10000	50140	323300
ν (nu)		0,30	0,30	0,30	0,30	0,30
c_{ref}	kN/m ²	29.2	15.5	15.5	29.2	29.2
ϕ (phi)	°	40	30	0	90	90
Ψ (psi)	°	0	0	0	0	0
λ^* (lambda)		-	-	-	-	-
κ^* (kappa)		-	-	-	-	-
k_x	m/day	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	1
k_y	m/day	0.0005	0.0005	0.0005	0.0005	1
Nama Lapisan		Preloading	1	2	3	4

Pada perhitungan *Plaxis* dihitung dengan jenis pemodelan yang digunakan yaitu *Plane Strain* dengan 15 titik nodal. Lebar penampang yang ditinjau yaitu dengan 100m tipe *mesh* medium.

Secara umum pemodelan geometri pada *Plaxis* ada tiga yaitu:

1. *Axysimteris*
Pemodelan *Axysimteris* digunakan untuk struktur yang simetris, misalnya pada pondasi tiang tunggal.
2. *Plane Strain*

Pemodelan *Plane Strain* biasanya digunakan untuk struktur pemodelan struktur memanjang, misalnya dinding penahan. Untuk penelitian ini digunakan permodelan geometri dengan *Plane Strain*.

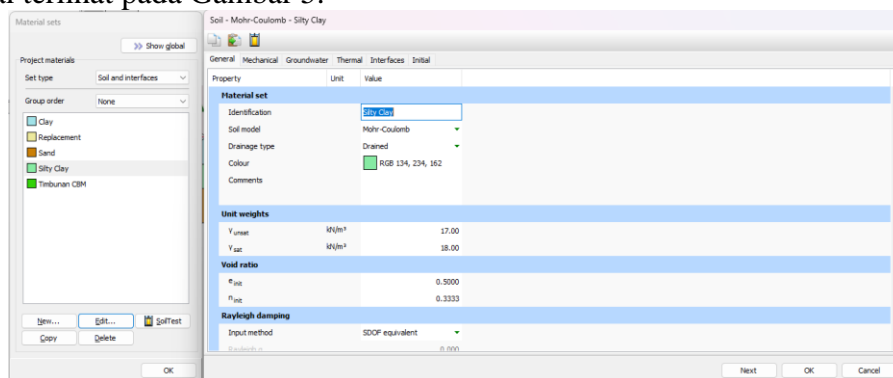
3. *Plain Stress*

Pemodelan *Plane Stress* biasanya digunakan untuk pemodelan pelat tepi.

Perhitungan Plaxis 2D dilakukan dengan tahapan berikut:

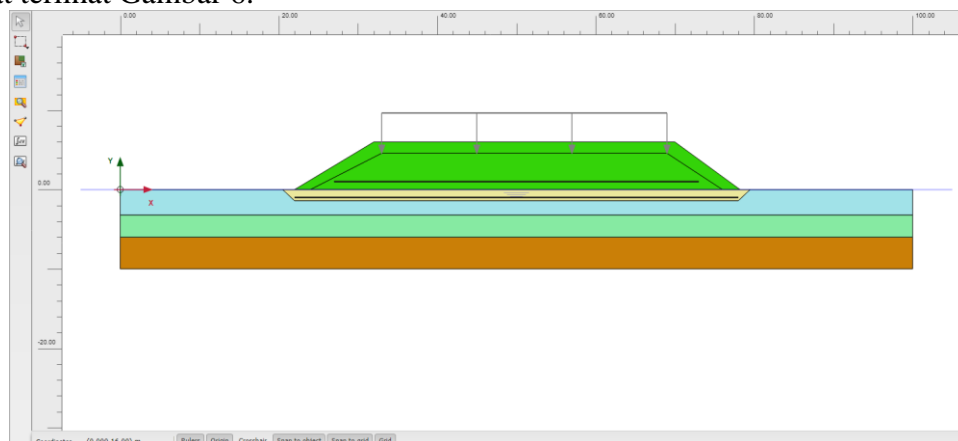
1. Soil

Pada Tahapan ini melakukan pemodelan tanah sesuai dengan lapisan tanah dari hasil sondir dilapangan, selanjutnya input data/nilai. Adapun proses input data lapisan tanah/*setting* material terlihat pada Gambar 5.



Gambar 5 *Setting* material sesuai dengan sondir

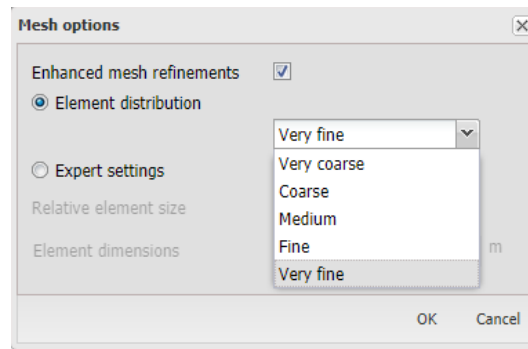
Kondisi di lapangan yang disimpulkan ke dalam program *Plaxis* bertujuan untuk mengimplementasikan tahapan pelaksanaan di lapangan ke dalam tahapan pengerjaan pada program dengan harapan pelaksanaan dilapangan didekati sedeket mungkin pada program, sehingga respon yang dihasilkan dari program dapat diasumsikan sebagai cerminan respon yang dihasilkan dari kondisi yang sebenarnya terjadi dilapangan. Pemodelan lapisan tanah dapat terlihat Gambar 6.



Gambar 6 Pemodelan lapisan tanah pada Plaxis 2D

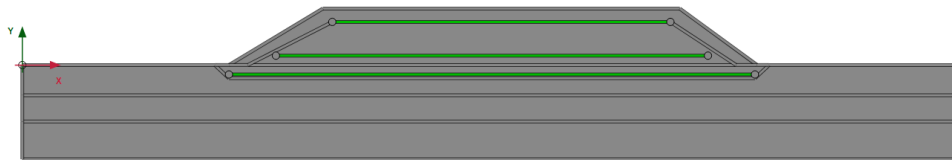
2. *Generate Mesh 2D*

Setelah semua geometri tanah digambarkan dan propertisnya dimasukkan ke lapisan tanah tersebut. Langkah berikutnya adalah melakukan *boundary condition* dan *generate mesh*. Pada proses *boundary condition* akan ditentukan batas konsolidasi struktur yang di Analisa. Pada *generate mesh* seluruh elemen struktur akan dibagi menjadi elemen-elemen kecil. Semakin kecil elemen maka perhitungan akan semakin teliti. *Mesh* yang digunakan pada penelitian ini yaitu, *very fine*. Pemilihan *mesh* dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7 Pemodelan *mesh* yang digunakan

Proses kalkulasi/perhitungan pada program *Plaxis* dilakukan dengan cara membagi keseluruhan konstruksi menjadi *mesh-mesh*. Semakin kecil *mesh* yang dibuat maka semakin teliti pula perhitungannya, namun semakin kecil *mesh* yang dibuat kalkulasinya akan memakan waktu yang semakin lama pula. Berikut hasil *generate mesh* pada tipe *very fine* dapat dilihat pada Gambar 8. jumlah *mesh* yang diperoleh adalah 2.137 elemen dan 17.291 *node*.



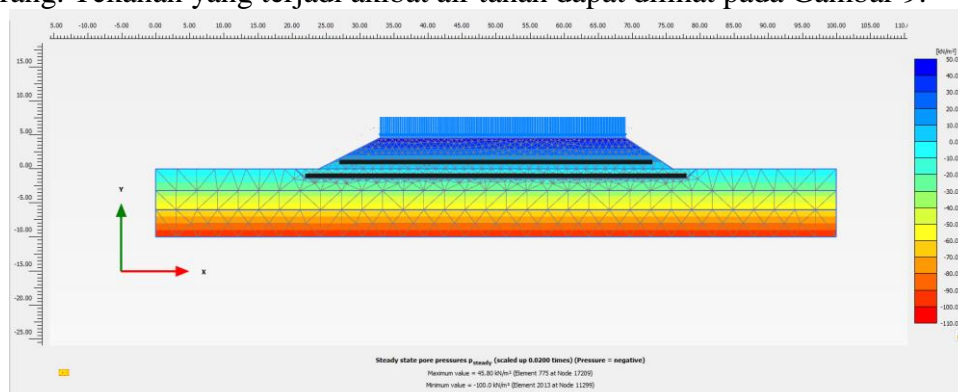
Gambar 8 Hasil *generate mesh* diperoleh 2.137 elemen dan 17.291 *node*

Tabel 2 *Mesh* yang dihasilkan pada setiap tipe

Tipe <i>Mesh</i> Plaxis	<i>Mesh</i>	
	Jumlah Elemen	Jumlah Node
<i>Very Fine</i>	2.137	17.291

3. *Flow Condition*

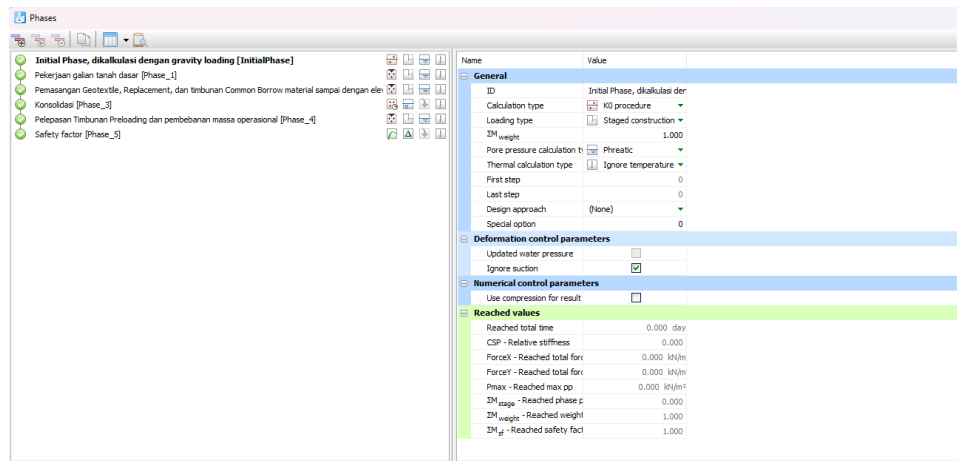
Pada *flow condition* ini akan diperhitungkan besaran muka air tanah yang ada pada lokasi penelitian. Pada penelitian ini elevasi muka air tanah diasumsikan sejajar muka tanah elevasi sekarang. Tekanan yang terjadi akibat air tanah dapat dilihat pada Gambar 9.



Gambar 9 Tekanan yang terjadi akibat air tanah (max. 45.80 KN/m² dan min. -100.0 KN/m²)

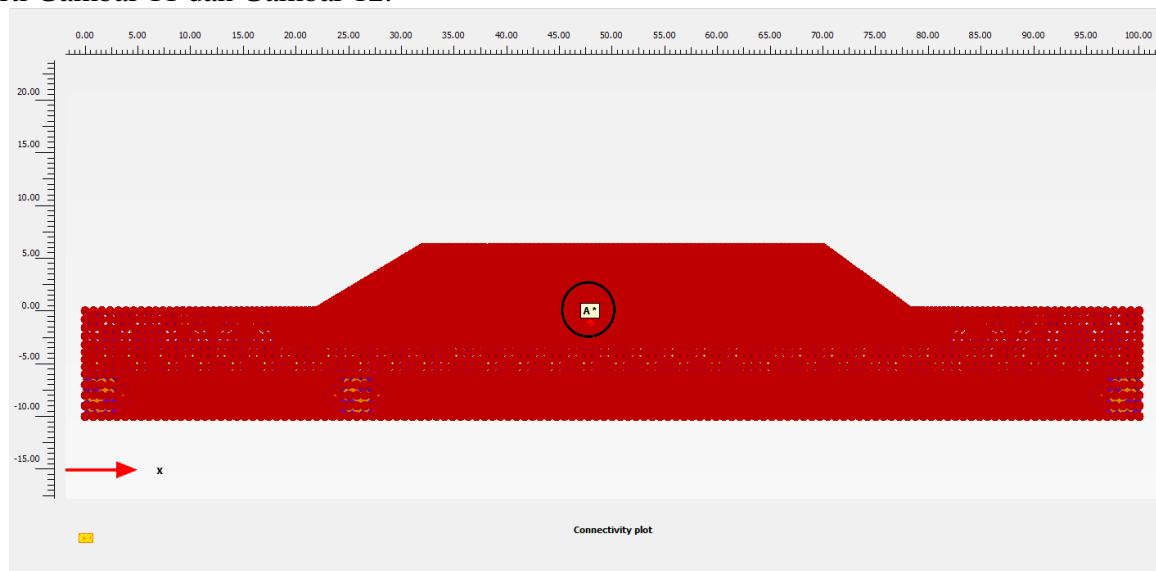
4. *Staged Contruction*

Tahapan *staged contruction* merupakan tahapan perhitungan. *Phase* perhitungan adalah sebanyak 6 *phase*, *phase* perhitungan dapat terlihat pada Gambar 10.

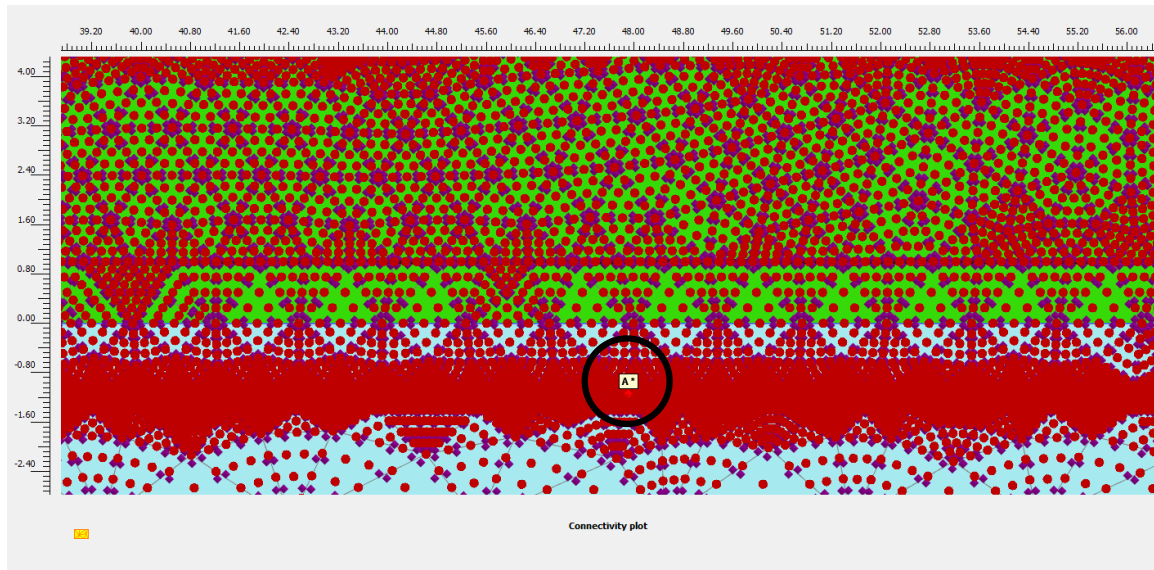


Gambar 10 Phase Perhitungan

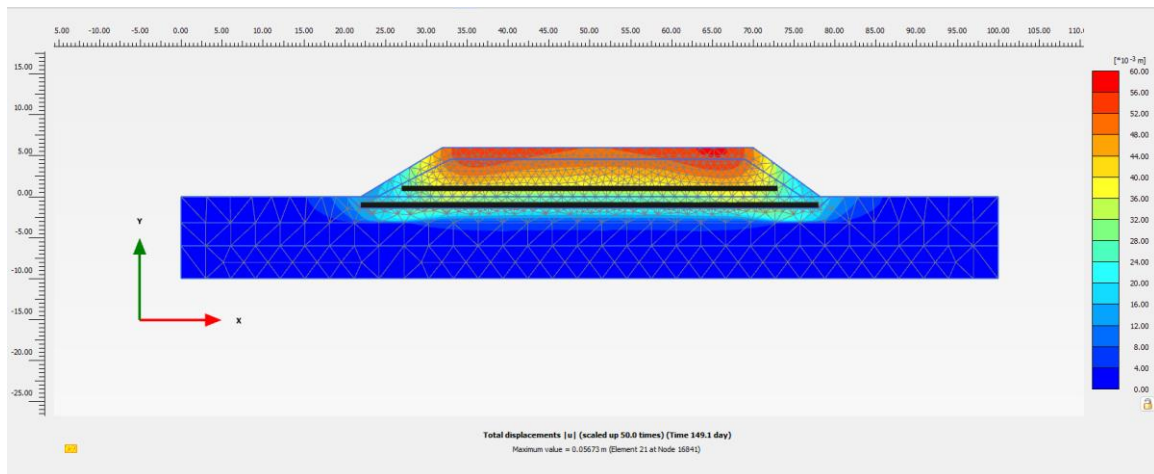
Setelah dilakukan *phase* perhitungan, maka setelah itu di tentukan titik tinjau (Titik A). lokasi titik A ini harus sama dengan yang dengan lokasi dimana *settlement plate* STA 47+100 di pasang yaitu pada lapisan tanah dasar, hal ini agar didapat hasil yang akurat. Titik A berada di koordinat $x = 51,27m$ $y = 2,53m$ pada pemodelan *Plaxis* perbedaan lokasi penentuan titik tinjau akan mengakibatkan kesalahan dalam menganalisa, hal ini dikarenakan setiap lokasi akan mengalami penurunan dan konsolidasi yang berbeda, Titik tinjau pada penelitian ini dapat dilihat seperti Gambar 11 dan Gambar 12.



Gambar 11 Titik Analisa peninjauan (Titi A)



Gambar 12 Titik Analisa peninjauan (Titi A)



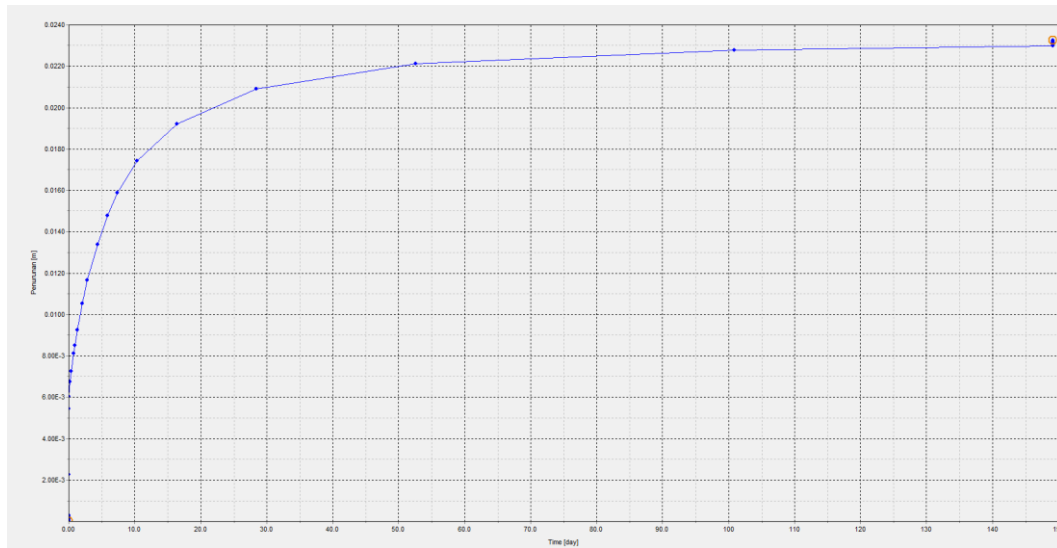
Gambar 13 Total Displacement

Setelah tahapan perhitungan dilakukan pada *Plaxis*, maka akan didapat hasil *output* perhitungan yang menunjukkan bahwa penurunan vertikal yang terjadi pada area STA 47+100 dengan tipe *mesh* ditunjukkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Penurunan hasil analisis Plaxis 2D

Tipe <i>Mesh</i> Plaxis	<i>Mesh</i>		Penurunan (m)
	Jumlah Elemen	Jumlah Node	
<i>Very Fine</i>	2.137	17.291	0,056

Dari hasil Tabel 3 didapat hasil penurunan dari tipe *Very Fine* 0,056 m. Data penurunan yang didapatkan dilapangan pada STA 47+100 sebesar 0,416 m. Adapun grafik penurunan konsolidasi pada Plaxis 2D Gambar 14.



Gambar 14 Grafik penurunan konsolidasi Plaxis 2D

Terjadinya perbedaan penurunan yang terlihat pada Gambar 14. Disebabkan ini dikarenakan data laboratorium tidak didapat mewakili seluruh lapisan tanah dilapangan, sehingga data yang tidak didapat menggunakan korelasi pada saat input parameter di Plaxis.

PEMBAHASAN

Berdasarkan analisis maka didapat pembahasan bahwa:

1. Durasi penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode *Replacement* dan *Preloading* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh very fine*, waktu lapangan yaitu selama 39 hari dan waktu menggunakan Plaxis 2D selama 149 hari dengan selisih perbedaan hari yang itu 110 hari, Terjadinya perbedaan diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT, Seperti pada Tabel 4.

Tabel 4 Perbandingan durasi penurunan Plaxis 2D dengan data *Settlement plate* pada STA 47+100

	<i>Settlement Plate</i> STA 47+100	Plaxis 2D <i>mesh very fine</i>
Penurunan (Hari)	39 Hari	149 Hari
Perbedaan Prediksi Penurunan dengan Lapangan STA 47+100 (Hari)		110 Hari

2. Hasil ini terjadi perbedaan dengan hasil kondisi yang terjadi dilapangan, dimana besar penurunan *settlement plate* pada STA 47+100 dilapangan adalah 0,416 m. Terdapat perbedaan penurunan sebesar 0,36 m dengan hasil penurunan pada Plaxis 2D adalah 0,056 m. Perbedaan ini dikarenakan data laboratorium tidak didapat mewakili seluruh lapisan tanah dilapangan, sehingga data yang tidak didapat menggunakan korelasi pada saat input parameter di Plaxis.
3. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode *Replacement* dan *Preloading* pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe *mesh very fine*, penurunan lapangan yaitu 0,416 m dan penurunan menggunakan Plaxis 2D sebesar 0,056 m, Terjadinya perbedaan sebesar -0,36 m atau -86,53% dengan angka faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,745. Diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT, Maka didapat persentasi seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Perbandingan besar penurunan Plaxis 2D dengan data *Settlement plate* pada STA 47+100

	Settlement Plate STA 47+100	Plaxis 2D mesh very fine
Penurunan (m)	0,416 m	0,056 m
Perbedaan Prediksi Penurunan dengan Lapangan STA 47+100 (m)		-0,36 m
Persentasi Perbedaan Penurunan (m)		-86,53%
Dengan Angka Faktor Keamanan Yang Diperoleh Sebesar		1,745

KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan pembahasan maka dapat disimpulkan bahwa.

1. Durasi penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode Replacement dan Preloading pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh very fine, waktu lapangan yaitu selama 39 hari dan waktu menggunakan Plaxis 2D selama 149 hari dengan selisih perbedaan hari yang itu 110 hari, Terjadinya perbedaan diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT.
2. Besar penurunan konsolidasi yang terjadi dengan menggunakan analisis konsolidasi dengan kombinasi metode Replacement dan Preloading pada pemodelan Plaxis 2D menggunakan tipe mesh very fine, penurunan lapangan yaitu 0,416 m dan penurunan menggunakan Plaxis 2D sebesar 0,056 m, Terjadinya perbedaan sebesar -0,36 m atau -86,53% dengan angka faktor keamanan yang diperoleh sebesar 1,745 diakibatkan adanya data yang tidak lengkap dilapangan sehingga menggunakan korelasi nilai N-SPT.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih penulis sampaikan kepada Ibu Tika Ermita Wulandari, S.T., M.T. selaku dosen pembimbing dan selaku Ka. Prodi Teknik Sipil yang telah banyak memberikan saran. Disamping itu penghargaan penulis sampaikan kepada PT. Wijaya Karya (Persero) Tbk dan Tim Wika Pekdang yang telah banyak membantu penulis selama penyusunan skripsi. Ungkapan terima kasih juga disampaikan kepada Ayah, Ibu serta seluruh keluarga atas segala doa dan perhatiannya. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari kesempurnaan, oleh karena itu, krititik dan saran sangat penulis harapkan demi kesempurnaan skripsi ini. Penulis berharap skripsi ini dapat bermanfaat bagi kalangan akademik maupun masyarakat. Akhir kata penulis ucapkan terima kasih.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhi, Bagas Wahyu. 2022. "Analisa Stabilitas Timbunan Di Daerah Rawa Menggunakan Penanganan Limestone Dengan Software Plaxis." *Modulus: Media Komunikasi Dunia Ilmu Sipil* 4(1): 40.
- Adinegoro, Chandra, Moch. Sholeh, And Dandung Novianto. 2021. "Metode Pelaksanaan Perbaikan Tanah Menggunakan Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Pada Terminal Internasional Kijing Pontianak Kalimantan Barat." *Jurnal Jos-Mrk* 2(2): 158–62.
- Ameratunga, Jay. *Correlations Of Soil And Rock Properties In Geotechnical Engineering*.
- Arthaning Tyas, Mega Dwi, Isnaniati Isnaniati, And Dio Alif Utama. 2022. "Pengaruh Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan Deep Mixing Terhadap Besarnya Penurunan." *Konstruksia* 14(1): 140.
- Braja, M. Das. 2008. *Advance Soil Mechanics*.

- Das, B. M. 1995. "Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik." *Penerbit Erlangga*: 1–300.
- Das, Braja M. 1993. "Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis." *Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis*: 239.
- Dewi, Kharisma, Eka Priadi, And Ahmad Faisal. 2020. "Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Akibat Pekerjaan Pvd-Phd Di Area Runway Bandara Supadio." *Jelast : Jurnal Pwk, Laut, Sipil, Tambang* 7(3): 1–10.
- Element, Triangle. 2022. "Analisis Konsolidasi Dengan Metode Preloading Dikombinasikan Dengan Pvd Berdasarkan Perhitungan Analitis Dan Plaxis 2d Baby Purba , Roesyanto , Gina Cyntia Raphita , Rudianto Surbakti Universitas Sumatera Utara , Indonesia Baby Purba , Roesyanto , Gina Cy." 3(12).
- Hamdhan, Indra Noer, And Neta Lathifa Rahmanisa. 2023. "Pemodelan Perbaikan Tanah Lempung Lunak Menggunakan Vacuum Preloading." *Jmts: Jurnal Mitra Teknik Sipil* 6(3): 775–86.
- Hari Wibowo, Catur Et Al. 2019. "Analisis Perbaikan Tanah Lunak Dengan Metode Vacuum Consolidation Pada Program Plaxis Dan Metode Asaoka (Studi Kasus: Jalan Tol Balikpapan-Samarinda Sta 20+775)." : 255–63.
- Hayati, Titi Titi, Roesyanto Roesyanto, And Rudi Iskandar. 2021. "Analysis Of The Smear Zone Effect Due To Pvd Installation On The Embankment Consolidation Process With 2d And 3d Plaxis." *Media Komunikasi Teknik Sipil* 26(2): 140–49.
- Hidayati, Anissa, And Made Wirya Ardana. 2008. "Kombinasi Preloading Dan Penggunaan Prefabricated Vertical Drains Untuk Mempercepat Konsolidasi Tanah Lempung Lunak (Studi Kasus Tanah Lempung Suwung Kangin)." *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil* 12(2): 187–95.
- Panguriseng, Darwis, And Universitas Muhammadiyah Makassar. 2018. *Dasar-Dasar*.
- Putri, Christy Anandha. "Analisa Perilaku Penurunan Tanah 1d Pada Material Campuran Yang Dipadatkan (The Analysis Of 1d Settlement From Compacted Soil Mixtures)."
- Putri, Reynata, Erdina Tyagita, And Julita Hayati. 2022. "Analisis Perbaikan Tanah Lunak Metode Preloading Dan Preloading Kombinasi Prefabricated Vertical Drain (Pvd) Dengan Variasi Panjang Pvd (Studi Kasus : Pembangunan Jalan Tol." 2(February): 19–25.
- El Sharief, Ahmed M., Yahia E-A. Mohamedzein, And Yassir A. Hussien. 2021. *Geotechnics For Developing Africa Geotechnical Properties Of Qoz Soils*.
- Suardi, Enita, Liliwarti Liliwarti, Merley Misriani, And Ibnu Iqbal. 2021. "Perbaikan Tanah Lempung Lunak Dengan Metode Preloading Pada Jalan Tol Palembang-Indralaya Sta 1+670." *Fondasi : Jurnal Teknik Sipil* 10(2): 191.
- Susiazti, Heny, Masayu Widiastuti, Rusfina Widyati, And Rusfina Widayati. 2020. "Analisis Penurunan Konsolidasi Metode Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain (Pvd)." *Jurnal Teknologi Sipil Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Sipil* 4: 1–8.
- Viona, Diannery Vivi, Pratikso, And Soedarsono. 2022. "Analisis Konsolidasi Tanah Lunak Menggunakan Perkuatan Geotextile Akibat Preloading Dikombinasikan Dengan Pvd – Phd (Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Tol Semarang – Demak Paket Ii Sta 21+850)." *Prosiding Seminar Nasional* 7(Kimu 7): 273–79. [Http://Jurnal.Unissula.Ac.Id/Index.Php/Kimueng/Article/View/20577](http://Jurnal.Unissula.Ac.Id/Index.Php/Kimueng/Article/View/20577).
- Wulandari, Tika Ermita. 2021. "Prediksi Penurunan Konsolidasi Menggunakan Preloading Dan Prefabricated Vertical Drain Dengan Software Metode Elemen Hingga." *Journal Of Civil Engineering Building And Transportation* 5(2): 99–108.