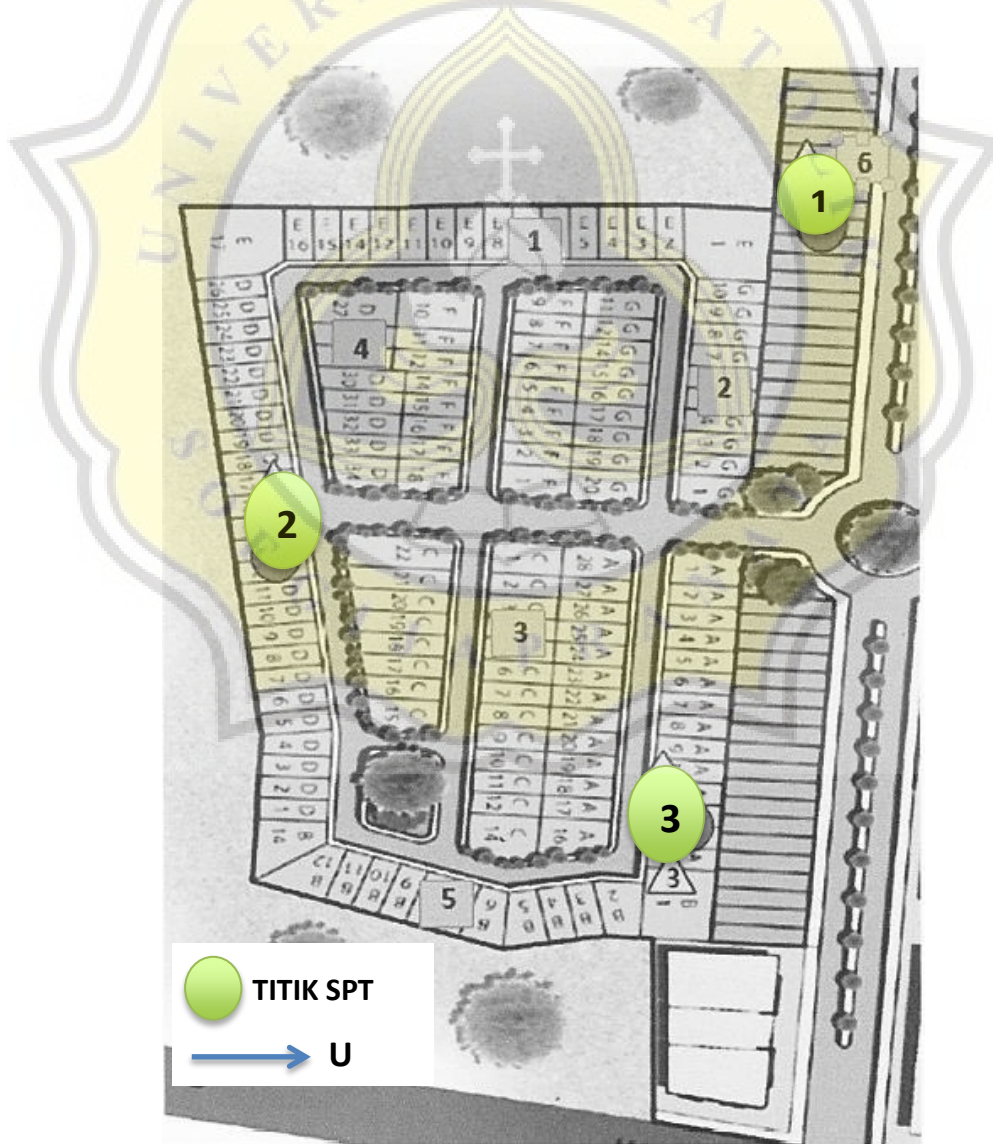




BAB 4 ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Umum Proyek

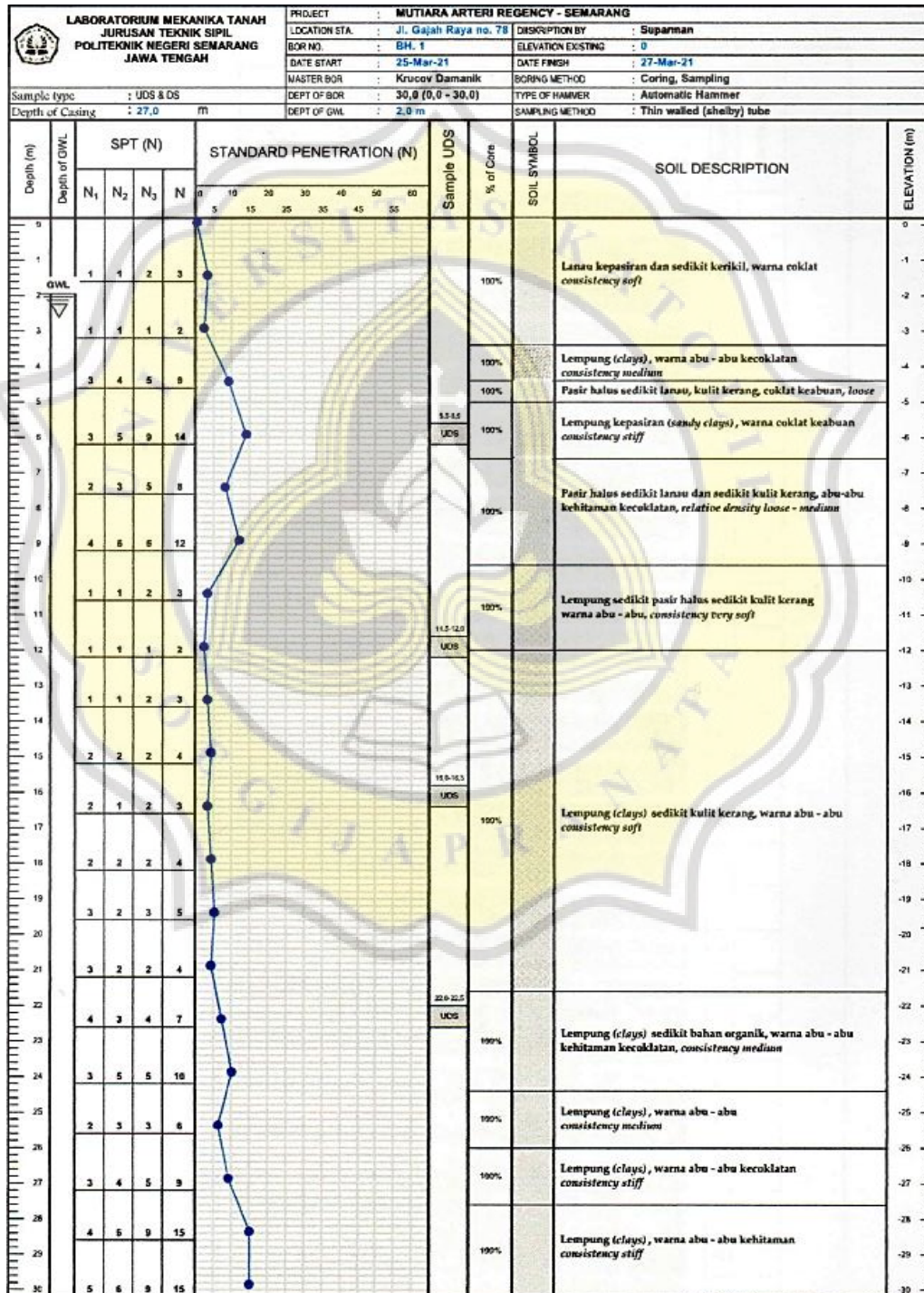
Data yang diperlukan untuk melakukan pemodelan di dalam program software PLAXIS pada proyek perumahan Mutiara Arteri di Jalan Gajah Raya, Kota Semarang, Kecamatan Gayamsari, Kelurahan Gayamsari data yang diperlukan yaitu hasil uji laboratorium dan data lapangan berupa *Standart Penetration Test* (SPT). Untuk data laboratorium yang digunakan meliputi *indeks properties*, uji kuat geser dan uji konsolidasi. Dari *site plan* project terdapat 3 titik uji SPT BH1, BH2 dan BH3. Lokasi titik SPT dapat dilihat pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 *Site Plan Cluster C* (Sumber: Proyek Perumahan Mutiara Arteri Semarang, 2021)



Data yang digunakan pada tugas akhir ini keseluruhan merupakan data sekunder. Data sekunder dalam penelitian ini meliputi pengujian SPT dan pengujian laboratorium. Data pengujian SPT yang digunakan yaitu titik BH1. Uji SPT digunakan untuk mengkonfirmasi jenis tanah dan klasifikasi tanah. Data hasil SPT dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Data Hasil Uji SPT BH1 (Sumber: Proyek Perumahan Mutiara Arteri Semarang, 2021)



Berdasarkan hasil uji SPT tanah dapat diklasifikasikan, klasifikasi tanah hasil uji SPT titik BH1 kedalaman 0 – 2 m merupakan tanah lempung yang merupakan tanah timbunan dengan konsistensi *soft*, kedalaman 2 – 4 m merupakan tanah lempung dengan konsistensi medium, kedalaman 4 – 9,5 m merupakan tanah lempung sedikit kepasiran dengan konsistensi *soft*, kedalaman 9,5 – 24,4 m merupakan tanah lempung abu-abu dengan konsistensi *soft to medium* dan kedalaman 24,5 – 30 m merupakan tanah lempung abu-abu dengan konsistensi *stiff*. Rekapitulasi klasifikasi tanah titik BH1 dapat dilihat pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Klasifikasi Tanah SPT Titik BH1

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>

Parameter tanah perlu dilakukan pendekatan empiris sesuai kebutuhan data untuk pemodelan di dalam program PLAXIS. Dalam tugas akhir ini digunakan 2 model material yaitu *model mohr coloumn* digunakan untuk tanah timbunan, tanah *preloading* dan tanah timbunan pasir *platform*. *Model soft soil* digunakan untuk tanah lunak. Parameter-parameter dengan pendekatan empiris sebagai contoh pada layer tanah kedalaman 2-4 m dengan konsistensi medium dijabarkan sebagai berikut:

1. Modulus elastisitas

Parameter modulus elastisitas yang digunakan di dalam pemodelan PLAXIS menggunakan tabel korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas pada tanah lempung menurut Randolph (1978). Tabel korelasi N-SPT dengan modulus elastisitas menurut Randolph (1978) dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Korelasi N-SPT Dengan Modulus Elastisitas

Konsistensi Tanah	Penetrasi Range (N)	Modulus Young (E) (psi)
Very soft	2	170 – 340
Soft	2 - 4	260 – 520
Medium	4 - 8	520 – 1040
Stiff	8 - 15	1040 – 2080
Very stiff	15 - 30	2080 – 4160
Hard	30	2890 – 5780

(Sumber: Randolph, 1978)



Diketahui N-SPT tanah kedalaman 2 – 4 m = 8, maka modulus elastisitas adalah 1040 psi. karena satuan berbeda maka 1040 psi diubah satuan menjadi kN/m^2 maka nilai modulus elastisitas adalah 7171 kN/m^2 .

2. Indeks pemampatan (C_c) dan indeks pengembangan (C_s)

Indeks pemampatan (C_c) dan indeks pengembangan (C_s) yang diambil sebagai contoh perhitungan pada kedalaman 2 – 4 m. Parameter indeks pemampatan menggunakan rumus dari Das (1995) sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_c &= 0,30(e_0 - 0,27) \\ &= 0,30(1,64 - 0,27) \\ &= 0,411 \end{aligned}$$

Menurut Das dkk (1995) indek pengembangan lebih kecil daripada indeks pemampatan pada umumnya indeks pengembangan 1/5 sampai 1/10 dari indeks pemampatan. Dalam menghitung indeks pengembangan penulis mengambil 1/10 dari indeks pemampatan. Nilai indeks pengembangan dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} C_s &= (1/10) \times C_c \\ &= (1/10) \times 0,411 \\ &= 0,0411 \end{aligned}$$

3. Permeabilitas Tanah

Koefisien permeabilitas tanah dipilih berdasarkan penelitian Wesley pada tahun 1997 dapat dilihat pada Tabel 2.10.

Tabel 4.3 Nilai Permeabilitas Tanah

Ukuran Partikel	Koefisien Permeabilitas, k (m/s)
Pasir berlempung, pasir berlanau	$5 \times 10^{-5} - 1 \times 10^{-5}$
Pasir halus	$1 \times 10^{-5} - 5 \times 10^{-5}$
Pasir kelanauan	$1 \times 10^{-6} - 2 \times 10^{-5}$
Lanau	$1 \times 10^{-7} - 5 \times 10^{-6}$
Lempung	$1 \times 10^{-11} - 1 \times 10^{-8}$

Koefisien permeabilitas yang diambil sebagai contoh perhitungan pada kedalaman 2 – 4 m dengan konsistensi tanah lempung maka koefisien permeabilitas sebesar 0,0001 m/hari.

4. Berat volume tanah jenuh air (γ_{sat})

Berat volume tanah jenuh diambil berdasarkan berat tanah dalam kondisi



jenuh air. Pada kedalaman tanah 9,5 – 24,5 m memiliki nilai N-SPT sebesar 5. Korelasi antara nilai N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hubungan Nilai N-SPT dengan Berat Jenis Tanah Jenuh

N-SPT	Konsentrasi	γ_{sat} (kN/m ³)
<2	<i>Very soft</i>	16 – 19
2 – 4	<i>Soft</i>	16 – 19
4 – 8	<i>Medium</i>	17 – 20
8 – 15	<i>Stiff</i>	19 – 22
15 – 30	<i>Very stiff</i>	19 – 22
>30	<i>Hard</i>	19 – 22

(Sumber: Terzaghi dan Peck, 1948)

Pada kedalaman tanah 9,5 – 24,5 m memiliki nilai N-SPT sebesar 5, berdasarkan tabel 4.4 korelasi N-SPT dengan berat jenis tanah jenuh maka didapatkan nilai berat jenis tanah jenuh (γ_{sat}) sebesar 17,5 kN/m³.

5. Berat volume tanah tak jenuh air (γ_{unsat})

Berat volume tanah tak jenuh air diambil diantara dari berat jenuh tanah jenuh air. Berat volume tanah tak jenuh air diambil dengan selisih antara 1 kN/m³ sampai 3 kN/m³. Maka berat volume tanah tak jenuh air (γ_{unsat}) dijabarkan sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \gamma_{unsat} &= \gamma_{sat} - 1 \text{ kN/m}^3 \\ &= 17,5 \text{ kN/m}^3 - 1 \text{ kN/m}^3 \\ &= 16,5 \text{ kN/m}^3 \end{aligned}$$

Rekapitulasi parameter tanah titik BH1 untuk pemodelan di dalam PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah Titik BH1

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	E (kN/m ²)	Indeks Kompresi (C _c)
Elv (+ 0 m-2m)	10	Timbunan <i>preload</i>	<i>Stiff</i>	10000	-
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>	2689	0.531
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>	7171	0.411
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>	1792	0.531
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>	4482	0.426
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>	12287	0.201
Pasir Timbunan	10	Pasir Timbunan Platform	<i>Medium</i>	7584	-



Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah Titik BH1(Lanjutan)

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	Indeks Pengembangan(C_s)	Kohesi (C)
Elv (+ 0 m-2m)	10	Timbunan preload	<i>Stiff</i>	-	35
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>	0.0531	10
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>	0.0411	15
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>	0.0531	10
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>	0.0426	15
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>	0.0201	35
Pasir Timbunan	10	Pasir Timbunan Platform	<i>Medium</i>	-	8

Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah Titik BH1(Lanjutan)

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	Sudut Geser	K (m/hari)
Elv (+ 0 m-2m)	10	Timbunan Preload	<i>Stiff</i>	25°	0.864
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>	10°	0.0001
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>	14°	0.0001
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>	10°	0.0001
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>	14°	0.0001
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>	25°	0.001
Pasir Timbunan	10	Pasir Timbunan Platform	<i>Medium</i>	32°	4.752

Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah Titik BH1(Lanjutan)

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	γ_{unsat} (kN/m ³)	γ_{sat} (kN/m ³)
Elv (+ 0 m-2m)	10	Timbunan Preload	<i>Stiff</i>	18	19
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>	16	17
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>	17	18
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>	16	17
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>	16.5	17.5
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>	18	19
Pasir Timbunan	10	Pasir Timbunan Platform	<i>Medium</i>	13.7	14.7

Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah titik BH1(Lanjutan)

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	Poisson Ratio	Void Ratio
Elv (+ 0 m-2m)	10	Timbunan Preload	<i>Stiff</i>	0.2	-
0 m-2m	3	Lempung	<i>Soft</i>	0.3	1.69
2m-4m	8	Lempung	<i>Medium</i>	0.25	1.64



Tabel 4.5 Rekapitulasi Parameter Tanah Titik BH1(Lanjutan)

Kedalaman	Nspt	Jenis Tanah	Konsistensi	Poisson Ratio	Void Ratio
4m-9.5m	2	Lempung	<i>Soft</i>	0.3	1.69
9.5m - 24.5 m	5	Lempung abu-abu	<i>Soft to Medium</i>	0.25	1.69
24.5m-30m	13	Lempung abu-abu	<i>Stiff</i>	0.2	0.94
Pasir Timbunan	10	Pasir Timbunan Platform	<i>Medium</i>	0.3	-

4.2 Pemodelan Tanpa PVD

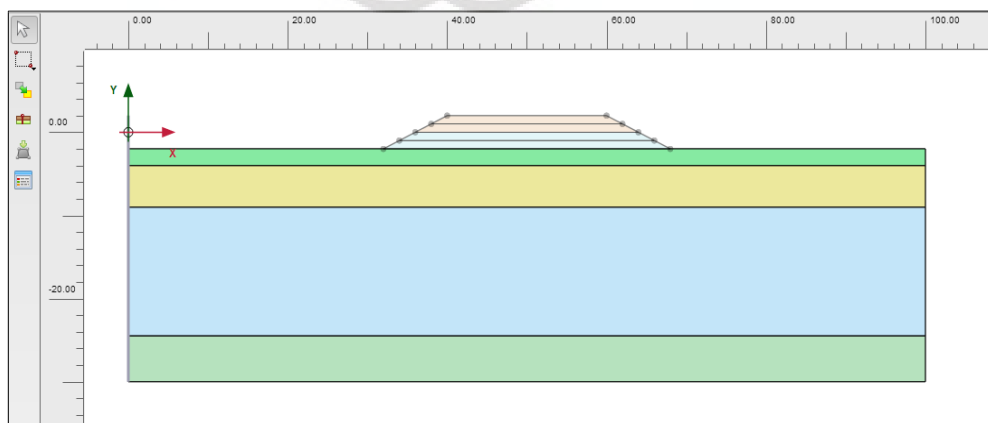
Penulis dalam melakukan pemodelan perbaikan tanah menggunakan PLAXIS V20. Pemodelan perbaikan tanah lunak tanpa PVD menggunakan software PLAXIS dilakukan beberapa tahap yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuat struktur geometri tanah

Lapisan tanah dalam pemodelan menggunakan PLAXIS ditentukan dari pengujian tanah bor log. Untuk mempermudah menggambarkan struktur tanah dari pengujian yaitu menggunakan *borehole*. *Input* kedalaman *borehole* dapat dilihat pada Gambar 4.3 dan hasil lapisan tanah dapat dilihat pada Gambar 4.4.

Layers		Borehole_1	
#	Material	Top	Bottom
1	Layer 2 Medium	-2.000	-4.000
2	Layer 3 Soft	-4.000	-9.000
3	Layer 4 Soft to Medium	-9.000	-24.50
4	Layer 5 stiff	-24.50	-30.00

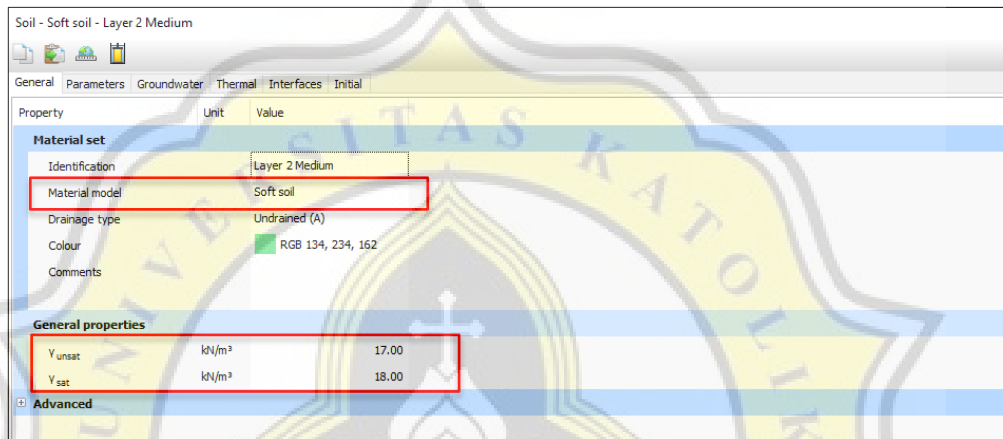
Gambar 4.3. Membuat *Borehole* Lapisan Kedalaman Tanah



Gambar 4.4. Hasil Lapisan Tanah Menggunakan *Borehole*

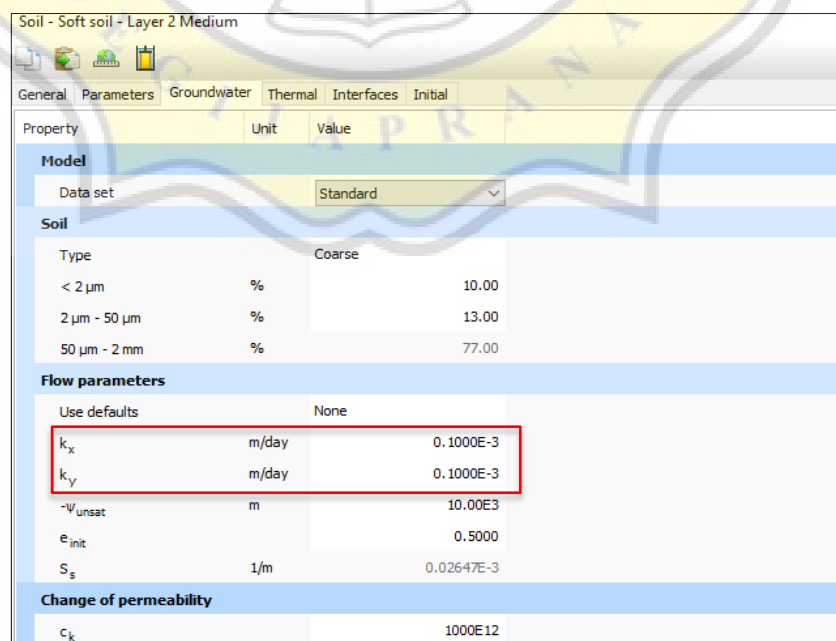
2. Membuat material model *Soft-Soil*

Material parameter jenis tanah ditentukan dari pengujian tanah dan korelasi data borlog. Pada pemodelan struktur tanah dari borlog material model yang digunakan yaitu *soft soil* sehingga dibutuhkan data untuk dimasukkan di dalam PLAXIS yaitu nilai γ_{sat} , γ_{unsat} pada *general properties*. Contoh *input* parameter γ_{sat} , γ_{unsat} dan material model pada layer 2 medium dapat dilihat pada Gambar 4.5.



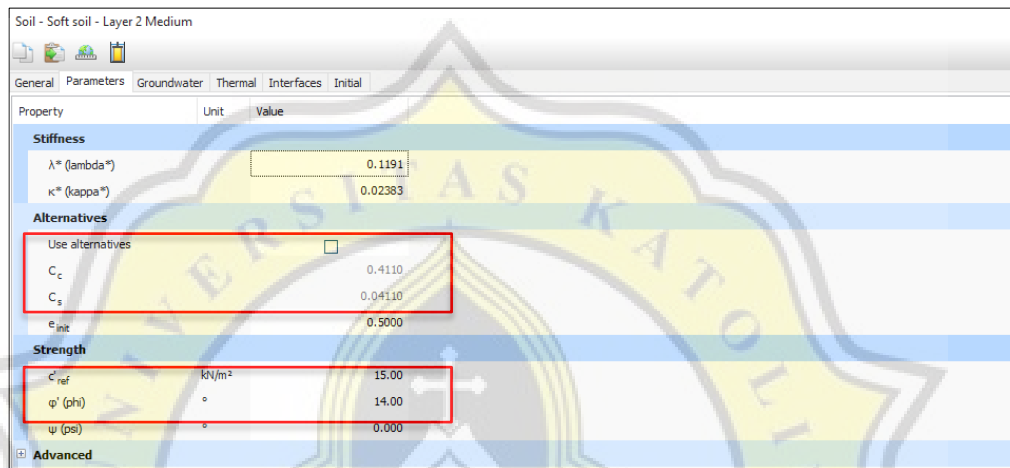
Gambar 4.5 *Input* Parameter γ_{sat} , γ_{unsat} dan Material Model *Soft Soil*

Input data selanjutnya yaitu memasukan nilai permeabilitas k_x dan k_y . Contoh *input* parameter nilai permeabilitas k_x dan k_y pada layer 2 *medium* dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6 *Input* Nilai Permeabilitas k_x dan k_y

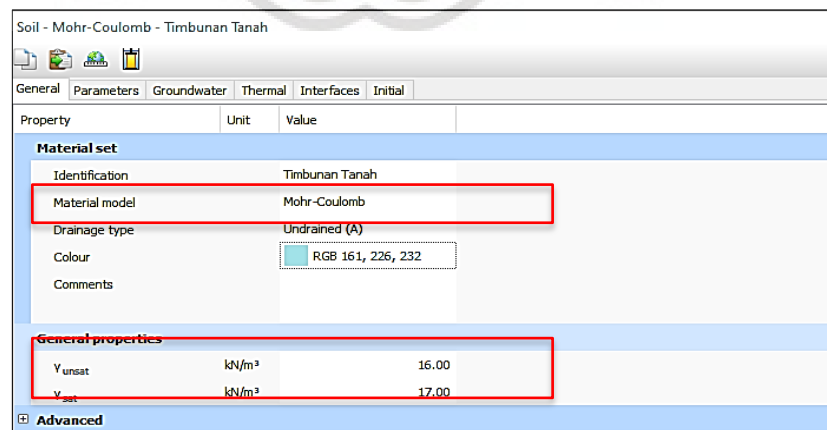
Parameter terakhir yang dimasukkan dalam PLAXIS yaitu nilai indeks kompresibilitas (C_c), indeks pengembangan atau *swelling indeks* (C_s), sudut geser (Φ) dan kohesi (c). *Input* parameter indeks kompresibilitas (C_c), indeks pengembangan atau *swelling indeks* (C_s), sudut geser (Φ) dan kohesi (c). Contoh *input* parameter sesuai yang dijelaskan sebelumnya pada *layer 2 medium* dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 *Input* Parameter Indeks Kompresibilitas (C_c), Indeks Pengembangan Atau *Swelling Indeks* (C_s), Sudut Geser (Φ) dan Kohesi (c)

3. Membuat material model *Mohr-Coloumb*

Material pemodelan *preloading* dibutuhkan parameter tambahan yaitu tanah *preloading* dan material untuk timbunan. *Input* model *Mohr-Coloumb* berbeda dari model *Soft-Soil*. Pada model *Mohr-Coloumb* tidak memasukan nilai C_c dan C_s . Data yang di *input* dalam model ini yaitu γ_{sat} , γ_{unsat} pada *general properties*. Contoh *input* data parameter γ_{sat} , γ_{unsat} pada *general properties* pada *layer 2 medium* dapat dilihat pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8 *Input* Parameter γ_{sat} , γ_{unsat} dan Material Model *Mohr Coloumb*



Parameter selanjutnya yang dimasukkan dalam PLAXIS yaitu nilai modulus elastisitas (E), sudut geser (Φ) dan kohesi (c). *Input* parameter modulus elastisitas (E), sudut geser (Φ) dan kohesi (c) dapat dilihat pada Gambar 4.9.

Property	Unit	Value
Stiffness		
E'	kN/m ²	2689
ν (nu)		0.000
Alternatives		
G	kN/m ²	1345
E_{oed}	kN/m ²	2689
Strength		
c'_{ref}	kN/m ²	15.00
ϕ' (phi)	°	10.00
ψ (psi)	°	0.000
Velocities		
V_s	m/s	28.71
V_p	m/s	40.60

Gambar 4.9 *Input* Parameter Modulus Elastisitas (E), Sudut Geser (Φ) dan Kohesi (c)

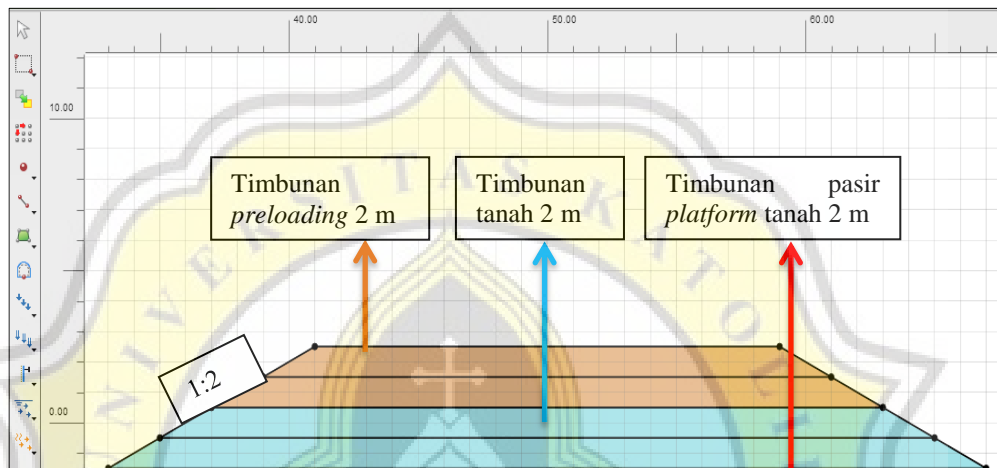
Input data terakhir yaitu memasukan nilai permeabilitas k_x dan k_y . *Input* nilai permeabilitas k_x dan k_y dapat dilihat pada Gambar 4.10.

Property	Unit	Value
Model		
Data set		Standard
Soil		
Type		Coarse
< 2 μ m	%	10.00
2 μ m - 50 μ m	%	13.00
50 μ m - 2 mm	%	77.00
Flow parameters		
Use defaults		None
k_x	m/day	0.1000E-3
k_y	m/day	0.1000E-3
$-w_{unsat}$	m	10.00E3
e_{init}		0.5000
S_s	1/m	0.07513E-3
Change of permeability		
c_k		1000E12

Gambar 4.10 *Input* Nilai Permeabilitas k_x dan k_y

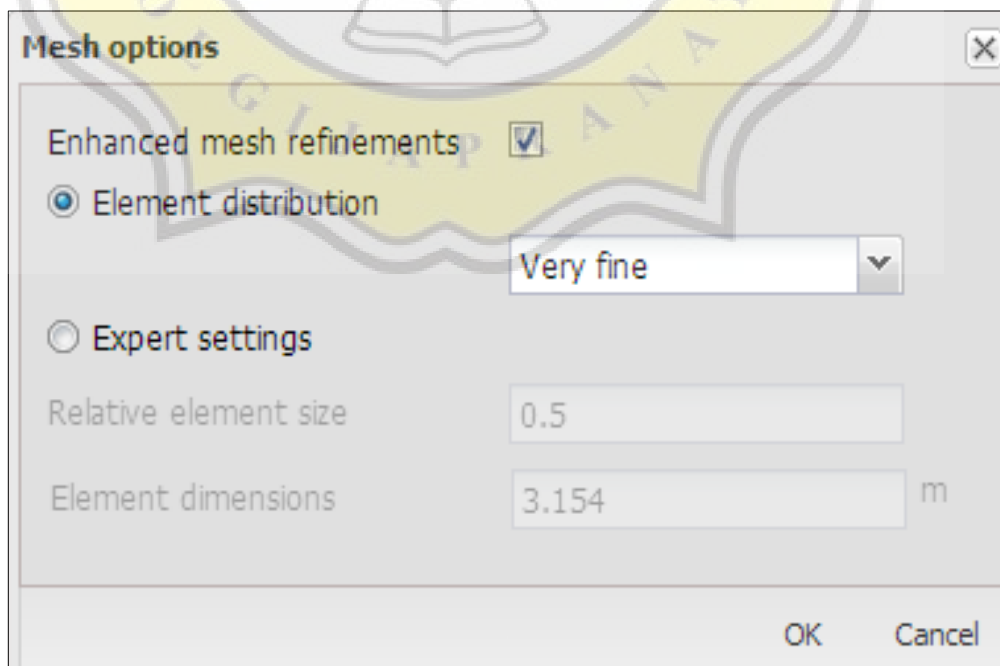
4. Membuat struktur lapisan timbunan tanah dan timbunan *preloading*

Data *input* material tanah yang sudah dimasukkan dalam PLAXIS, tahapan selanjutnya yaitu membuat gambar struktur lapisan timbunan tanah dan timbunan *preloading*. Struktur tinggi timbunan 2 m dan tinggi *preloading* 2 m dapat dilihat pada Gambar 4.11. Kemiringan *slope* yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu 1:2.

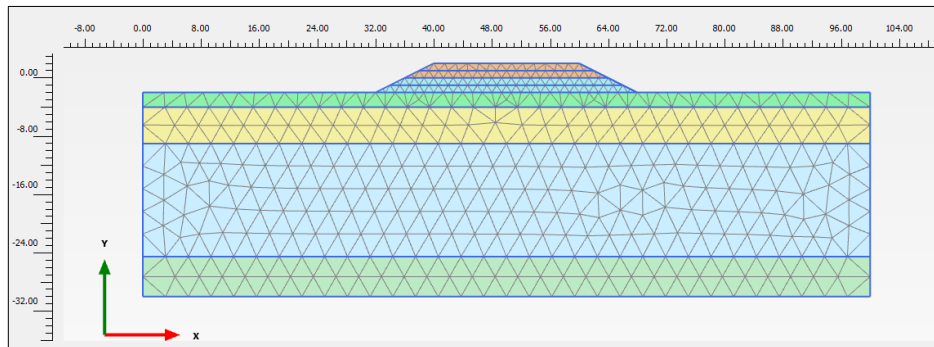


Gambar 4.11 Struktur Timbunan Tanah 2 m dan Timbunan *Preloading* 2 m

5. Tahapan selanjutnya yaitu membuat *mesh* di dalam pemodelan PLAXIS. *Element distribution* dibuat *very fine*. *Mesh option* dapat dilihat pada Gambar 4.12 dan hasil *mesh* dapat dilihat pada Gambar 4.13.



Gambar 4.12 *Mesh Option*



Gambar 4.13 Hasil Mesh

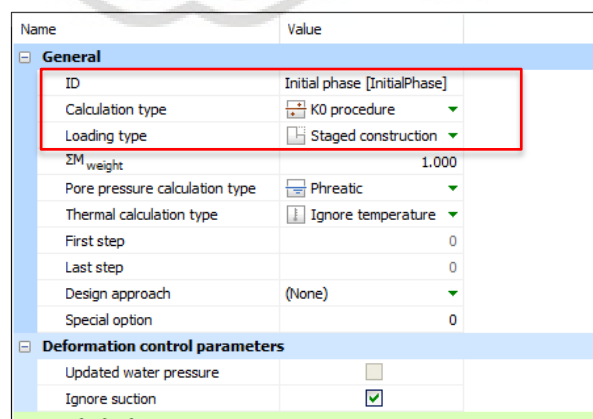
6. Berikutnya tahapan pelaksanaan (*Staged construction*)

Tahapan pelaksanaan analisis pemodelan di dalam PLAXIS harus dilakukan sesuai tahapan pekerjaan. Tahapan pelaksanaan konstruksi perbaikan tanah dalam pemodelan PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi Pemodelan PLAXIS

Staging Pelaksanaan <i>Preloading</i> Tanpa PVD			
No	Tahapan	Hari	Total Hari
1.	<i>Initial Condition</i>	0	0
2.	Timbunan Tanah 1 m	7	7
3.	Timbunan Tanah 2 m	7	14
4.	Timbunan Tanah 3 m	7	21
5.	Timbunan Tanah 4 m	7	28
6.	Konsolidasi 30 Hari	30	58
7.	Konsolidasi 1 Tahun	365	423
8.	Konsolidasi 3 Tahun	730	1153
9.	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3708

a. *Initial condition* adalah kondisi dimana tanah asli belum dilakukan konstruksi. *Initial condition* dapat dilihat pada Gambar 4.14.



Gambar 4.14 *Initial Condition*



- b. Timbunan tanah setinggi 2 m. Timbunan tanah dibagi menjadi dua bagian, yaitu timbunan 1 m kemudian timbunan 1 m kembali. *Calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.6. *Stage* timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.15.

Name	Value
General	
ID	Timbunan 1 [Phase_1]
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	1
Last step	3
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset small strain	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.15 *Stage* Timbunan 1

- c. Konsolidasi timbunan pertama setinggi 1 m, *calculation type* diubah menjadi *consolidation* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.6.



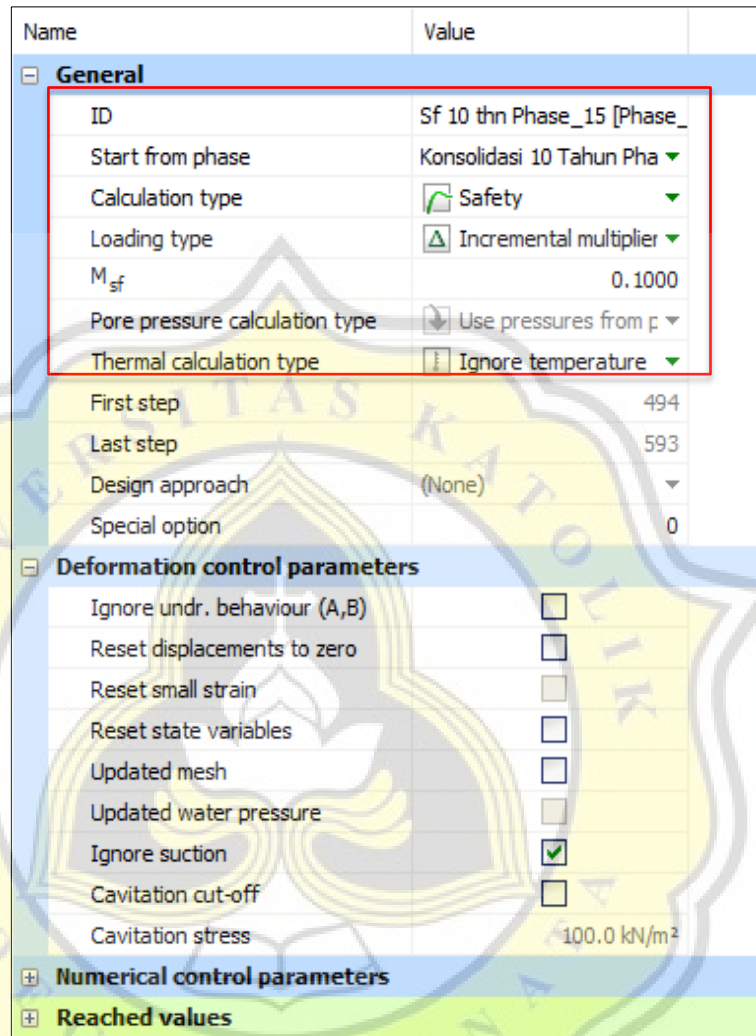
Tahapan konsolidasi timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.16.

Name	Value
General	
ID	Konsolidasi 1 [Phase_2]
Start from phase	Timbunan 1
Calculation type	Consolidation
Loading type	Staged construction
ΣM weight	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	4
Last step	5
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Force fully drained behaviour, new	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.16 *Stage* Konsolidasi Timbunan 1

- d. Tahapan *stage construction* berikutnya yaitu timbunan 1 m kembali sesuai point b, kemudian konsolidasi kembali dari timbunan 1 meter sesuai point c, kemudian untuk konsolidasi dibuat 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun. Pelaksanaan tahapan diakhiri dengan menganalisis *safety factor* dari konsolidasi akhir konstruksi, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun, konsolidasi 10 tahun. Pada *stage safety factor calculation type* diubah menjadi *safety* dan mengisi interval waktu

sesuai Tabel 4.6. Contoh *stage* pada *safety factor* 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.17.



Name	Value
General	
ID	Sf 10 thn Phase_15 [Phase_
Start from phase	Konsolidasi 10 Tahun Pha
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multiplier
M_{sf}	0.1000
Pore pressure calculation type	Use pressures from p
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	494
Last step	593
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.17 *Stage Safety Factor* 10 Tahun

Hasil dari pemodelan dari perbaikan tanah lunak tanpa PVD yaitu berupa total penurunan tanah, *exces pore water pressure* dan *safety factor*. Hasil dari pemodelan dijabarkan sebagai berikut:

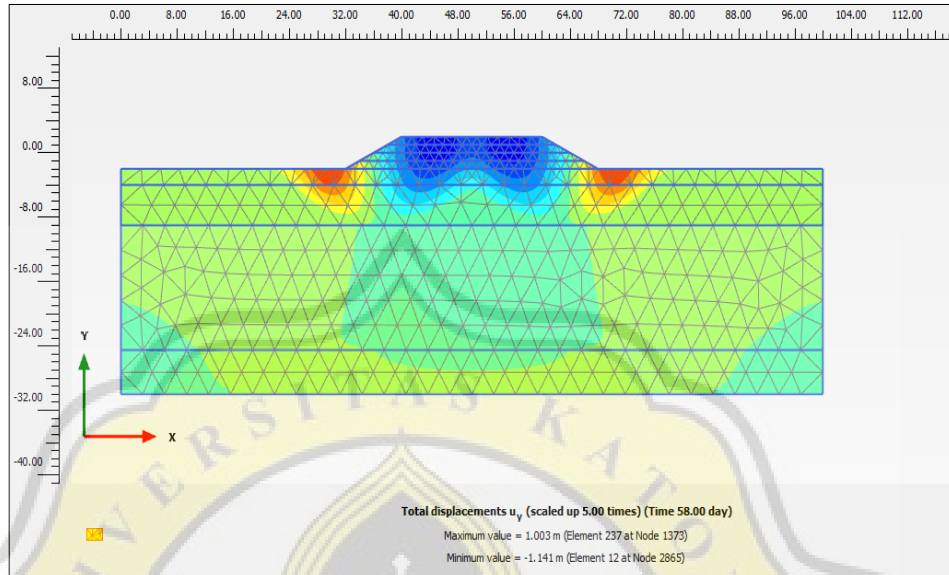
1. Total *displacement*

Total penurunan dibagi menjadi 4 yaitu ketika konsolidasi masa akhir konstruksi, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun dan konsolidasi 10 tahun.

Total *displacement* dijabarkan sebagai berikut:

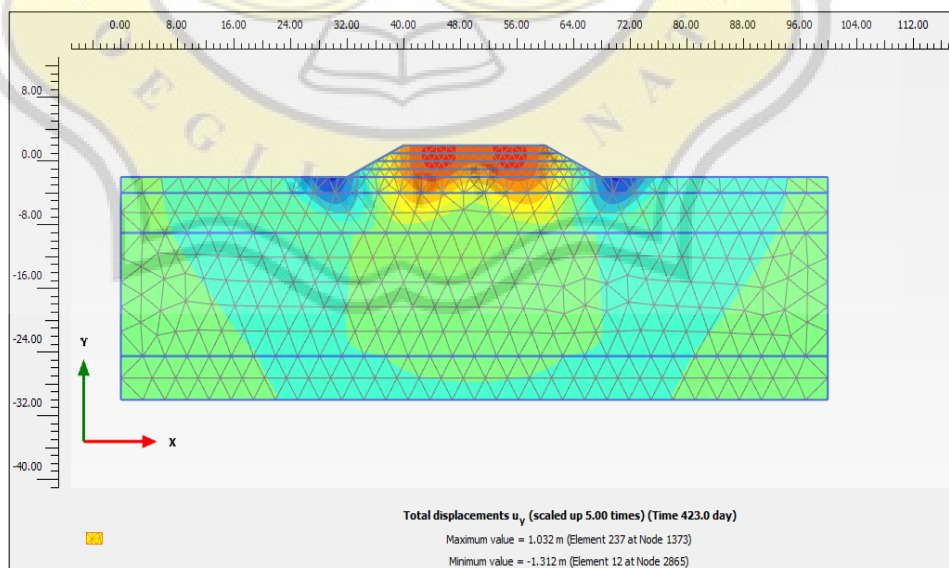
- Penurunan konsolidasi masa akhir konstruksi merupakan penurunan ketika waktu konsolidasi berada di akhir konstruksi dengan waktu 58 hari. Penurunan pada konsolidasi masa akhir konstruksi mencapai 1,141 m.

Total penurunan pada masa akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.18.



Gambar 4.18 Total *Displacement* Konsolidasi Akhir Konstruksi

- b. Total *displacement* pada 1 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 1 tahun dari waktu konsolidasi akhir konstruksi dengan total waktu 423 hari. Penurunan pada 1 tahun konsolidasi mencapai 1,312 m. Total penurunan pada 1 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.19.

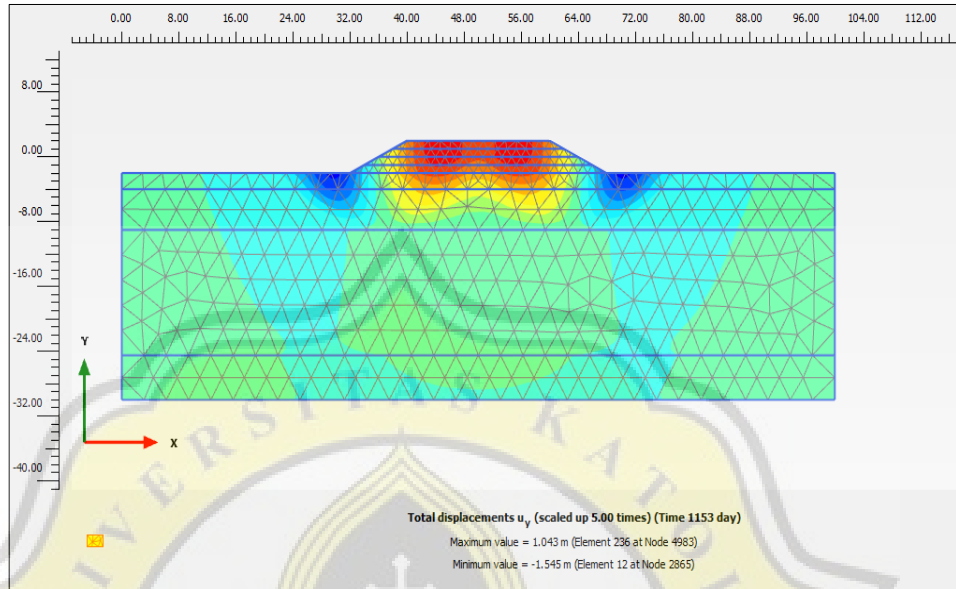


Gambar 4.19 Total *Displacement* Konsolidasi 1 Tahun

- c. Total *displacement* pada 3 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 3 tahun dari waktu konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 1153 hari.

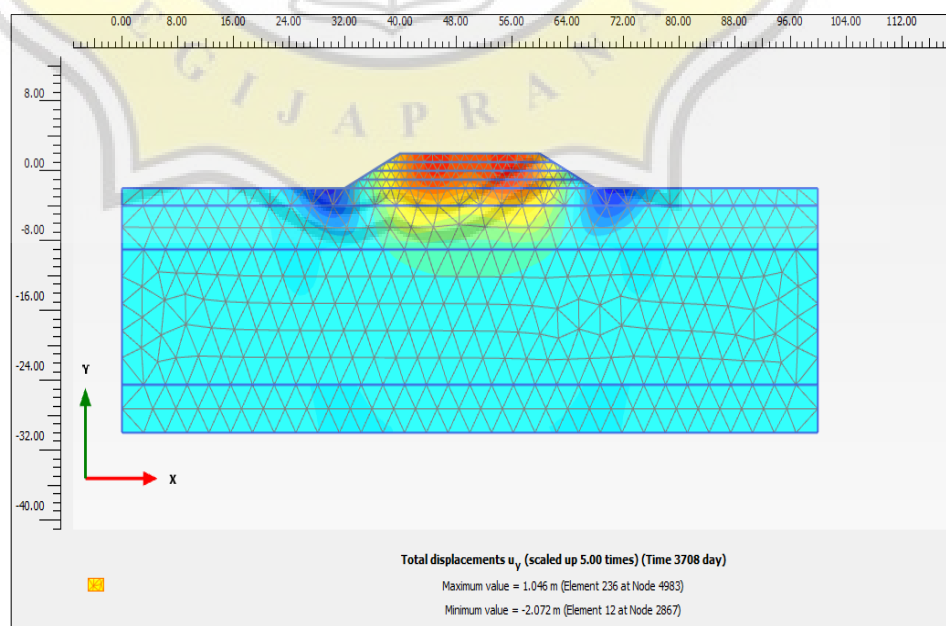


Penurunan pada konsolidasi masa akhir konstruksi mencapai 1,545 m. Total penurunan pada 3 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.20.



Gambar 4.20 Total *Displacement* Konsolidasi 3 Tahun

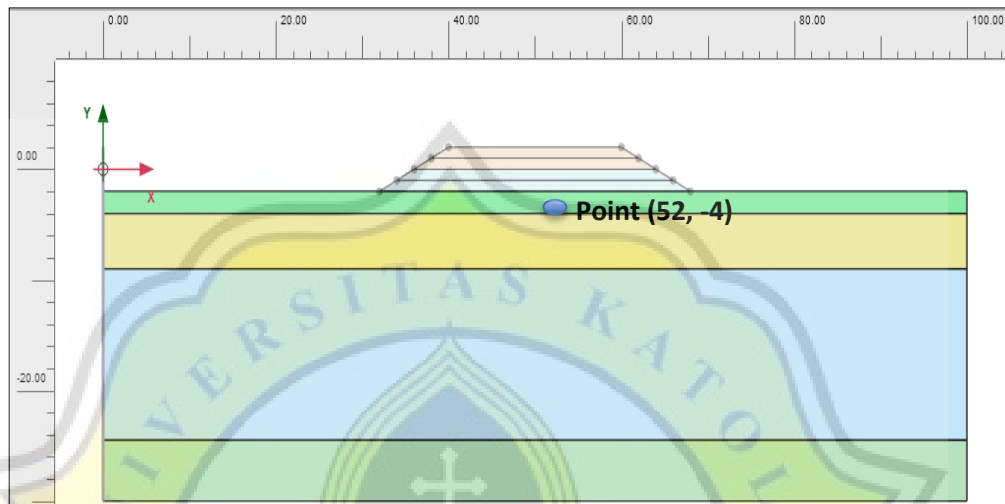
- d. Total *displacement* pada 10 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 10 tahun dari waktu konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 3708 hari. Penurunan pada konsolidasi masa akhir konstruksi mencapai 2,072 m. Total penurunan pada 10 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.21.



Gambar 4.21 Total *Displacement* Konsolidasi 10 Tahun

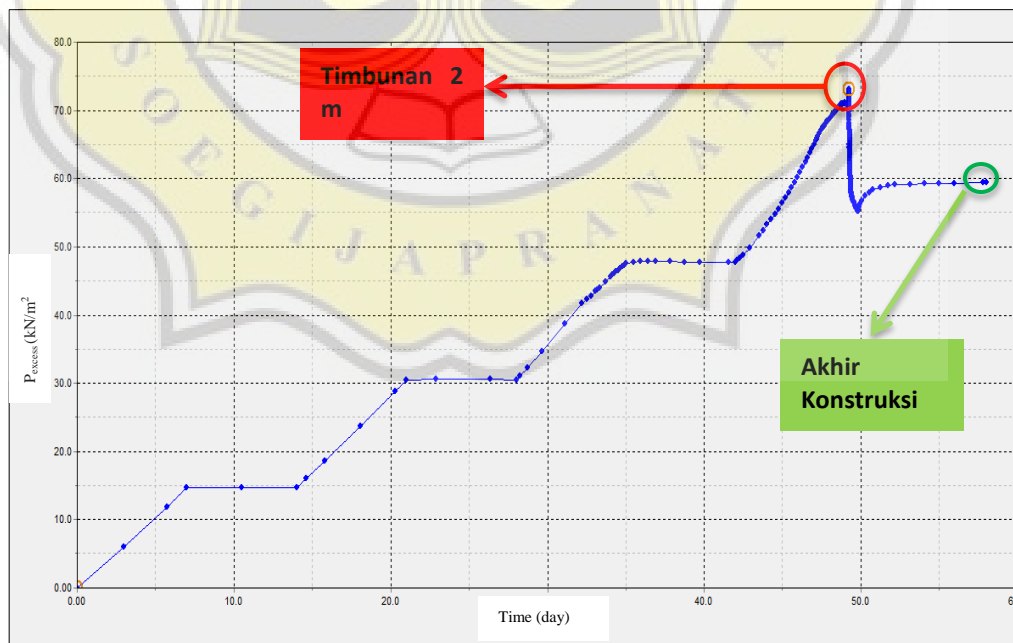
2. Grafik *excess pore pressure vs time* point (52, -4)

Dalam mengecek grafik tekanan air pori dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam *software*. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22.



Gambar 4.22 Lokasi Titik Point (52, -4)

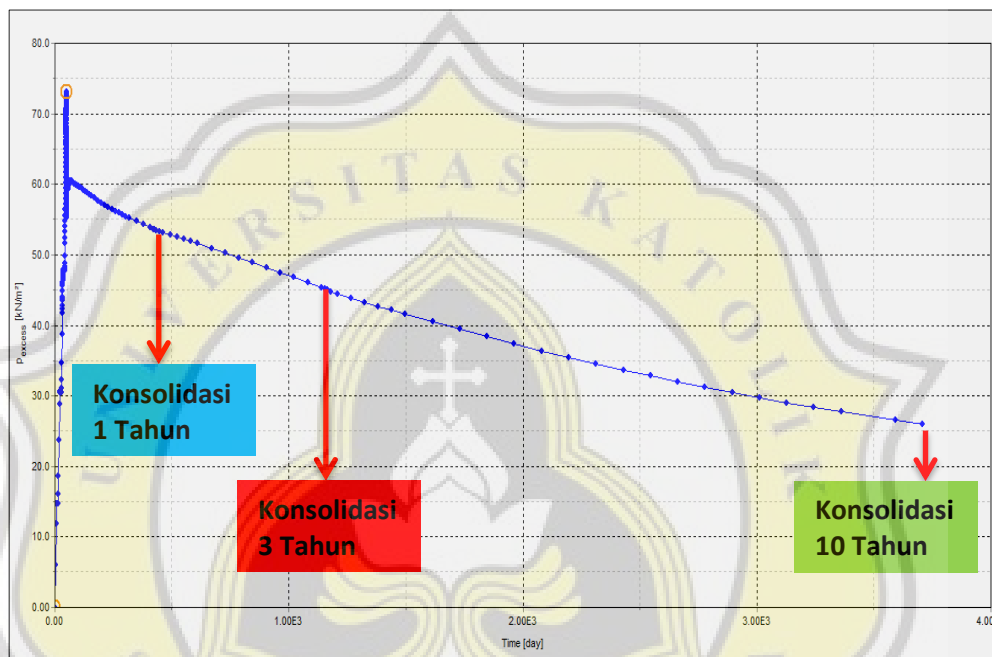
Dari gambar 4.22 diperoleh grafik nilai *excess pore pressure vs time* tahun yang dapat dilihat pada Gambar 4.23.



Gambar 4.23 Grafik *Excess Pore Pressure* Akhir Konstruksi

Grafik di atas merupakan hasil analisis *excess pore pressure* sampai waktu akhir konstruksi dengan total 58 hari. Berdasarkan Grafik 4.21 di atas nilai

excess pore pressure sampai masa konstruksi berlangsung hasil terbesar yaitu pada fase timbunan ke 4 dengan nilai $73,074 \text{ kN/m}^2$, maka untuk konsolidasi $90\% = 73,074 \times 0,1 = 7,3074 \text{ kN/m}^2$. Untuk nilai *excess pore pressure* masa akhir konstruksi sebesar $59,422 \text{ kN/m}^2 > 7,3074 \text{ kN/m}^2$, maka konsolidasi 90% . Tahapan selanjutnya dilakukan pengecekan grafik lagi sampai masa waktu 10 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 4.24.

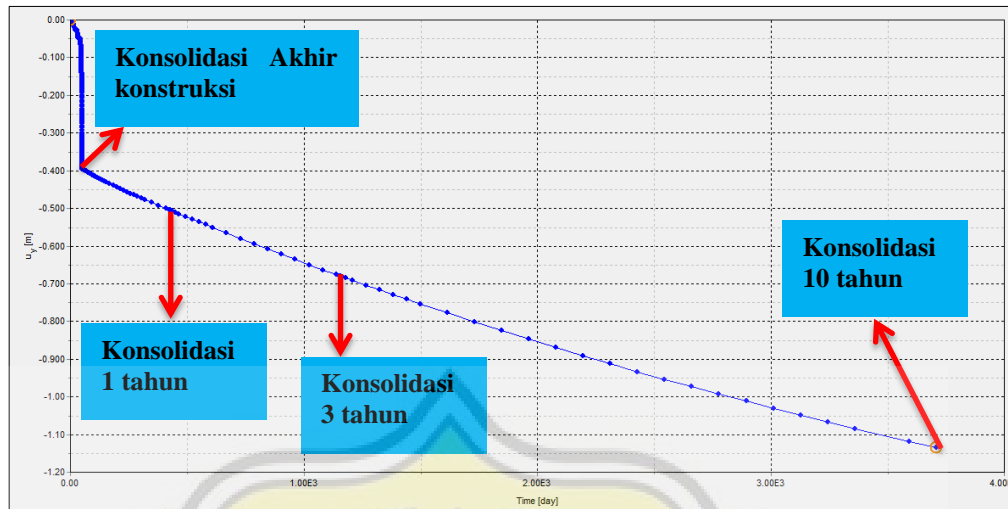


Gambar 4.24 Grafik *Excess Pore Pressure* 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.24 nilai *excess pore pressure* pada konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 423 hari sebesar $53,629 \text{ kN/m}^2$, konsolidasi 3 tahun dengan total hari 1153 hari sebesar $45,225 \text{ kN/m}^2$ dan konsolidasi 10 tahun dengan total waktu 3708 hari sebesar $25,924 \text{ kN/m}^2$. Dengan hasil yang sudah dijabarkan menunjukkan bahwa dalam jangka waktu 10 tahun nilai *excess pore pressure* masih besar dan dapat mengakibatkan tanah masih dapat mengalami selama penurunan masa waktu 10 tahun.

3. Grafik total *displacement vs time point* (52, -4)

Dalam mengecek grafik penurunan dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam *software*. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.22. Grafik penurunan vs waktu dapat dilihat pada Gambar 4.25.



Gambar 4.25 Grafik Penurunan vs *Time* 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.25 penurunan konsolidasi pada masa akhir konstruksi dengan waktu 58 hari sebesar 0,398 m, konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 423 hari penurunan sebesar 0,504 m, konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 1153 hari penurunan sebesar 0,679 m dan konsolidasi 10 tahun dengan total waktu 3708 hari penurunan sebesar 1,135 m.

Penurunan tanah dari masa akhir konstruksi dihitung sebagai berikut:

- Konsolidasi 1 tahun = 0,504 m – 0,398 m = 0,106 m
- Konsolidasi 3 tahun = 0,679 m – 0,398 m = 0,281 m
- Konsolidasi 10 tahun = 1,135 m – 0,398 m = 0,737 m

Hasil penurunan diatas menunjukkan bahwa untuk jangka panjang penurunan tanah masih besar. Penurunan tanah dalam jangka waktu panjang dapat besar dikarenakan nilai *excess pore pressure* yang dijabarkan sebelumnya juga cukup besar dan tidak mendekati 0, yang artinya kondisi tanah dibawah masih ada air yang cukup banyak dan belum mampu dikeluarkan.

4. *Safety Factor*

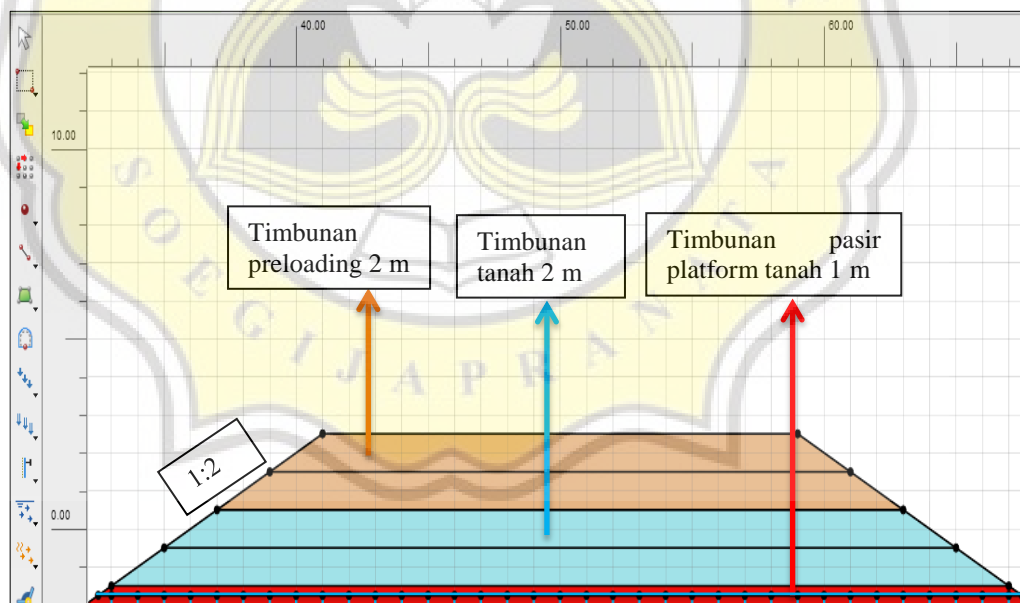
Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik menjelaskan angka keamanan stabilitas tanah untuk konstruksi minimum 1,5. Hasil pemodelan tanpa PVD *safety factor* pada masa akhir konstruksi sebesar 1,203, *safety factor* 1 tahun masa konsolidasi sebesar 1,254, *safety factor* 3 tahun masa konsolidasi sebesar 1,375 dan *safety factor* 10 tahun masa konsolidasi sebesar 1,375.

4.3 Pemodelan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan *Preloading* dan *PVD*

Penulis dalam melakukan pemodelan perbaikan tanah menggunakan PLAXIS V20. Pemodelan perbaikan tanah lunak *preloading* dengan *PVD* menggunakan software PLAXIS. Tahapan hampir sama dengan pemodelan tanpa *PVD*, tahapan yang sama seperti membuat struktur geometri, membuat material *soft soil model*, membuat material model *mohr column* seperti pada sub bab 4.1 point 1 sampai dengan 3. Tahapan pemodelan yang berbeda dijelaskan sebagai berikut:

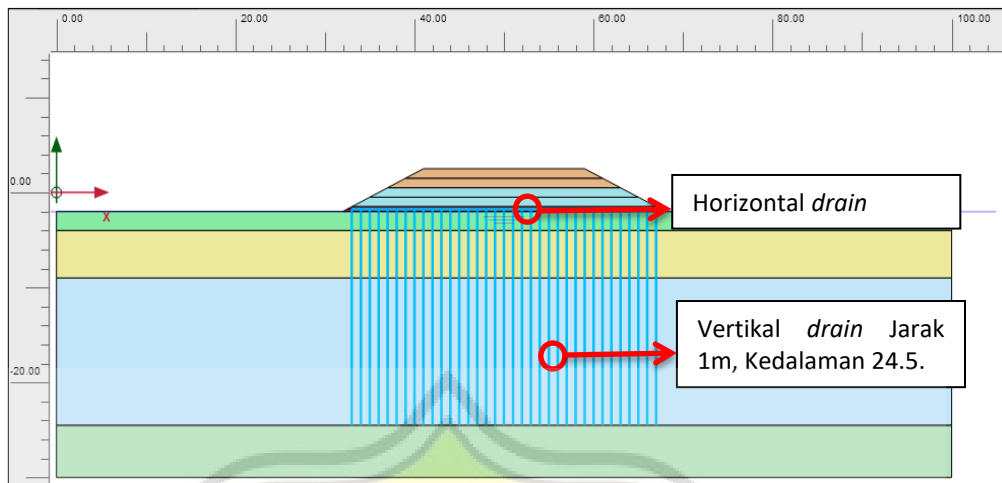
1. Membuat struktur lapisan timbunan *platform*, timbunan tanah dan timbunan *preloading*

Data *input* material tanah yang sudah dimasukkan dalam PLAXIS, tahapan selanjutnya yaitu membuat gambar struktur lapisan timbunan *platform*, timbunan tanah dan timbunan *preloading*. Struktur timbunan *platform* setinggi 100 cm, tinggi timbunan 2 m dan tinggi *preloading* 2 m dapat dilihat pada Gambar 4.26. Kemiringan *slope* yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu 1:2.



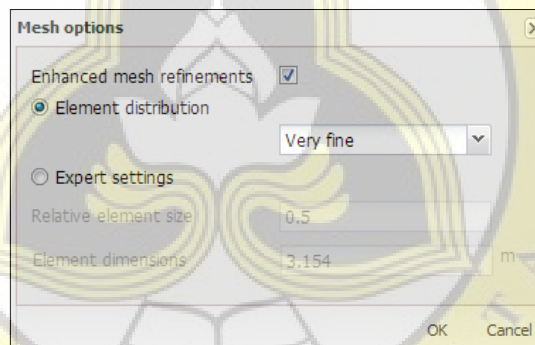
Gambar 4.26 Struktur Timbunan Pasir *Platform* 0.5 m, Timbunan Tanah 2 m dan Timbunan *Preloading* 2 m

2. Pemasangan vertikal *drain* dari tengah timbunan *platform* sampai kedalaman 24,5 m dengan nilai rata-rata N_{SPT} 13. Vertikal *drain* didalam pemodelan dipasang dengan jarak 1 m. Pemasangan vertikal *drain* dan horizontal *drain* pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.27.

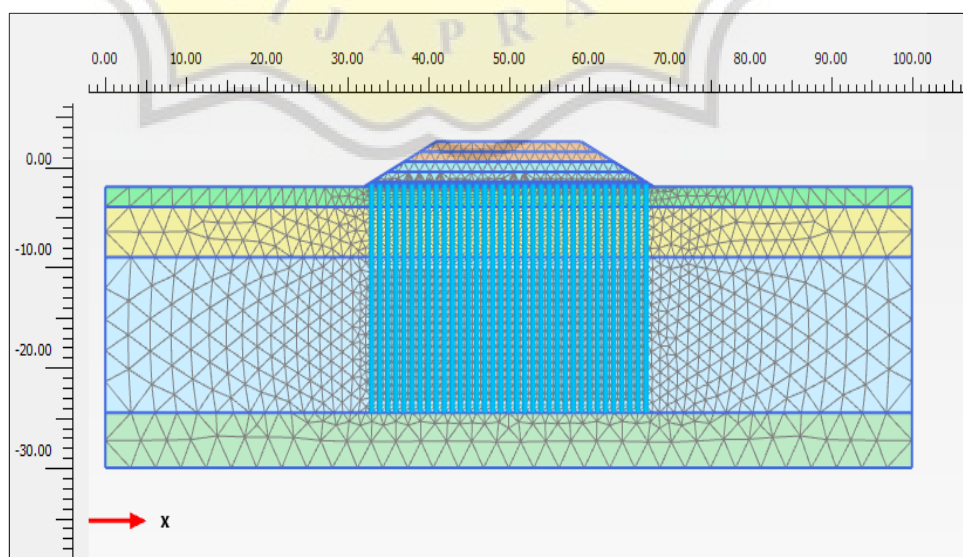


Gambar 4.27 Pemasangan Vertikal *Drain* dan PHD di PLAXIS

3. Tahapan selanjutnya yaitu membuat *mesh* di dalam pemodelan PLAXIS. *Element distribution* dibuat *very fine*. *Mesh option* dapat dilihat pada Gambar 4.28 dan hasil *mesh* dapat dilihat pada Gambar 4.29.



Gambar 4.28 *Mesh Option* PLAXIS



Gambar 4.29 Hasil *Mesh Option* PLAXIS

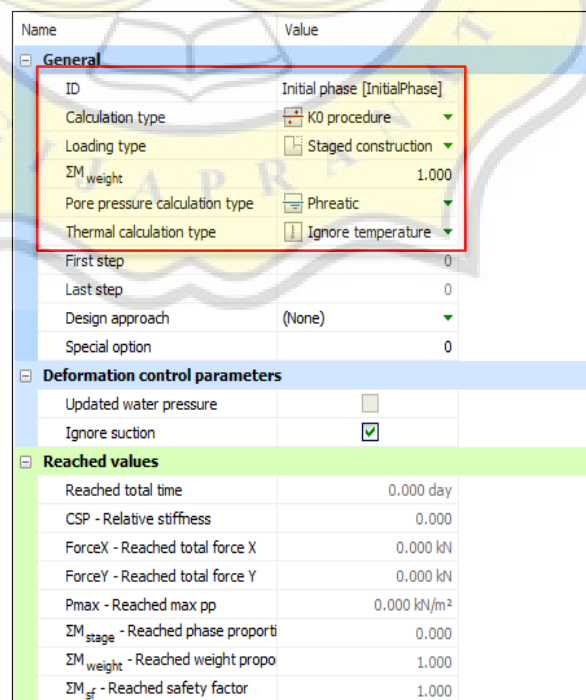
4. Berikutnya tahapan pelaksanaan (*Staged construction*)

Tahapan pelaksanaan analisis pemodelan di dalam PLAXIS harus dilakukan sesuai tahapan pekerjaan. Tahapan pelaksanaan konstruksi perbaikan tanah dalam pemodelan PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 4.7.

Tabel 4.7 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi Pemodelan *Preloading* dan PVD

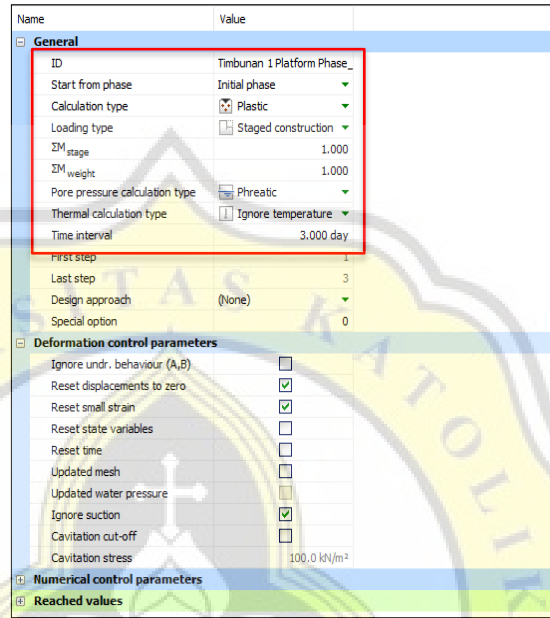
Staging Pelaksanaan <i>Preloading</i> Dengan PVD			
No	Tahapan	Hari	Total Hari
1	<i>Initial Condition</i>	0	0
2	Timbunan <i>Platform</i> 0.25 m	3	3
3	Pemasangan PVD dan PHD	14	17
4	Timbunan <i>Platform</i> 0.25 m	3	20
5	Timbunan Tanah 1 m	7	27
6	Timbunan Tanah 2 m	7	34
7	Timbunan <i>Preloading</i> 1 m	7	41
8	Timbunan <i>Preloading</i> 2 m	7	48
9	Konsolidasi 30 Hari	30	78
10	Konsolidasi 1 Tahun	305	383
11	Konsolidasi 3 Tahun	730	1113
12	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3668

- a. *Intial condition* adalah kondisi dimana tanah asli belum dilakukan konstruksi. *Intial condition* dapat dilihat pada Gambar 4.30.



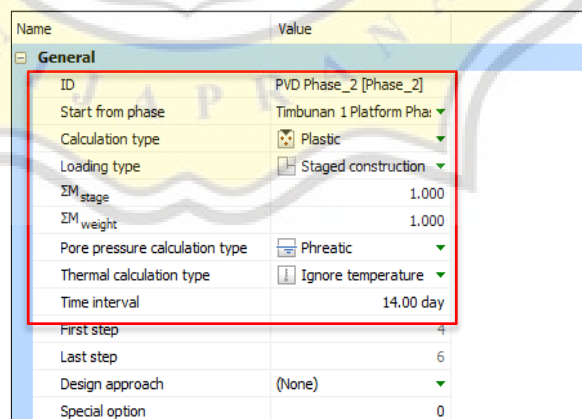
Gambar 4.30 *Initial Condition* di PLAXIS

- b. *Stage* selanjutnya yaitu timbunan *platform* 0,25 m, di dalam tahapan ini *calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.7. *Stage* timbunan *platform* di dalam PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.31.



Gambar 4.31 *Stage* Timbunan *Platform* di PLAXIS

- c. Tahapan pelaksanaan berikutnya yaitu pemasangan PVD, *calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.7. *Stage* pemasangan PVD dan PHD dapat dilihat pada Gambar 4.32.



Gambar 4.32 *Stage* Pemasangan PVD dan PHD

- d. Timbunan *platform* dilakukan kembali setelah tahapan pemasangan PVD, timbunan *platform* kembali sesuai pada point b. Setelah timbunan *platform* selesai tahapan berikutnya yaitu timbunan tanah

setinggi 2 m. Timbunan tanah dibagi menjadi dua bagian, yaitu timbunan 1 m kemudian timbunan 1 m kembali. *Calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.7. *Stage* timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.33.

Name	Value
General	
ID	Timbunan Tanah 1 Phase_4
Start from phase	Timbunan 2 Platform Pha...
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	10
Last step	12
Design approach	(None)
Special option	0

Gambar 4.33 *Stage* Timbunan 1

- e. Konsolidasi timbunan pertama setinggi 1 m, *Calculation type* diubah menjadi *consolidation* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.7. Tahapan konsolidasi timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.34.

General	
ID	Konsolidasi 1 Phase_5 [Phas
Start from phase	Timbunan Tanah 1 Phase
Calculation type	Consolidation
Loading type	Staged construction
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	13
Last step	103
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Force fully drained behaviour new	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.34 *Stage* Konsolidasi Timbunan 1

- f. Tahapan *stage construction* berikutnya yaitu timbunan 1 m kembali sesuai point d, kemudian konsolidasi kembali dari timbunan 1 meter sesuai point e. Pada tahapan pemodelan *preloading* sama dengan tahapan point d sampai e, kemudian untuk konsolidasi dibuat 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun. Pelaksanaan tahapan diakhiri dengan menganalisis *safety factor* dari konsolidasi akhir konstruksi, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun, konsolidasi 10 tahun. Pada *stage safety factor calculation type* diubah menjadi *safety* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.7. Contoh *stage* pada *safety factor* 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.35.

Name	Value
General	
ID	Sf 10 thn Phase_17 [Phase_
Start from phase	Konsolidasi 10 Tahun Pha
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multiplier
M_{sf}	0.1000
Pore pressure calculation type	Use pressures from p
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	430
Last step	529
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input checked="" type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.35 *Stage Safety Factor* 10 Tahun

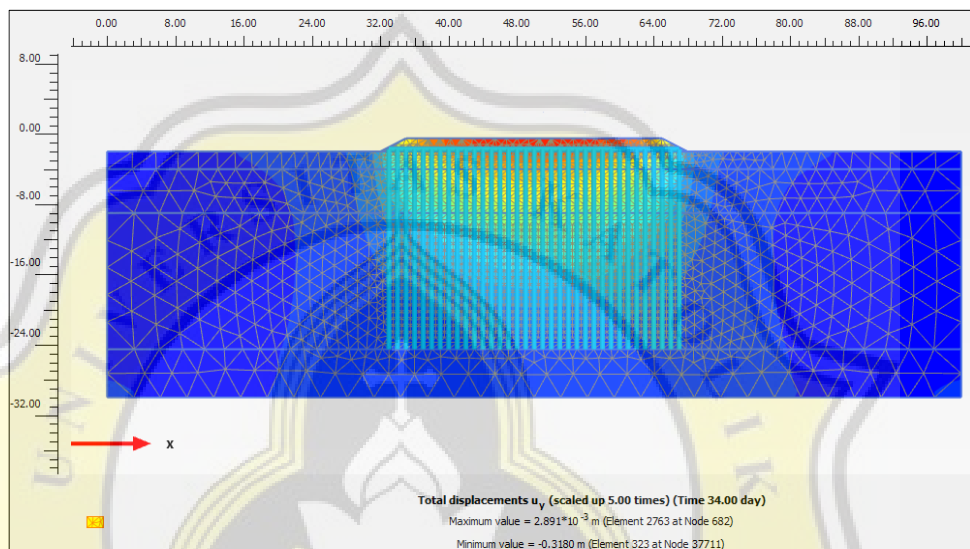
Hasil dari pemodelan dari perbaikan tanah lunak menggunakan *preloading* dan PVD yaitu berupa total penurunan tanah, *exces pore water pressure* dan *safety factor*. Hasil dari pemodelan dijabarkan sebagai berikut:

1. Total *displacement*

Total penurunan dibagi menjadi 7 yaitu ketika konsolidasi timbunan pertama, konsolidasi timbunan kedua, konsolidasi timbunan *preloading* 1, konsolidasi

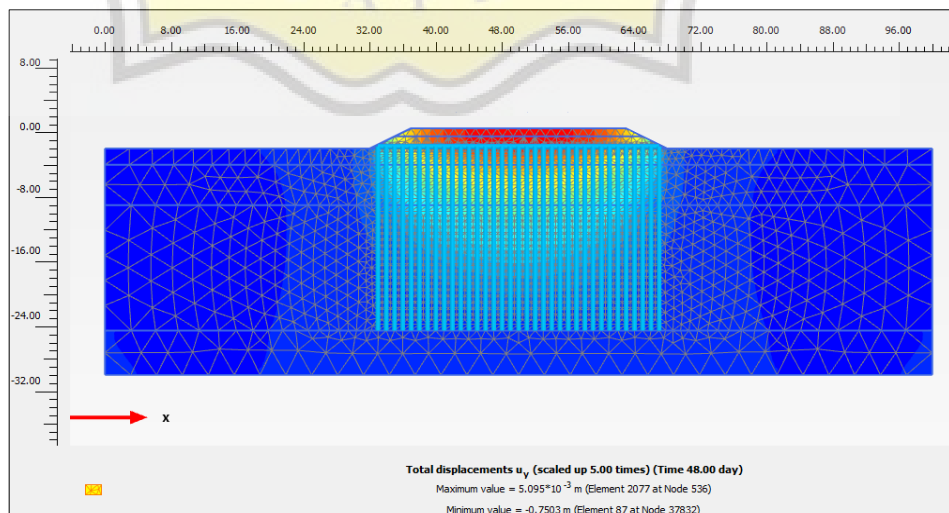
masa akhir konstruksi, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun dan konsolidasi 10 tahun. Total *displacement* dijabarkan sebagai berikut:

- a. Penurunan konsolidasi timbunan pertama merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 34 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan pertama sebesar 0,318 m. Total penurunan konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.36.



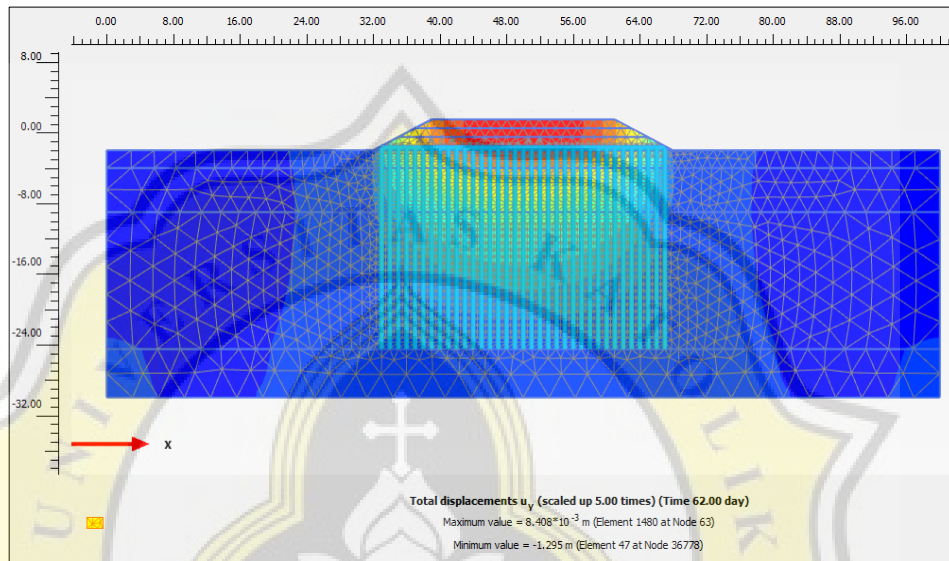
Gambar 4.36 Total *Displacement* Konsolidasi Timbunan Pertama

- b. Penurunan konsolidasi timbunan kedua merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 48 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan kedua sebesar 0,7503 m. Total penurunan konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.37.



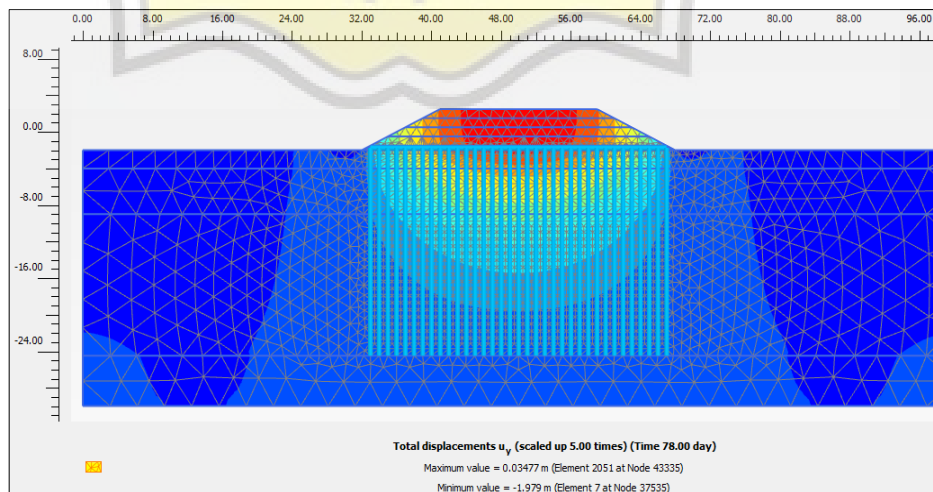
Gambar 4.37 Total *Displacement* Konsolidasi Timbunan Kedua

- c. Penurunan konsolidasi timbunan *preloading* pertama merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan *preloading* pertama dengan waktu 62 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan pertama sebesar 1,295 m. Total penurunan konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.38.



Gambar 4.38 Total *Displacement* Konsolidasi Timbunan Kedua

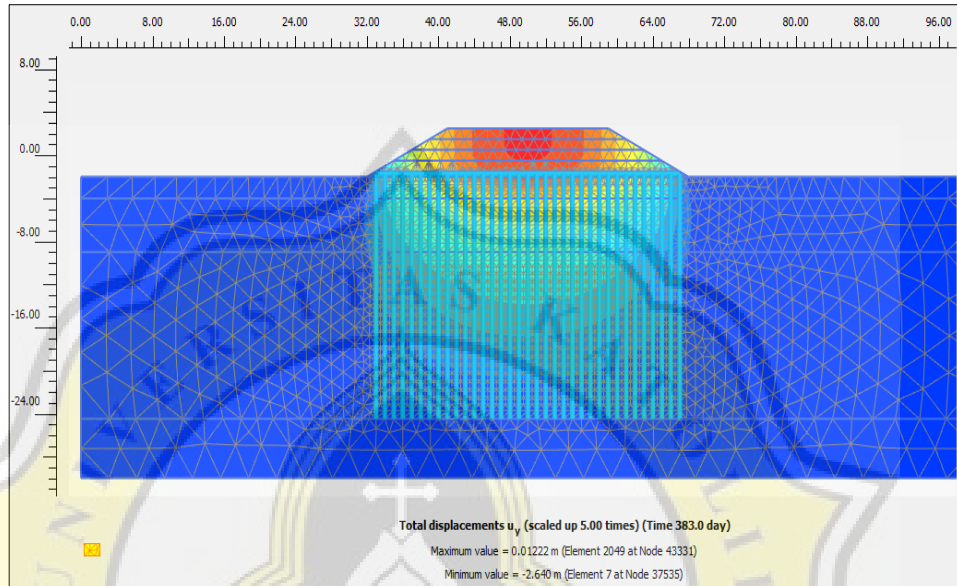
- d. Penurunan konsolidasi masa akhir konstruksi merupakan penurunan ketika waktu konsolidasi berada di akhir konstruksi atau pada fase konstruksi timbunan *preloading* 2 dengan waktu 78 hari. Penurunan pada konsolidasi masa akhir konstruksi sebesar 1,979 m. Total penurunan pada masa akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.39.



Gambar 4.39 Total *Displacement* Konsolidasi Akhir Konstruksi

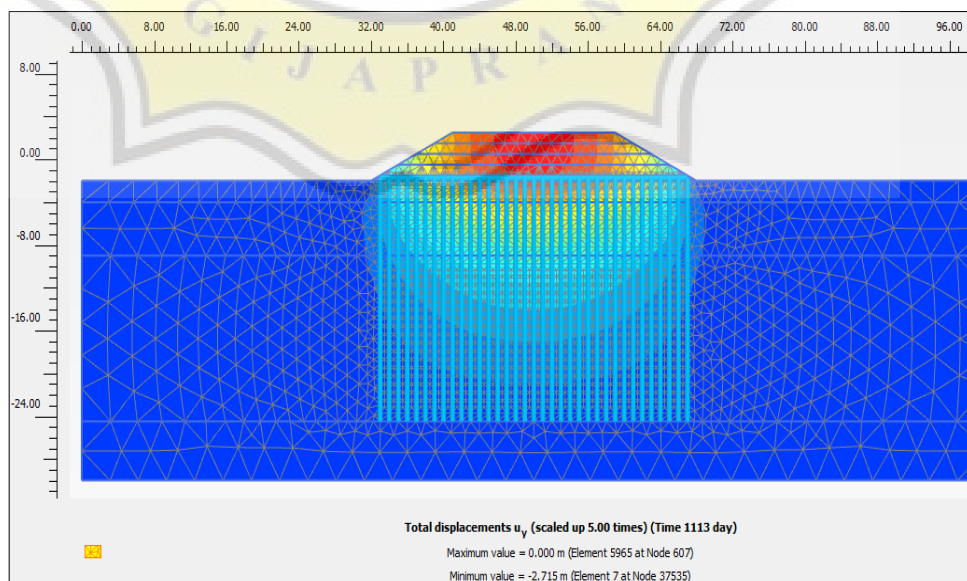


- e. Total *displacement* pada 1 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 1 tahun dari waktu konsolidasi akhir konstruksi dengan total waktu 383 hari. Penurunan pada 1 tahun konsolidasi sebesar 2,640 m. Total penurunan pada 1 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.40.



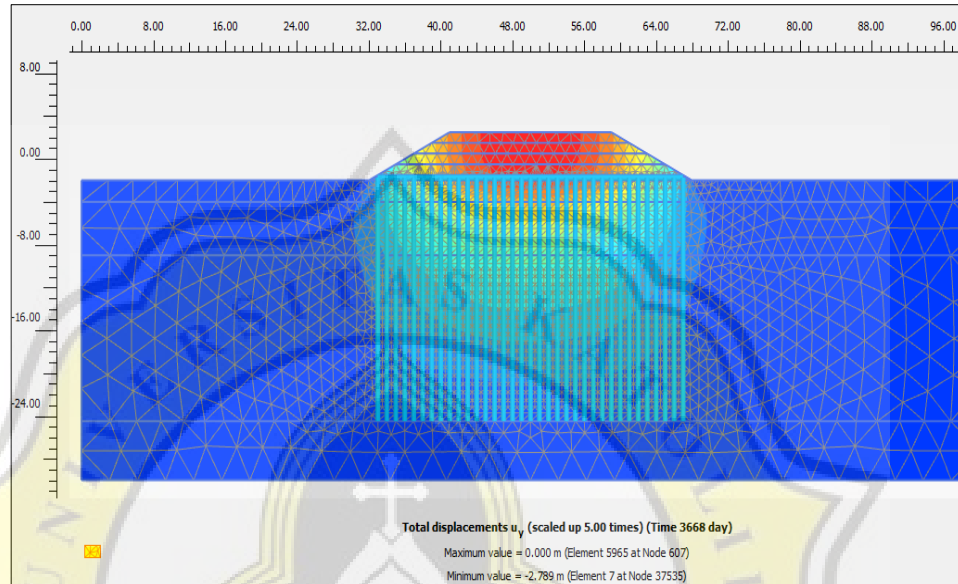
Gambar 4.40 Total *Displacement* Konsolidasi 1 Tahun

- f. Total *displacement* pada 3 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 3 tahun dari waktu konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 1113 hari. Penurunan pada 3 tahun konsolidasi sebesar 2,715 m. Total penurunan pada 3 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.41.



Gambar 4.41 Total *Displacement* Konsolidasi 3 Tahun

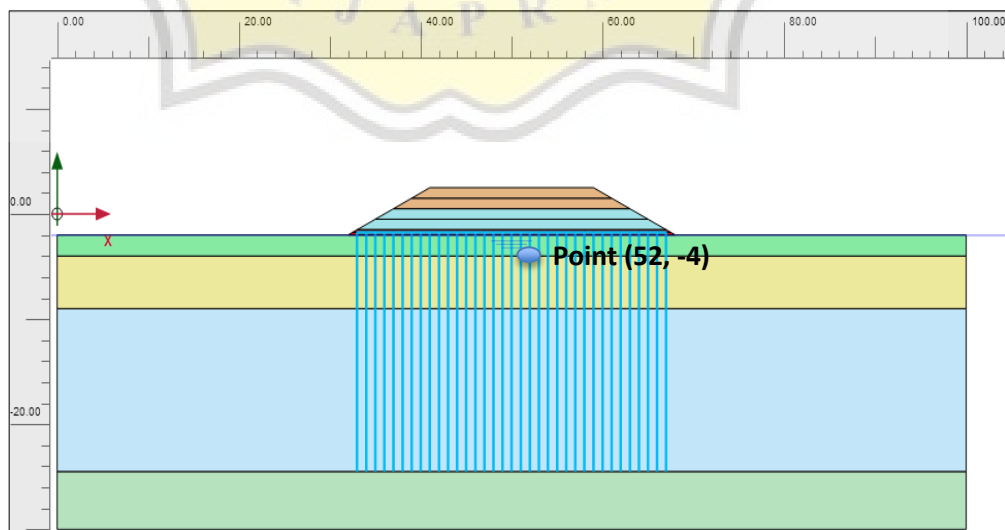
- g. Total *displacement* pada 10 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 10 tahun dari waktu konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 3668 hari. Penurunan pada 10 tahun konsolidasi sebesar 2,789 m. Total penurunan pada 10 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.42.



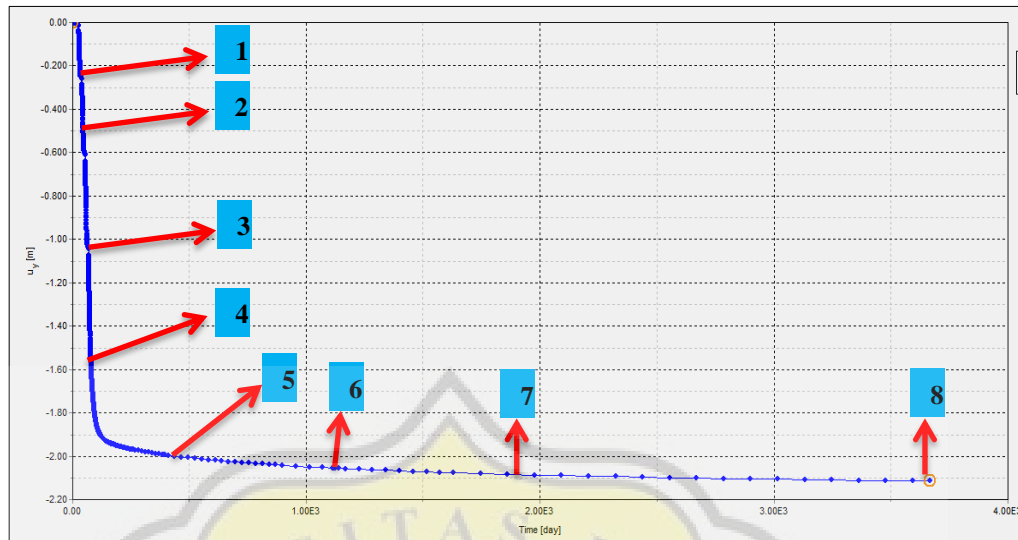
Gambar 4.42 Total *Displacement* Konsolidasi 10 Tahun

2. Grafik total *displacement* vs *time* point (52, -4)

Dalam mengecek grafik penurunan dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam software. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.43. Grafik penurunan vs waktu dapat dilihat pada Gambar 4.44.



Gambar 4.43 Lokasi Titik Pengecekan Point (52, -4)



Gambar 4.44 Grafik Penurunan Titik Point (52,-4)

Berdasarkan Gambar 4.44 anak panah 1 merupakan penurunan konsolidasi timbunan pertama. Anak panah 2 merupakan penurunan konsolidasi timbunan kedua. Anak panah ke 3 merupakan penurunan konsolidasi timbunan *preloading* pertama. Anak panah 4 merupakan penurunan konsolidasi akhir konstruksi atau timbunan *preloading* kedua. Anak panah 5 merupakan konsolidasi 1 tahun. Anak panah 6 merupakan penurunan konsolidasi 3 tahun. Anak panah 7 merupakan penurunan konsolidasi 5 tahun. Anak panah ke 8 merupakan penurunan konsolidasi 10 tahun. Besarnya penurunan dari masing-masing konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.8 Penurunan Tiap Konsolidasi

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Penurunan (m)	Selisih Penurunan (m)
1.	Konsolidasi timbunan 1	34	0,245	0,245
2.	Konsolidasi timbunan 2	48	0,589	0,344
3.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 1	62	1,020	0,431
4.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 2 atau akhir konstruksi	78	1,534	0,514
5.	Konsolidasi 1 tahun	383	1,993	0,459
6.	Konsolidasi 3 tahun	1113	2,055	0,062
7.	Konsolidasi 5 tahun	1843	2,083	0,028
8.	Konsolidasi 10 tahun	3668	2,115	0,032

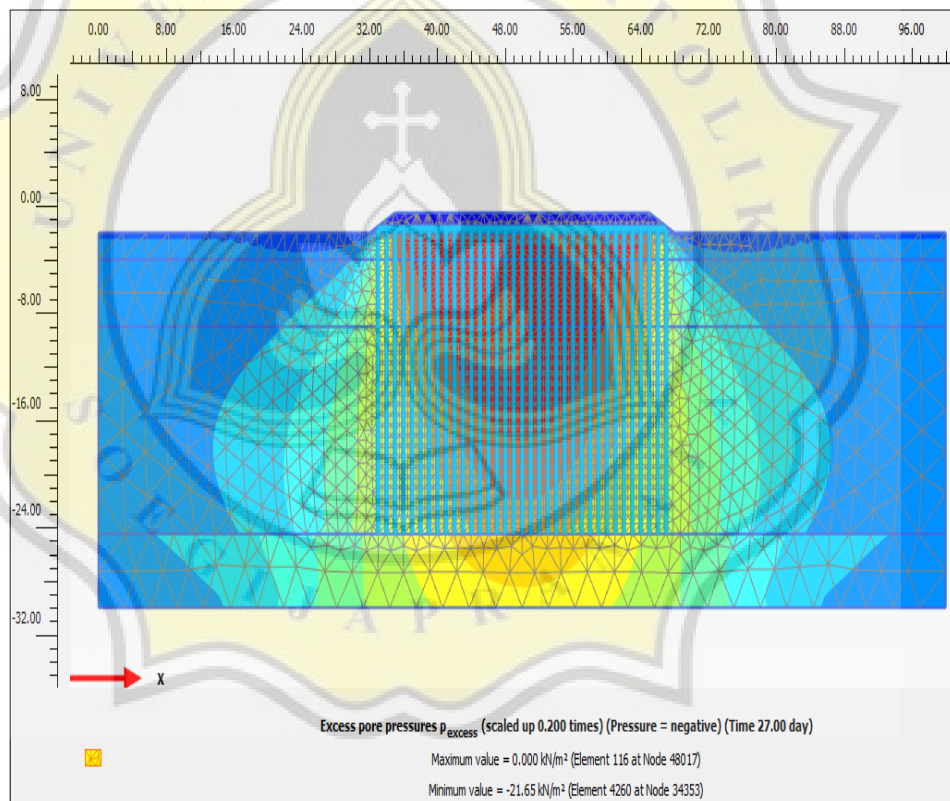
Berdasarkan Tabel 4.8 Hasil penurunan diatas menunjukkan bahwa untuk jangka panjang penurunan tanah kecil. Penurunan konsolidasi tanah dalam

jangka waktu panjang lebih kecil dikarenakan berkaitan dengan nilai *excess pore pressure* yang kecil. Dengan tekanan air pori yang kecil, artinya kondisi air dibawah yang sedikit dan sudah maksimal dikeluarkan.

3. *Excess pore pressure*

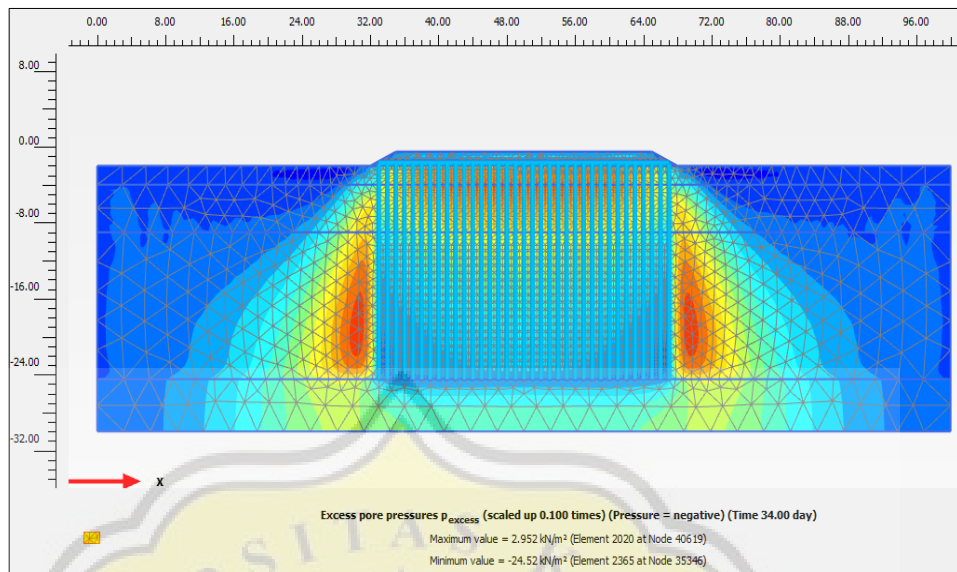
Hasil *excess pore pressure* tiap fase konstruksi di dalam pemodelan PLAXIS dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Excess pore pressure* timbunan pertama merupakan fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 27 hari. *Excess pore pressure* timbunan pertama minimum sebesar $-21,65 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,000 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.45.



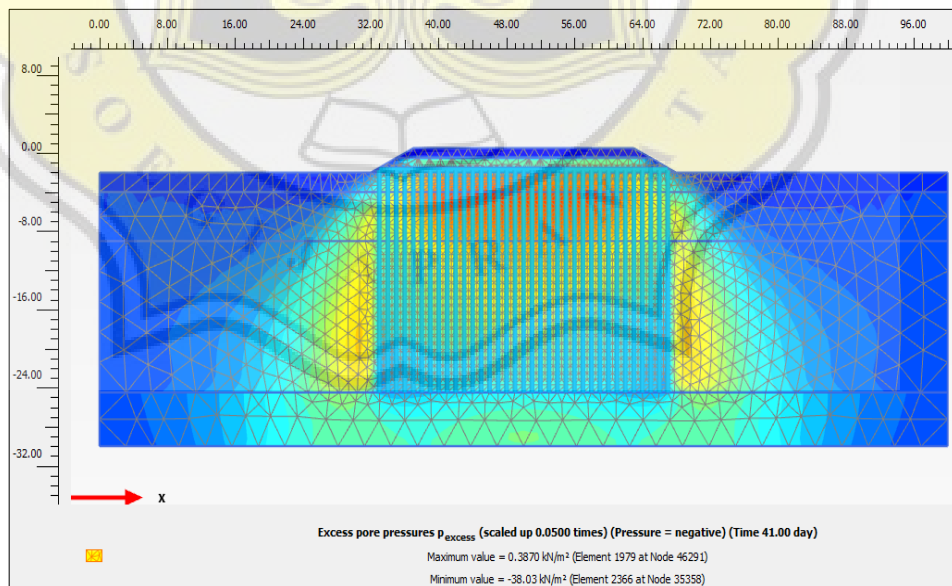
Gambar 4.45 *Excess Pore Pressure* Timbunan Pertama

- b. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan pertama merupakan tekanan air pori dari fase konstruksi konsolidasi timbunan pertama dengan waktu 34 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan pertama minimum sebesar $-24,52 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $2,952 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.46.



Gambar 4.46 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Timbunan Pertama

- c. *Excess pore pressure* timbunan kedua merupakan tekanan air pori dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 41 hari. *Excess pore pressure* dari timbunan kedua minimum sebesar -38,03 kN/m² dan maksimum 0,3870 kN/m². *Excess pore pressure* timbunan kedua dapat dilihat pada Gambar 4.47.

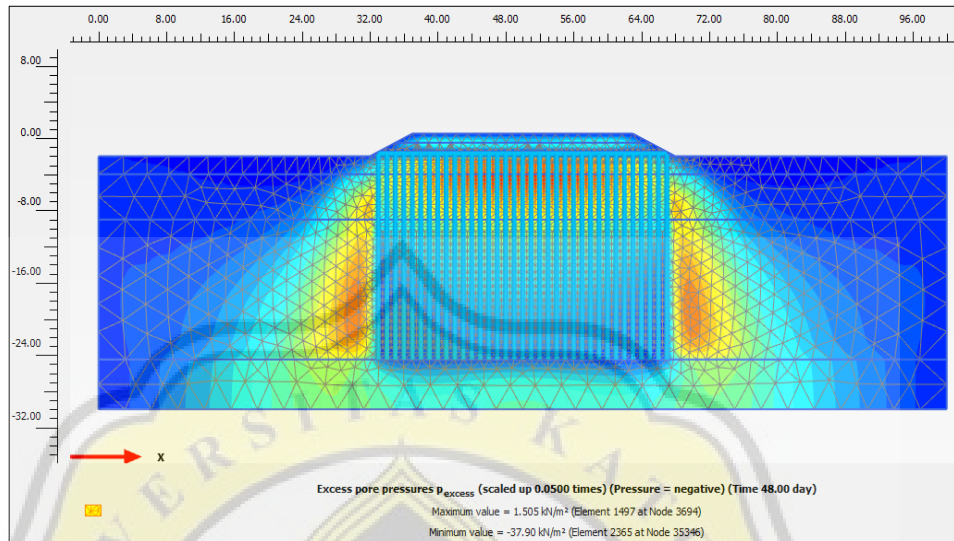


Gambar 4.47 *Excess Pore Pressure* Timbunan Kedua

- d. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan kedua merupakan tekanan air pori dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 48 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan kedua minimum sebesar -37,90

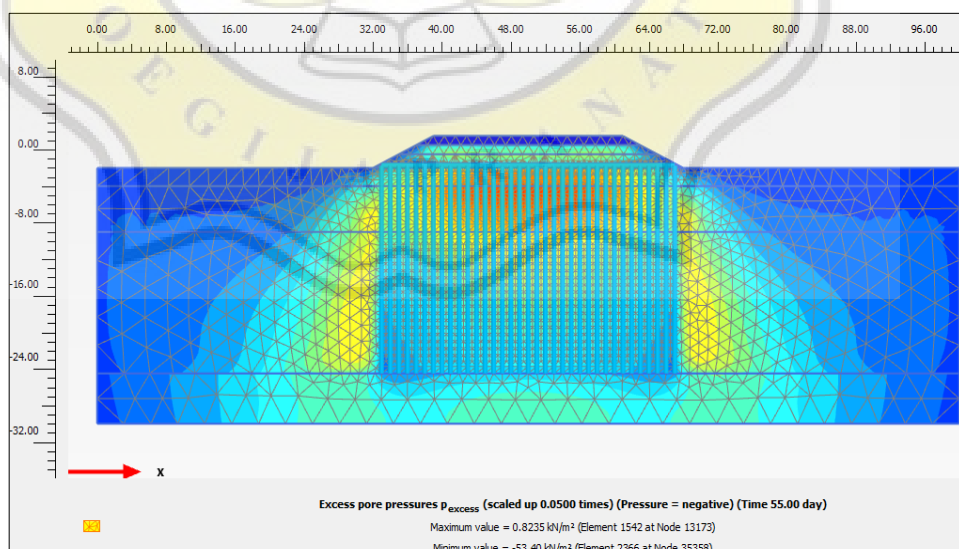


kN/m^2 dan maksimum $1,505 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* Konsolidasi timbunan kedua dapat dilihat pada Gambar 4.48.



Gambar 4.48 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Timbunan Kedua

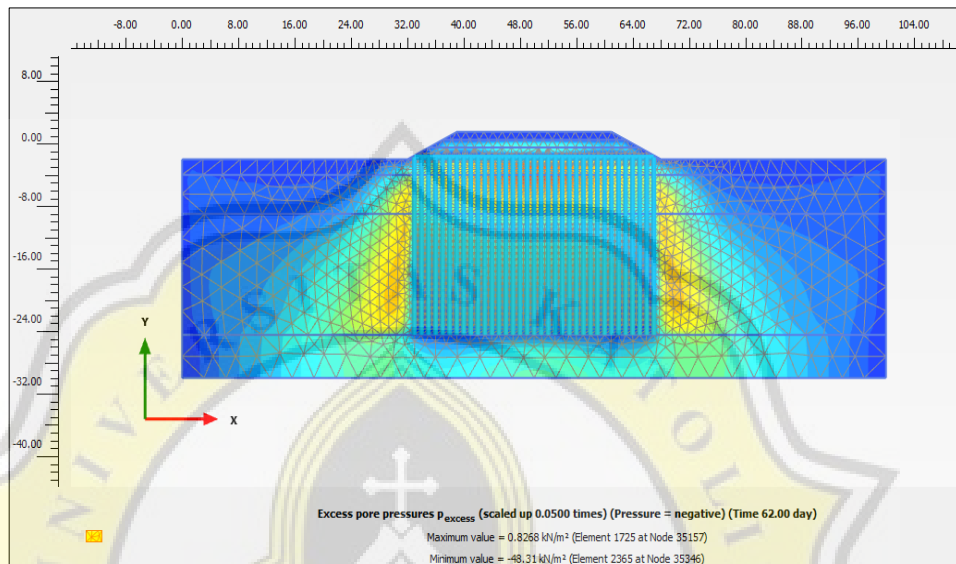
e. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* pertama merupakan fase konstruksi timbunan *preloading* pertama dengan waktu 55 hari. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* pertama minimum sebesar $-53,40 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,8235 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* pertama dapat dilihat pada Gambar 4.49.



Gambar 4.49 *Excess Pore Pressure Preloading* Timbunan Pertama

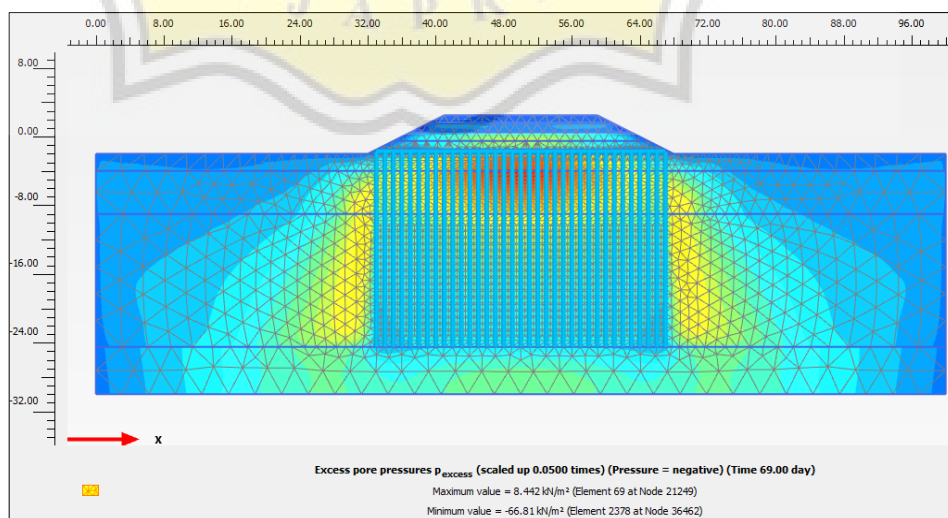
f. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan *preloading* pertama merupakan tekanan air pori dari fase konstruksi konsolidasi timbunan

preloading pertama dengan waktu 62 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan *preloading* pertama minimum sebesar $-48,31 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,82668 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan *preloading* pertama dapat dilihat pada Gambar 4.50.



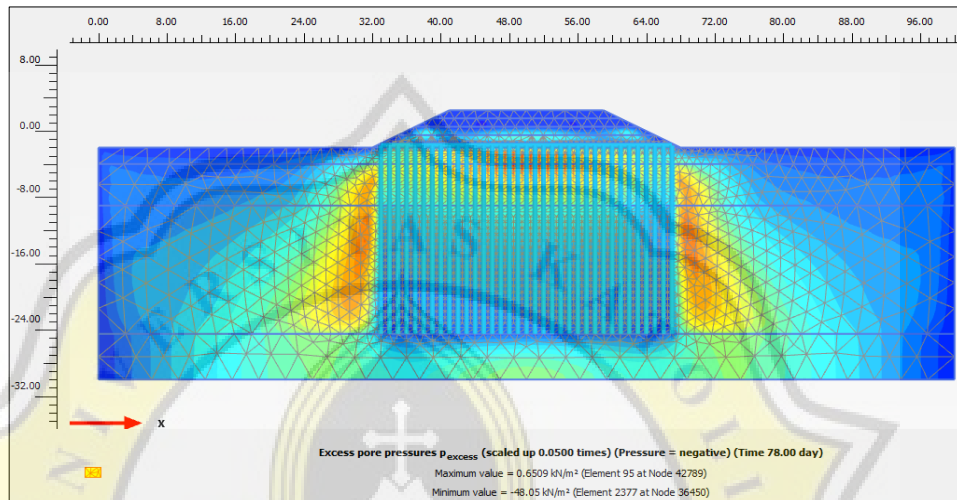
Gambar 4.50 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Timbunan *Preloading* Pertama

- g. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* kedua merupakan tekanan air pori dari fase konstruksi timbunan *preloading* kedua dengan waktu 69 hari. *Excess pore pressure* dari timbunan *preloading* kedua minimum sebesar $-66,81 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $8,442 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* kedua dapat dilihat pada Gambar 4.51.



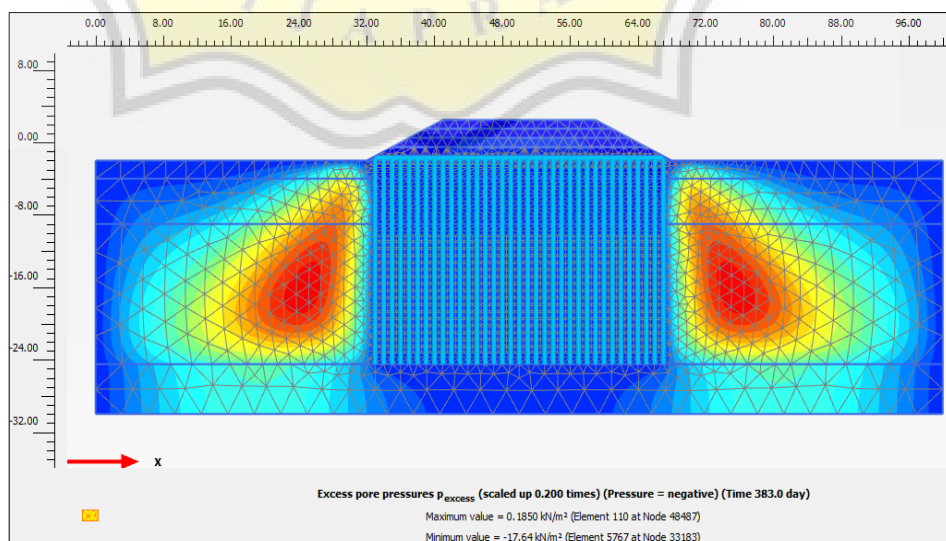
Gambar 4.51 *Excess Pore Pressure* Timbunan *Preloading* Kedua

- h. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan *preloading* kedua merupakan tekanan air pori dari fase akhir konstruksi dengan waktu 78 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan *preloading* kedua minimum sebesar $-48,05 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,6509 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan *preloading* kedua dapat dilihat pada Gambar 4.52.



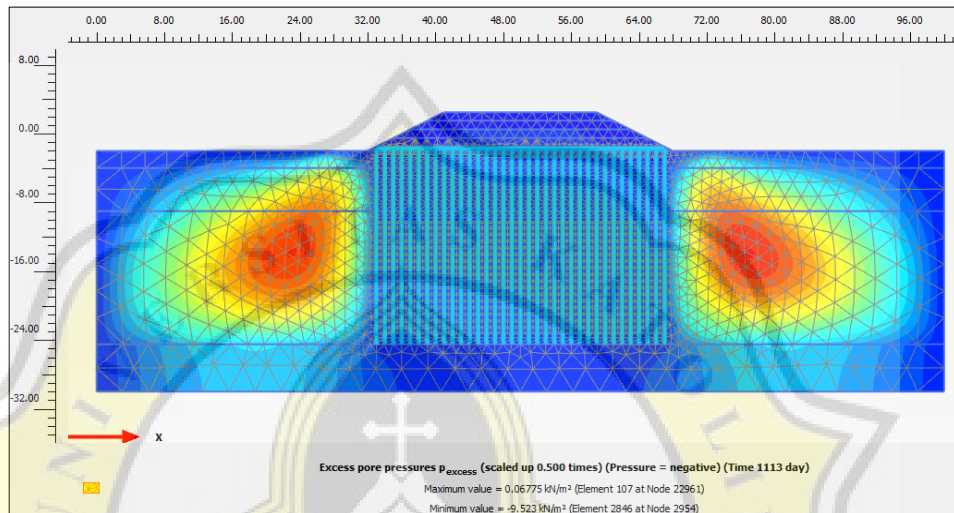
Gambar 4.52 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Timbunan *Preloading* Kedua

- i. *Excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 1 tahun dari waktu konsolidasi akhir konstruksi dengan total waktu 383 hari. *Excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi minimum $-17,64 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,1850 \text{ kN/m}^2$. *excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.53.



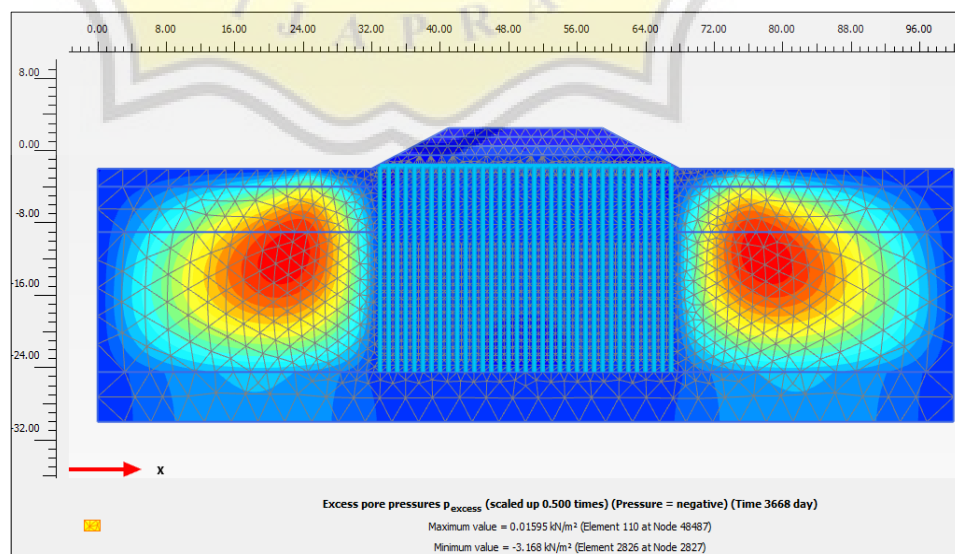
Gambar 4.53 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 1 Tahun

- j. *Excess pore pressure* pada 3 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 3 tahun dari waktu konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 1113 hari. *Excess pore pressure* pada 3 tahun konsolidasi minimum $-9,523 \text{ kN/m}^2$, maksimum $0,06775 \text{ kN/m}^2$. Total *excess pore pressure* pada 3 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.54.



Gambar 4.54 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 3 Tahun

- k. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 10 tahun dari waktu konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 3668 hari. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi minimum $-3,168 \text{ kN/m}^2$, maksimum $0,01595 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.55.

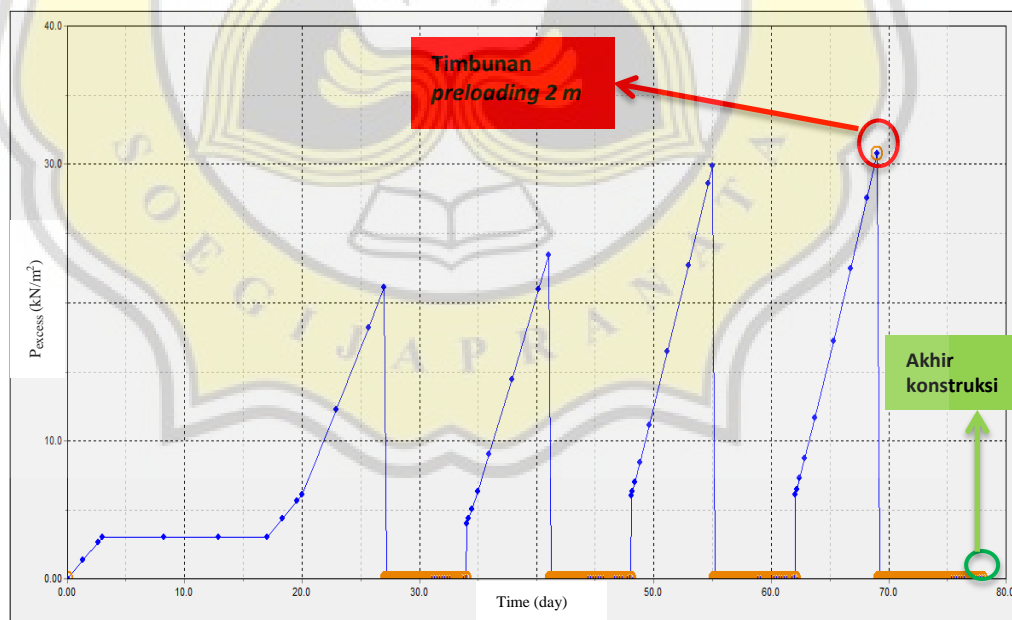


Gambar 4.55 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 10 Tahun

Berdasarkan hasil *excess pore pressure* yang sudah dijabarkan dapat dijelaskan bahwa pada fase timbunan tanah pertama tekanan air pori yang besar berkumpul dibawah tengah timbunan tanah sesuai gambar 4.45. Kemudian dilakukan konsolidasi untuk timbunan tanah pertama, maka tekanan air pori dibawah timbunan berkurang dapat dilihat pada gambar 4.46. Fase selanjutnya timbunan tanah ke dua. Selama dalam fase ini tekanan air pori naik lagi, kemudian tekanan air pori menurun lagi sesuai gambar 4.47 dan gambar 4.48. Nilai tekanan air pori selanjutnya seperti itu sampai tekan air pori sangat kecil dan pusat tekanan air pori berubah diluar pemasangan PVD sesuai gambar 4.55.

4. Grafik *excess pore pressure* vs time point (52, -4)

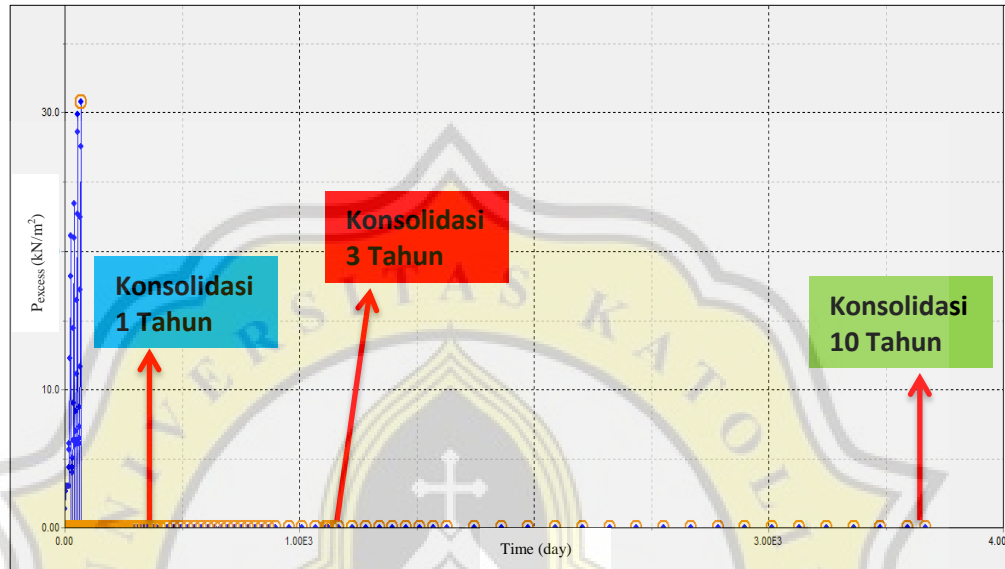
Dalam mengecek grafik tekanan air pori dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam software. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.43. Dari gambar 4.43 diperoleh grafik nilai *excess pore pressure* vs time yang dapat dilihat pada Gambar 4.56.



Gambar 4.56 Grafik *Excess Pore Pressure* Akhir Konstruksi

Grafik diatas merupakan hasil analisis *excess pore pressure* sampai waktu akhir konstruksi dengan total 78 hari. Berdasarkan grafik 4.53 diatas nilai *excess pore pressure* sampai masa konstruksi berlangsung hasil terbesar yaitu pada fase timbunan ke 4 dengan nilai $30,791 \text{ kN/m}^2$, maka untuk konsolidasi

$90\% = 30,791 \times 0,1 = 3,0791 \text{ kN/m}^2$. Untuk nilai *excess pore pressure* masa akhir konstruksi sebesar $0 \text{ kN/m}^2 < 3,0791 \text{ kN/m}^2$, maka konsolidasi 90% dapat tercapai. Kemudian dilakukan pengecekan grafik lagi sampai masa waktu 10 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 4.57.



Gambar 4.57 Grafik *Excess Pore Pressure* 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.57 nilai *excess pore pressure* pada konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 383 hari sebesar 0 kN/m^2 , konsolidasi 3 tahun dengan total hari 1113 hari sebesar 0 kN/m^2 dan konsolidasi 10 tahun dengan total waktu 3668 hari sebesar 0 kN/m^2 . Dengan hasil yang sudah dijabarkan menunjukkan bahwa nilai *excess pore pressure* 0 yang menunjukkan bahwa air di dalam tanah dapat dikeluarkan maksimal. Air di dalam tanah dapat dikeluarkan secara maksimal akan memberi dampak pada penurunan tanah yang cenderung relatif kecil dalam jangka waktu yang panjang.

5. *Safety Factor*

Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik menjelaskan angka keamanan stabilitas tanah untuk konstruksi minimum 1,5. Hasil dengan PVD *safety factor* pada masa akhir konstruksi sebesar 1,725, *safety factor* 1 tahun masa konsolidasi sebesar 1,904, *safety factor* 3 tahun masa konsolidasi sebesar 1,907 dan *safety factor* 10 tahun masa konsolidasi sebesar 1,901. Dari hasil yang sudah dijabarkan, *safety factor* memenuhi persyaratan SNI 8460:2017.

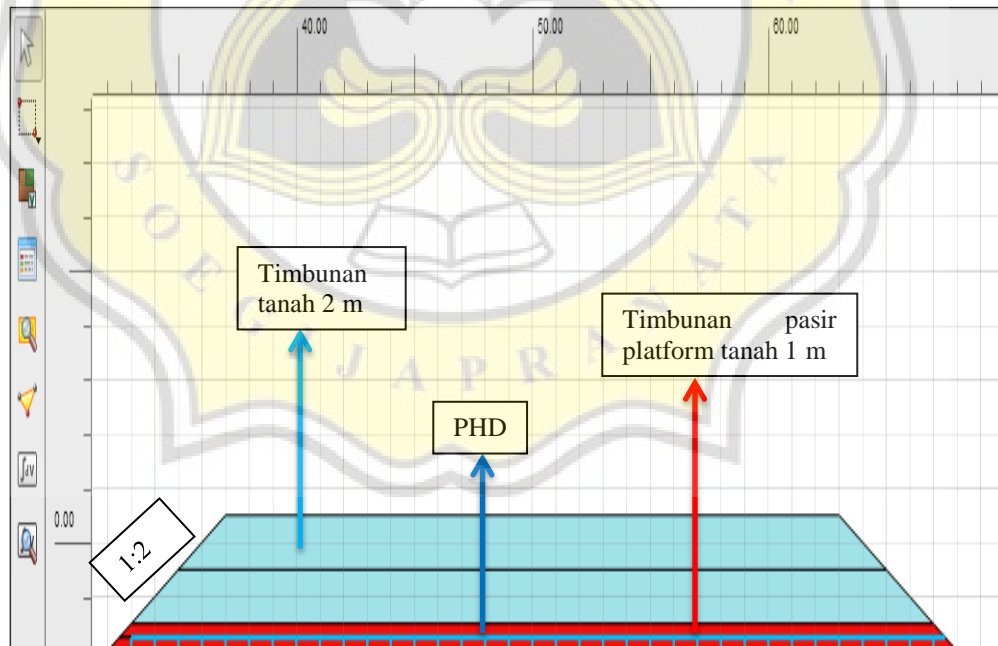
4.4 Pemodelan Perbaikan Tanah Lunak Menggunakan *Vacuum* dan PVD

Penulis dalam melakukan pemodelan perbaikan tanah menggunakan PLAXIS V20. Pemodelan perbaikan tanah lunak dengan *vacuum* menggunakan software PLAXIS. Tahapan hampir sama dengan pemodelan *preloading* dengan PVD, tahapan yang sama seperti membuat struktur geometri, membuat material *soft soil model*, membuat material model *mohr column* seperti pada sub bab 4.2. Tahapan pemodelan yang berbeda dijelaskan sebagai berikut:

1. Membuat struktur lapisan timbunan *platform* dan timbunan tanah

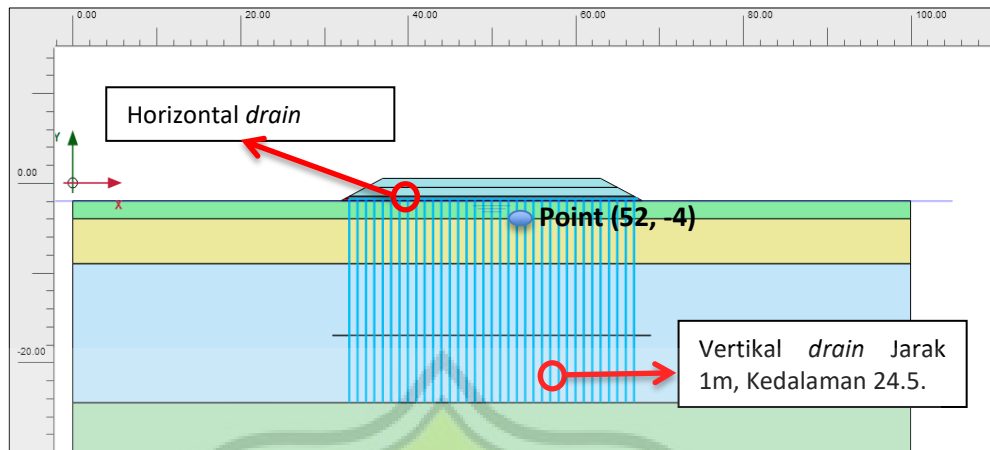
Data *input* material tanah yang sudah dimasukkan dalam PLAXIS, tahapan selanjutnya yaitu membuat gambar struktur lapisan timbunan *platform* dan timbunan tanah. Timbunan *preloading* dihilangkan karena timbunan tersebut digantikan oleh *vacuum*.

Struktur timbunan *platform* setinggi 100 cm dan tinggi timbunan 2 m. dapat dilihat pada Gambar 4.58. Kemiringan slope yang digunakan dalam pemodelan ini yaitu 1:2.



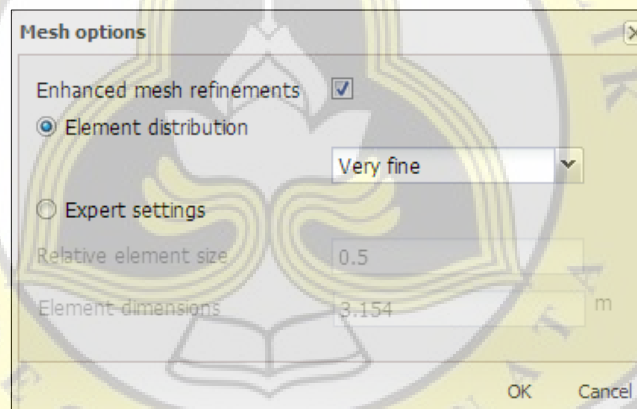
Gambar 4.58 Struktur Timbunan Pasir *Platform* 0.5 m, Timbunan Tanah 2 m

2. Pemasangan vertikal *drain* dari tengah timbunan *platform* sampai kedalaman 24,5 m dengan nilai rata-rata N_{SPT} 13. Vertikal *drain* didalam pemodelan dipasang dengan jarak 1 m. Pemasangan vertikal *drain* dan horizontal drain pada PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.56.

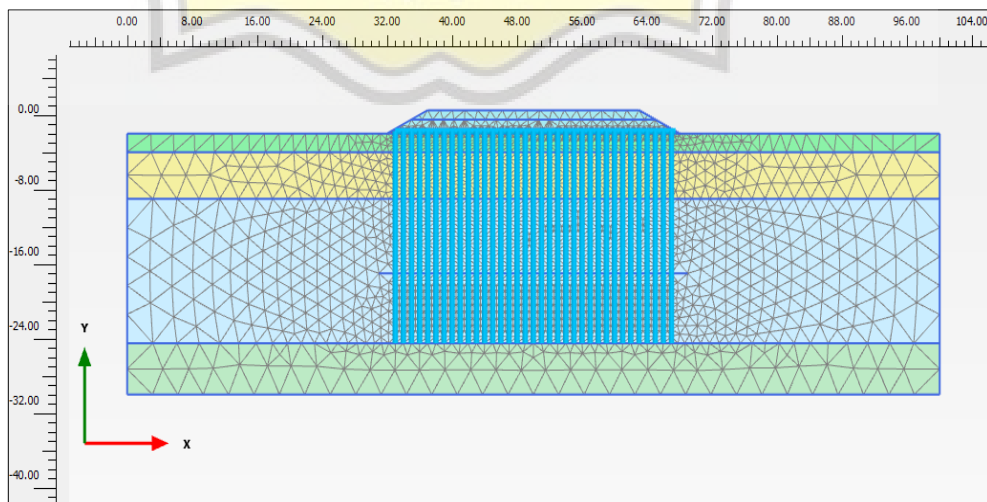


Gambar 4.59 Pemasangan Vertikal *Drain* di PLAXIS

3. Tahapan selanjutnya yaitu membuat *mesh* di dalam pemodelan PLAXIS. *Element distribution* dibuat *very fine*. *Mesh option* dapat dilihat pada Gambar 4.60 dan hasil *mesh* dapat dilihat pada Gambar 4.61.



Gambar 4.60 *Mesh Option* PLAXIS



Gambar 4.61 Hasil *Mesh Option* PLAXIS



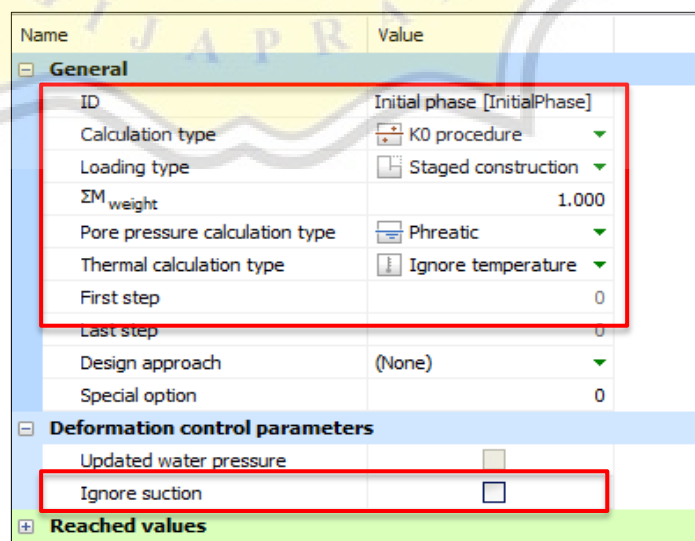
4. Berikutnya tahapan pelaksanaan (*Staged Construction*)

Tahapan pelaksanaan analisis pemodelan di dalam PLAXIS harus dilakukan sesuai tahapan pekerjaan. Tahapan pelaksanaan konstruksi perbaikan tanah dalam pemodelan PLAXIS dapat dilihat pada Tabel 4.9.

Tabel 4.9 Tahapan Pelaksanaan Konstruksi Pemodelan *Vacuum*

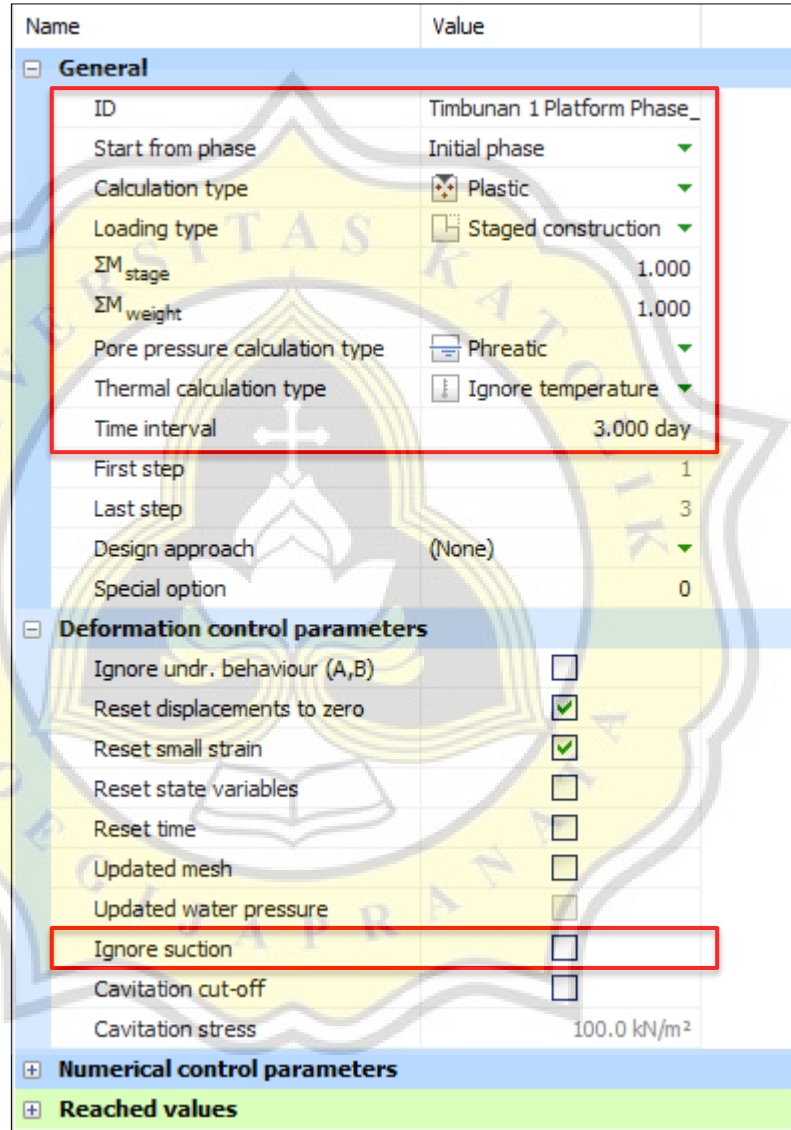
Staging Pelaksanaan <i>Vacuum</i>			
No	Tahapan	Hari	Total Hari
1	<i>Initial Condition</i>	0	0
2	Timbunan <i>Platform</i> 0.25 m	3	3
3	Pemasangan PVD dan PHD	20	23
4	Timbunan <i>Platform</i> 0.25 m	3	26
5.	<i>Vacuum On</i>	30	56
6.	Timbunan Tanah 1 m	7	63
7.	Konsolidasi Timbunan Tanah 1 m	7	70
8.	Timbunan Tanah 2 m	7	77
9.	Konsolidasi Timbunan tanah 2 m	7	84
10.	Masa Tunggu 120 Hari	120	204
11.	<i>Vacuum off</i>	1	205
12.	Konsolidasi 1 Tahun	285	365
13.	Konsolidasi 3 Tahun	730	1095
14.	Konsolidasi 10 Tahun	2555	3650

- a. *Initial condition* adalah kondisi dimana tanah asli belum dilakukan konstruksi. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checklist*. *Initial condition* dapat dilihat pada Gambar 4.62.



Gambar 4.62 *Initial Condition* di PLAXIS

- b. *Stage* selanjutnya yaitu timbunan *platform* 0,25 m, di dalam tahapan ini *calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.9. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checklist*. *Stage* timbunan *platform* di dalam PLAXIS dapat dilihat pada Gambar 4.63.



Name	Value
General	
ID	Timbunan 1 Platform Phase_
Start from phase	Initial phase
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	3.000 day
First step	1
Last step	3
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset small strain	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.63 *Stage* Timbunan *Platform* di PLAXIS

- c. Berikutnya pelaksanaan yaitu pemasangan PVD dan PHD, *calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.9. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checklist*. *Stage* pemasangan PVD dan PHD dapat dilihat pada Gambar 4.64.



Name	Value
General	
ID	PVD + PHD Phase_2 [Phase_
Start from phase	Timbunan 1 Platform Pha: ▼
Calculation type	Plastic ▼
Loading type	Staged construction ▼
ΣM_{stage}	1.000
ΣM_{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Phreatic ▼
Thermal calculation type	Ignore temperature ▼
Time interval	20.00 day
First step	4
Last step	6
Design approach	(None) ▼
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.64 Stage Pemasangan PVD dan PHD

- d. Timbunan *platform* dilakukan kembali setelah tahapan pemasangan PVD dan PHD, timbunan *platform* kembali sesuai pada point 4.b. Setelah timbunan *platform* selesai tahapan berikutnya yaitu timbunan tanah setinggi 2 m. Timbunan tanah dibagi menjadi dua bagian, yaitu timbunan 1 m kemudian timbunan 1 m kembali. *Calculation type* diubah menjadi *plastic* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.9. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checkbox*, *pore pressure calculation type* dibuat *steady state groundwater flow*. *Stage* timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.65.



Name	Value
General	
ID	Timbunan 1 [Phase_5]
Start from phase	Vacuum On
Calculation type	Plastic
Loading type	Staged construction
Σ _{stage}	1.000
Σ _{weight}	1.000
Pore pressure calculation type	Steady state groundwater
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	302
Last step	317
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Flow control parameters	
Reached values	

Gambar 4.65 Stage Timbunan 1 m

- e. Konsolidasi timbunan pertama setinggi 1 m, *calculation type* diubah menjadi *consolidation* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.9. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checkbox*, *pore pressure calculation type* dibuat *steady state groundwater flow*. Tahapan konsolidasi timbunan 1 meter dapat dilihat pada Gambar 4.66.

Name	Value
General	
ID	Konsolidasi Timbunan 1 [Pha]
Start from phase	Timbunan 1
Calculation type	Consolidation
Loading type	Staged construction
ΣM weight	1.000
Pore pressure calculation type	Steady state ground
Thermal calculation type	Ignore temperature
Time interval	7.000 day
First step	98
Last step	120
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Force fully drained behaviour new	<input checked="" type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Reset time	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Flow control parameters	
Reached values	

Gambar 4.66 Stage Konsolidasi Timbunan 1

- f. Tahapan *stage construction* berikutnya yaitu timbunan 1 m kembali sesuai point d kemudian konsolidasi kembali dari timbunan 1 meter sesuai point e, kemudian untuk konsolidasi dibuat 1 tahun, 3 tahun dan 10 tahun. Pelaksanaan tahapan diakhiri dengan menganalisis *safty factor* dari konsolidasi akhir konstruksi, konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun, konsolidasi 10 tahun. Pada *stage safety factor calculation type* diubah menjadi *safety* dan mengisi interval waktu sesuai Tabel 4.9. *Deformation control parameter* pada *ignore suction* tidak dilakukan *checkbox*. Contoh *stage* pada *safety factor* 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.67.



Name	Value
General	
ID	Sf 10 Thn [Phase_17]
Start from phase	Konsolidasi 10 Thn
Calculation type	Safety
Loading type	Incremental multiplier
M_{sf}	0.1000
Pore pressure calculation type	Use pressures from p
Thermal calculation type	Ignore temperature
First step	572
Last step	671
Design approach	(None)
Special option	0
Deformation control parameters	
Ignore undr. behaviour (A,B)	<input type="checkbox"/>
Reset displacements to zero	<input type="checkbox"/>
Reset small strain	<input type="checkbox"/>
Reset state variables	<input type="checkbox"/>
Updated mesh	<input type="checkbox"/>
Updated water pressure	<input type="checkbox"/>
Ignore suction	<input type="checkbox"/>
Cavitation cut-off	<input type="checkbox"/>
Cavitation stress	100.0 kN/m ²
Numerical control parameters	
Reached values	

Gambar 4.67 *Stage Safety Factor* 10 Tahun

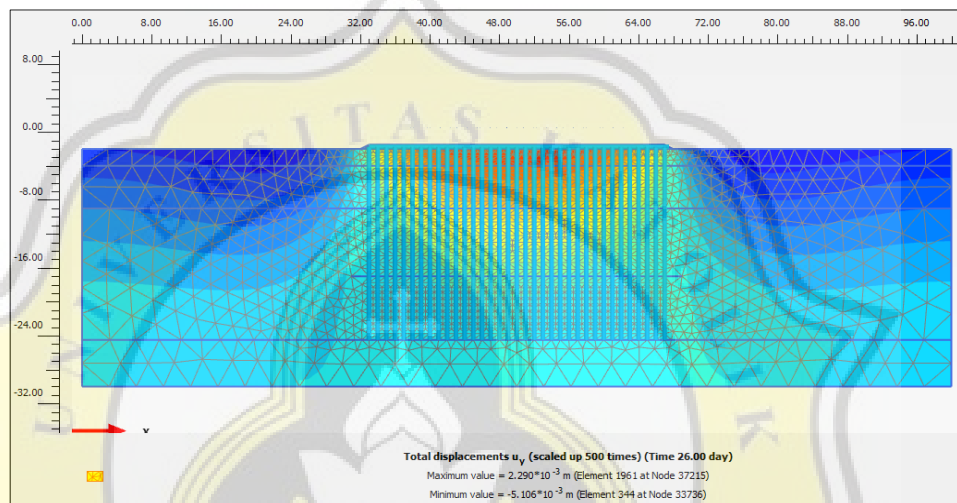
Hasil dari pemodelan dari perbaikan tanah lunak menggunakan *vacuum* yaitu berupa total penurunan tanah, *exces pore water pressure* dan *safety factor*. Hasil dari pemodelan dijabarkan sebagai berikut:

1. Total *displacement*

Total penurunan dibagi menjadi 10 yaitu ketika timbunan pasir akhir *platform*, *vacuum* diaktifkan, proses konstruksi timbunan tanah pertama, konsolidasi timbunan tanah pertama, proses konstruksi timbunan tanah kedua, konsolidasi timbunan tanah kedua, konsolidasi masa akhir konstruksi,

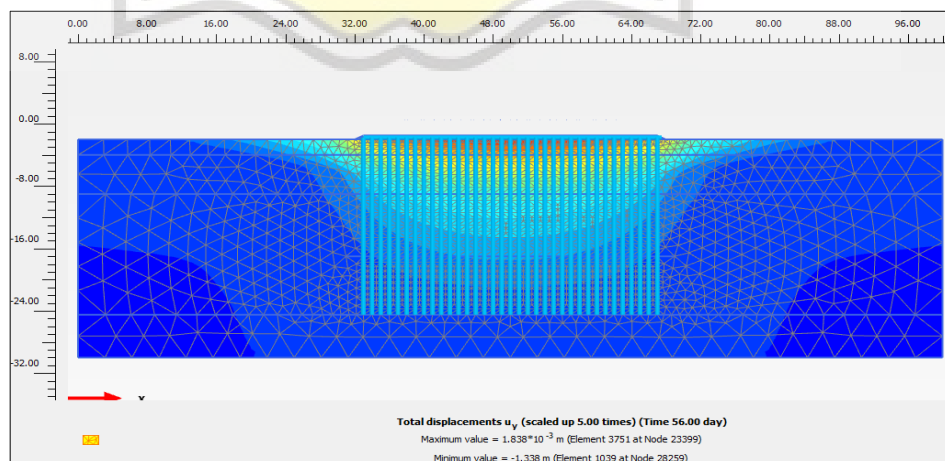
konsolidasi 1 tahun, konsolidasi 3 tahun dan konsolidasi 10 tahun. Total *displacement* dijabarkan sebagai berikut:

- a. Penurunan akhir timbunan pasir *platform* merupakan penurunan dari proses konstruksi setelah timbunan pasir pertama *platform* dan pemasangan PVD dan PHD dengan total waktu 26 hari. Penurunan pada akhir timbunan *platform* sebesar 0,005106 m. Total penurunan akhir timbunan pasir *platform* dapat dilihat pada Gambar 4.68.



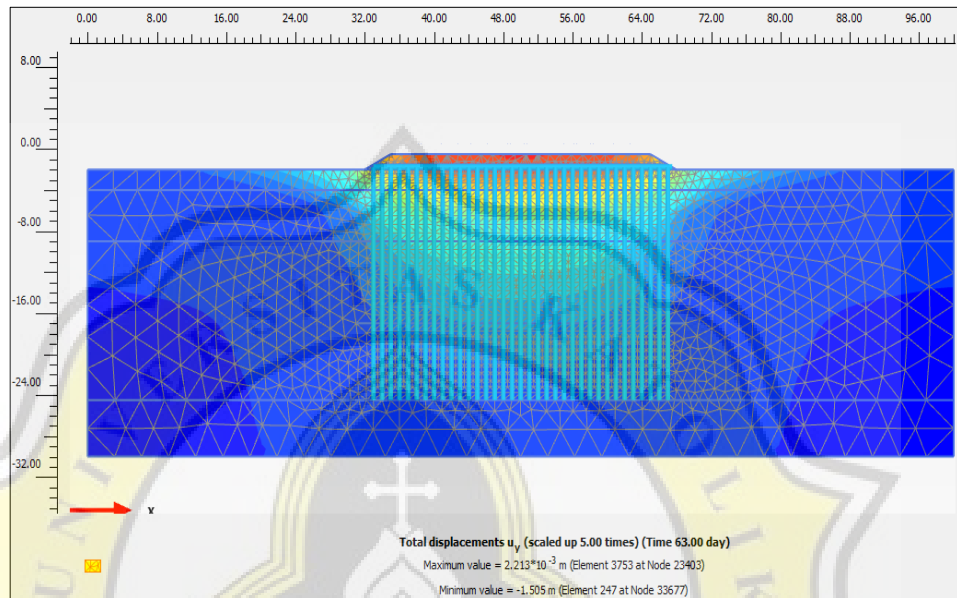
Gambar 4.68 Total *Displacement* Timbunan Akhir *Platform*

- b. Penurunan ketika vakum diaktifkan merupakan penurunan dari proses konstruksi setelah timbunan pasir *platform* 0,5 m, pemasangan PVD dan PHD dengan total waktu 56 hari. Penurunan tanah ketika vakum diaktifkan sebesar 1,338 m. Total penurunan ketika vakum diaktifkan dapat dilihat pada Gambar 4.69.



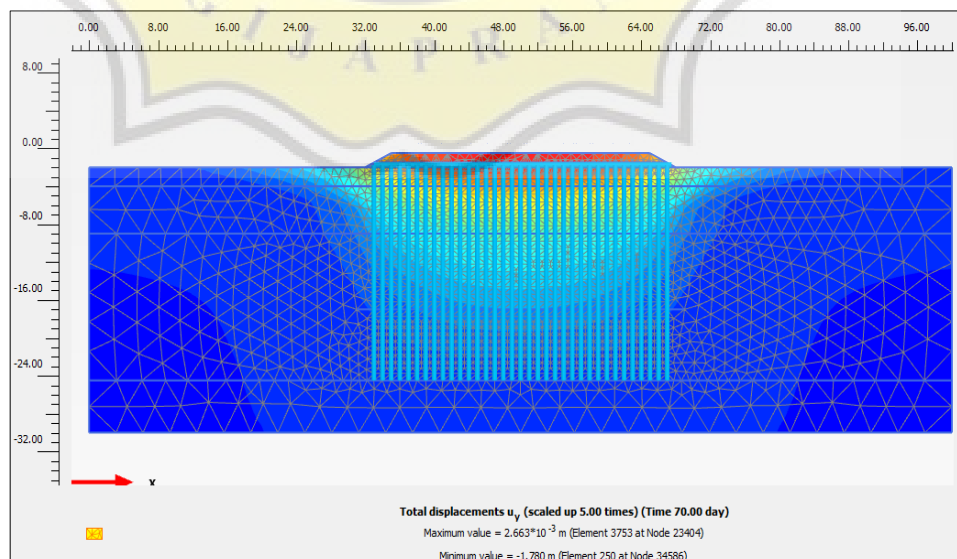
Gambar 4.69 Total *Displacement* Vacuum Aktif

- c. Penurunan tanah dari proses konstruksi timbunan pertama merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 63 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan pertama sebesar 1,505 m. Total penurunan timbunan tanah pertama dapat dilihat pada Gambar 4.70.



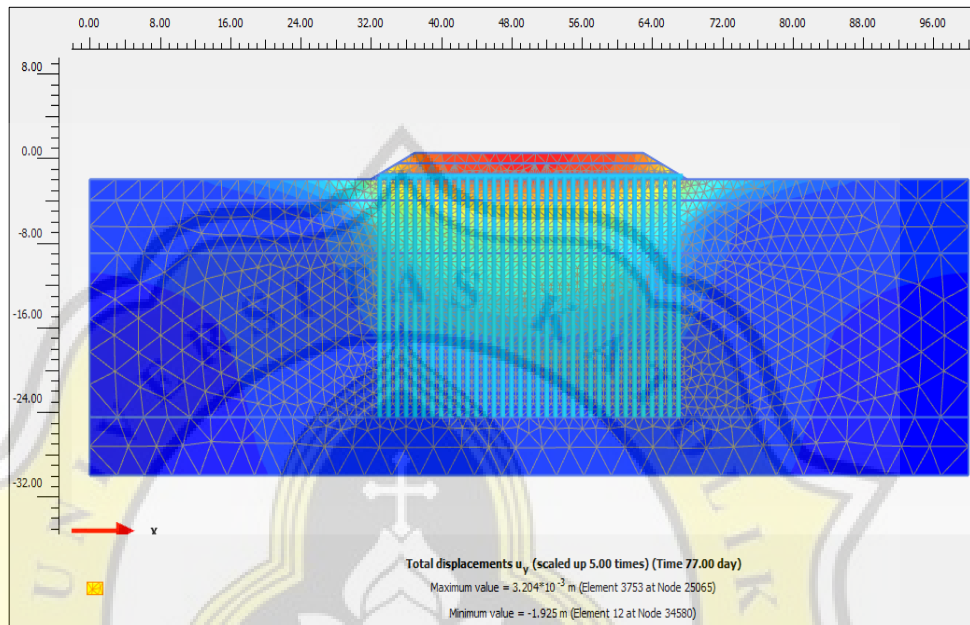
Gambar 4.70 Total *Displacement* Timbunan Tanah Pertama

- d. Penurunan konsolidasi timbunan pertama merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 70 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan pertama sebesar 1,780 m. Total penurunan konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.71.



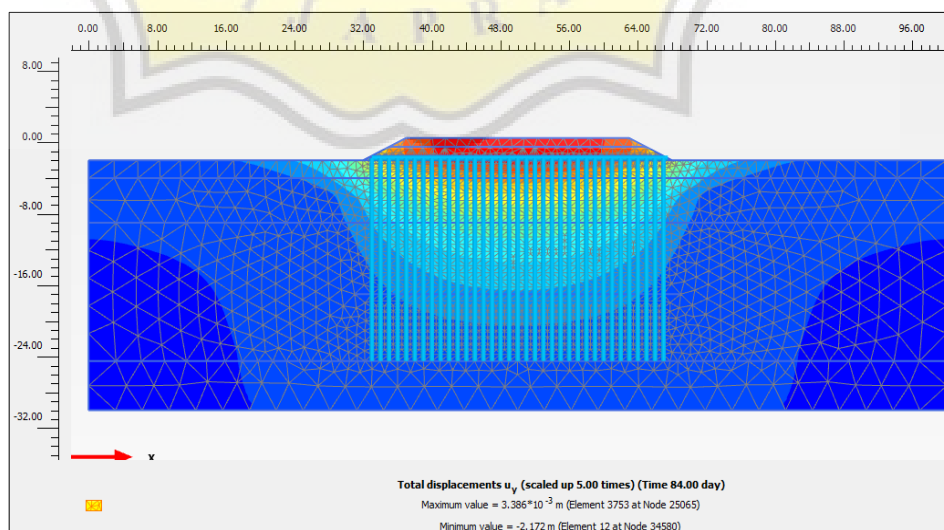
Gambar 4.71 Total *Displacement* Konsolidasi Timbunan Pertama

- e. Penurunan tanah dari proses konstruksi timbunan kedua merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 77 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan pertama sebesar 1,925 m Total penurunan timbunan tanah kedua dapat dilihat pada Gambar 4.72.



Gambar 4.72 Total *Displacement* Timbunan Tanah Kedua

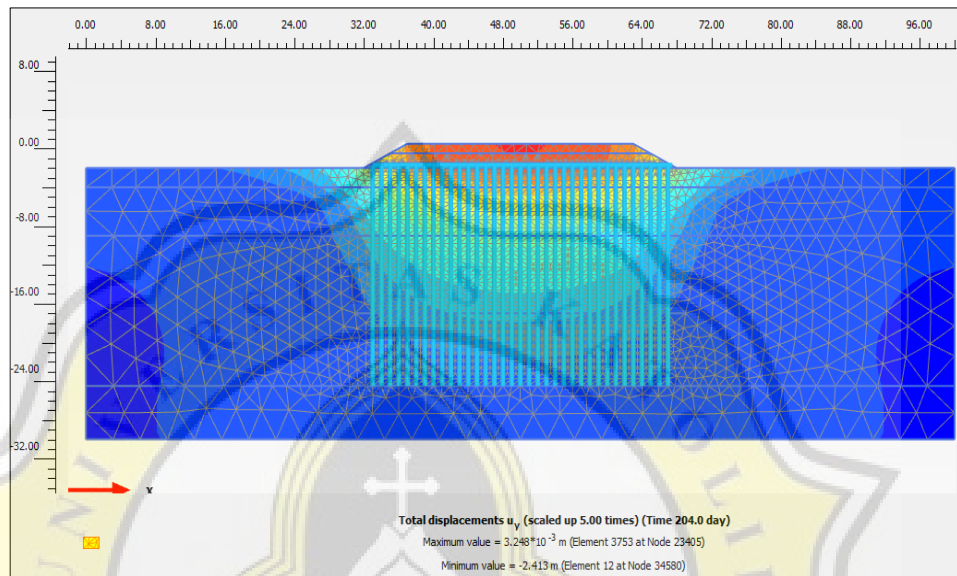
- f. Penurunan konsolidasi timbunan kedua merupakan penurunan dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 84 hari. Penurunan dari konsolidasi timbunan kedua sebesar 2,172 m. Total penurunan konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.73.



Gambar 4.73 Total *Displacement* Konsolidasi Timbunan Kedua

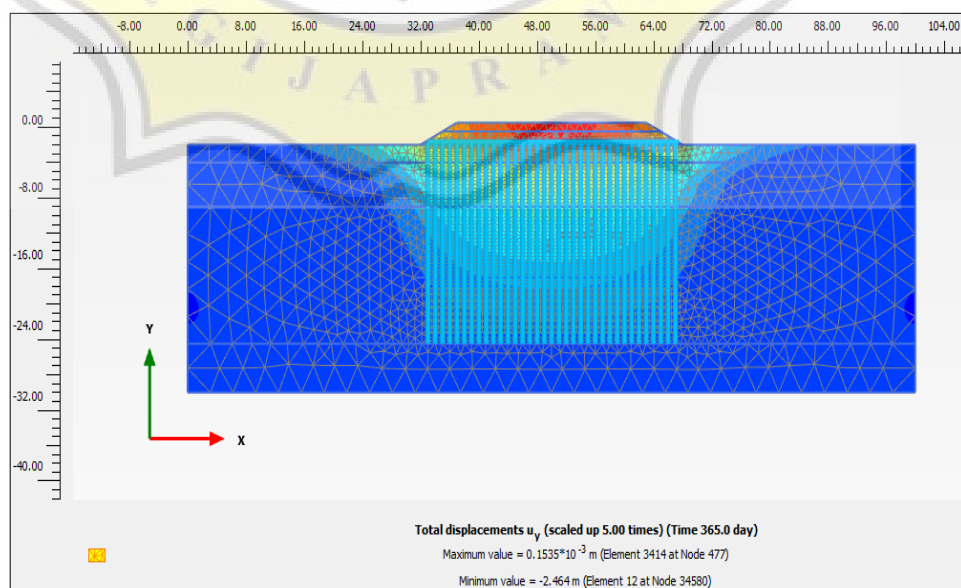


- d. Penurunan konsolidasi masa akhir konstruksi merupakan penurunan ketika waktu konsolidasi berada di akhir konstruksi dengan waktu 204 hari. Penurunan pada konsolidasi masa akhir konstruksi sebesar 2,413 m. Total penurunan pada masa akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.74.



Gambar 4.74 Total *Displacement* Konsolidasi Akhir Konstruksi

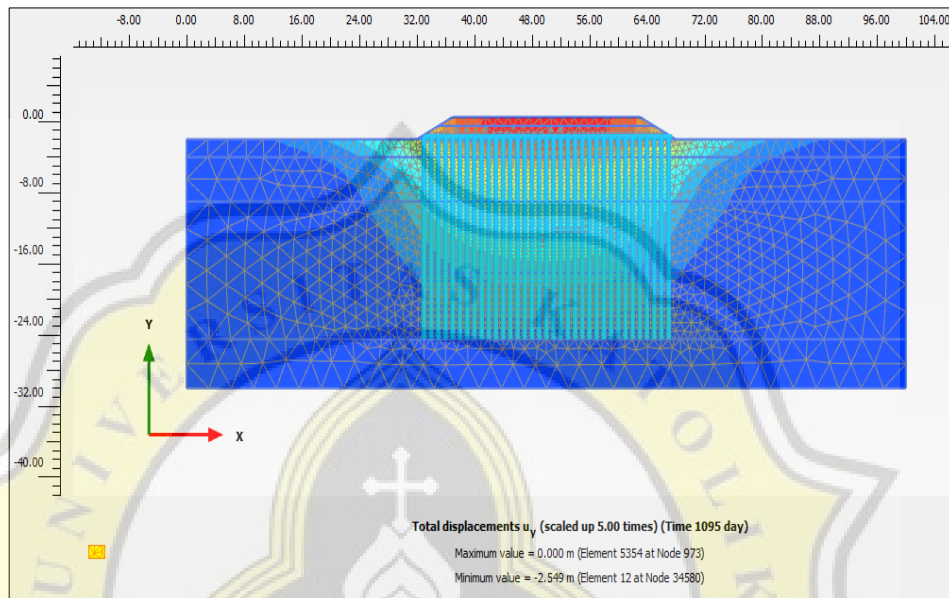
- e. Total *displacement* pada 1 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 1 tahun dari waktu konsolidasi akhir konstruksi dengan total waktu 365 hari. Penurunan pada 1 tahun konsolidasi sebesar 2,464 m. Total penurunan pada 1 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.75.



Gambar 4.75 Total *Displacement* Konsolidasi 1 Tahun

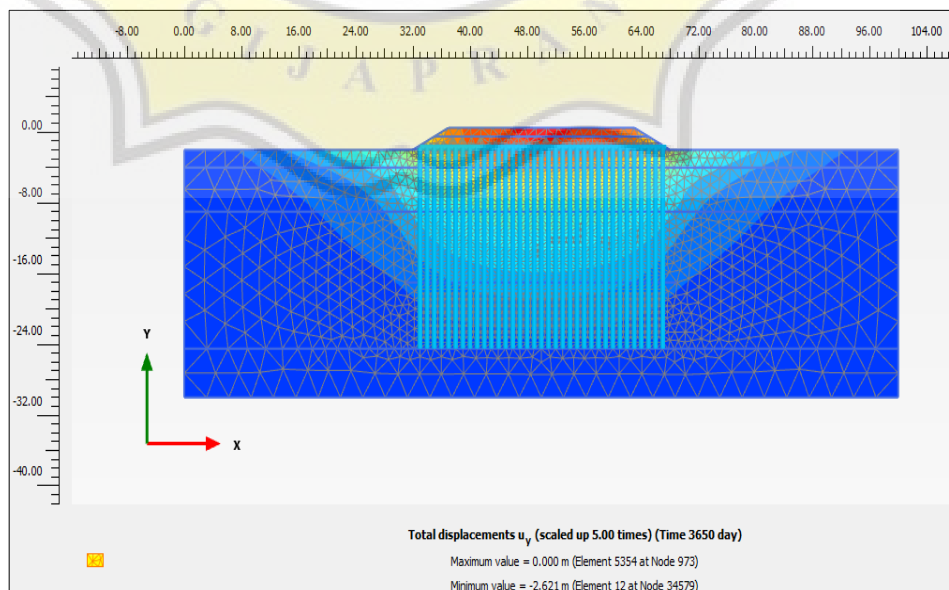


- f. Total *displacement* pada 4 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 3 tahun dari waktu konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 1095 hari. Penurunan pada 3 tahun konsolidasi sebesar 2,549 m. Total penurunan pada 3 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.76.



Gambar 4.76 Total *Displacement* Konsolidasi 3 Tahun

- g. Total *displacement* pada 10 tahun konsolidasi merupakan penurunan ketika 10 tahun dari waktu konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 3650 hari. Penurunan pada 10 tahun konsolidasi sebesar 2,621 m. Total penurunan pada 10 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.77.

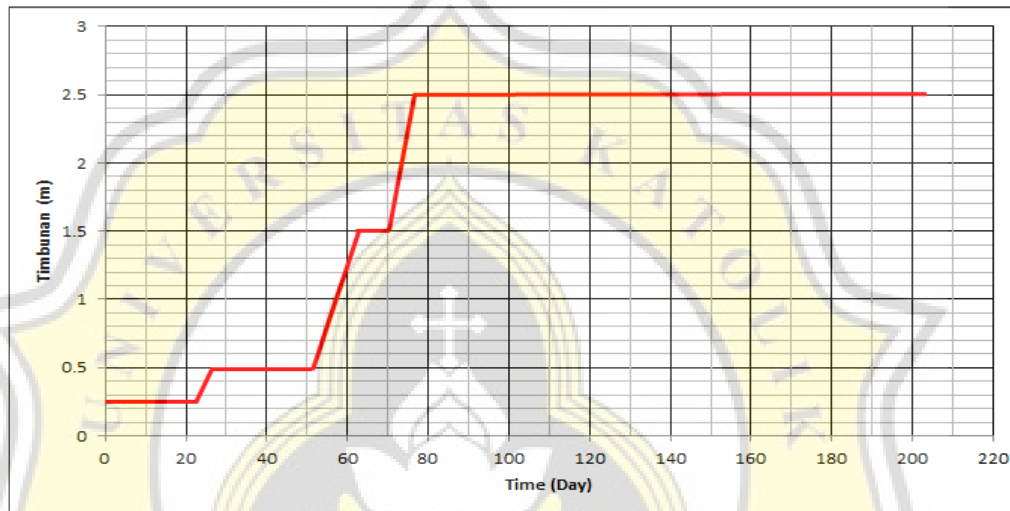


Gambar 4.77 Total *Displacement* Konsolidasi 10 Tahun

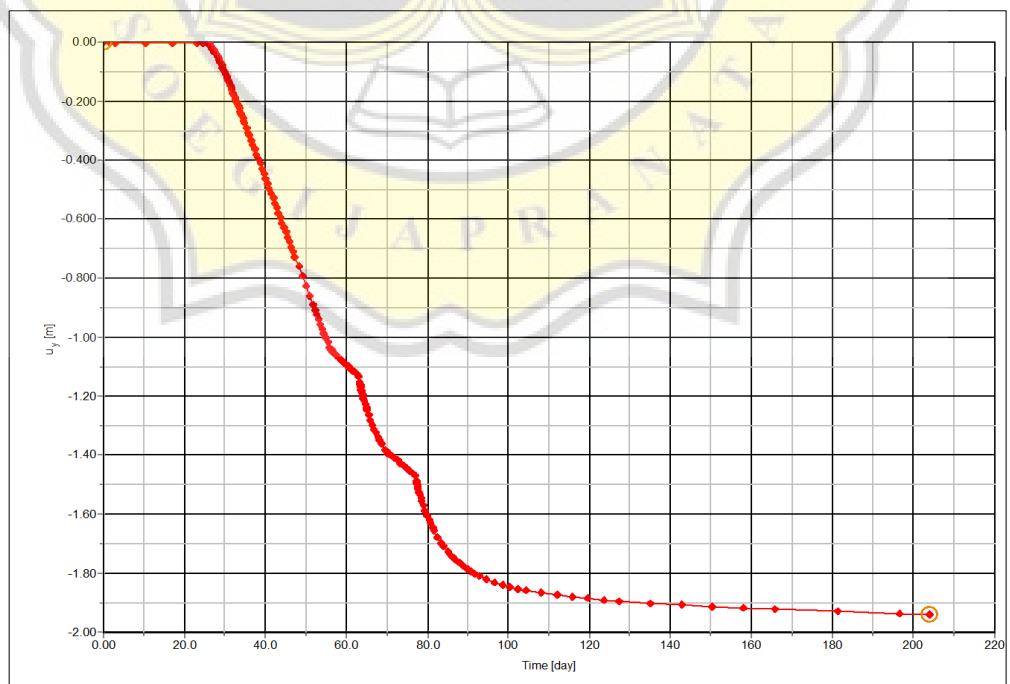


2. Grafik total *displacement* vs *time* point (52, -4)

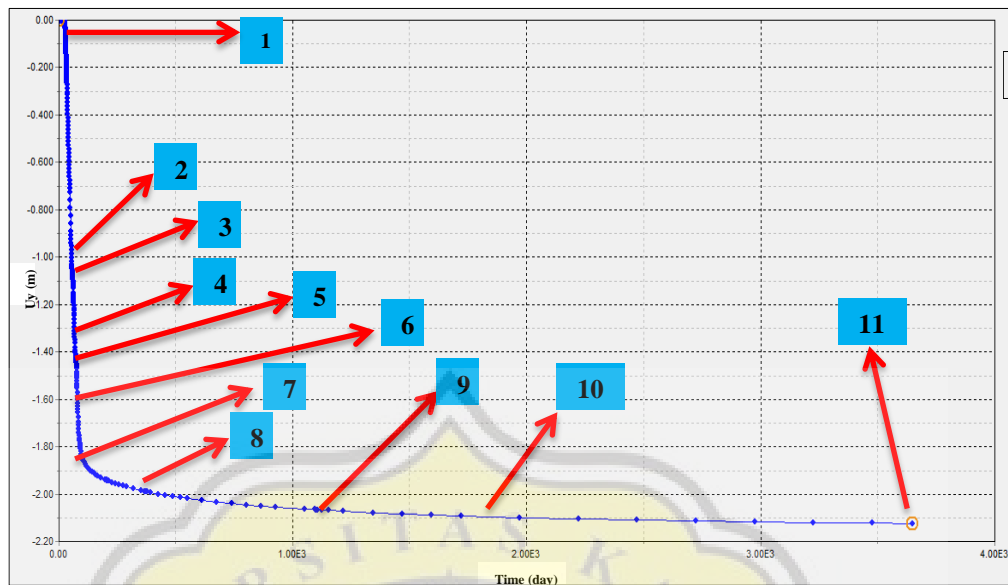
Dalam mengecek grafik penurunan dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam software. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.59. *Back fill on top of membrane* vs *time* dapat dilihat pada Gambar 4.78, Grafik penurunan vs waktu Akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.79. Grafik penurunan vs waktu sampai konsolidasi 10 tahun dapat dilihat pada Gambar 4.80.



Gambar 4.78 Grafik *Back Fill On Top Of Membrane* vs *Time*



Gambar 4.79 Grafik Penurunan vs *Time* Akhir Konstruksi



Gambar 4.80 Grafik Penurunan vs *Time* Konsolidasi 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.80 anak panah 1 merupakan penurunan timbunan akhir *platform*. Anak panah 2 merupakan penurunan ketika vakum diaktifkan. Anak panah ke 3 merupakan penurunan dari timbunan tanah pertama. Anak panah 4 merupakan penurunan konsolidasi dari timbunan tanah pertama. Anak panah ke 5 merupakan penurunan dari timbunan tanah kedua. Anak panah 6 merupakan penurunan konsolidasi dari timbunan tanah kedua. Anak panah 7 merupakan masa akhir konstruksi. Anak panah 8 merupakan konsolidasi 1 tahun. Anak panah 9 merupakan penurunan konsolidasi 3 tahun. Anak panah 10 merupakan penurunan konsolidasi 5 tahun. Anak panah ke 11 merupakan penurunan konsolidasi 10 tahun. Besarnya penurunan dari masing-masing konsolidasi dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Penurunan Tiap Konsolidasi Metode *Vacuum*

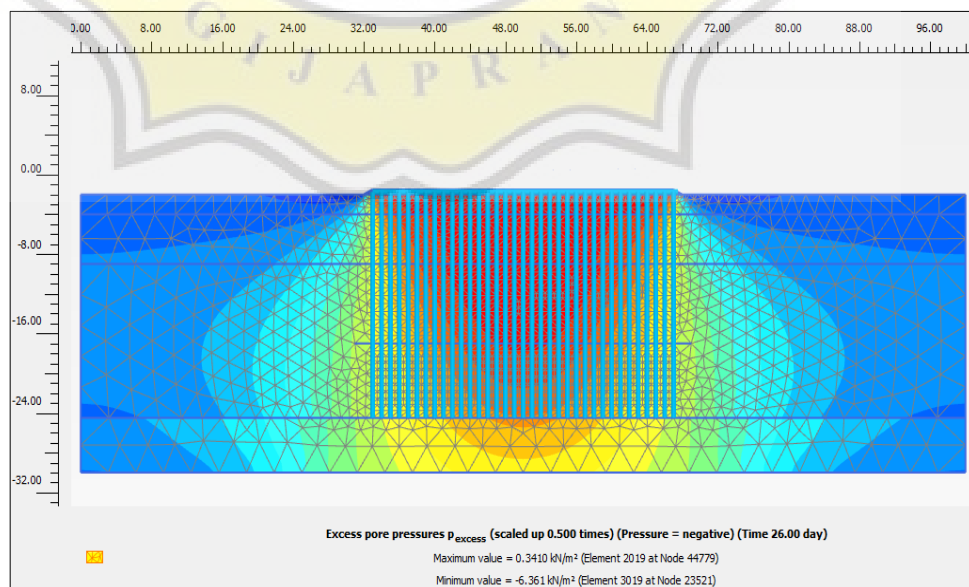
No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Penurunan (m)	Selisih Penurunan (m)
1.	Timbunan pasir akhir <i>platform</i>	26	0,004	0,004
2.	Vakum Aktif	56	1,042	1,038
3.	Timbunan tanah 1m	63	1,131	0,089
4.	Konsolidasi timbunan 1m	70	1,395	0,264
5.	Timbunan tanah 2m	77	1,487	0,092
6.	Konsolidasi timbunan tanah 2m	84	1,709	0,222
7.	Akhir konstruksi (masa tunggu)	204	1,938	0,229
8.	Konsolidasi 1 tahun	365	1,989	0,051
9.	Konsolidasi 3 tahun	1095	2,066	0,077
10.	Konsolidasi 5 tahun	1825	2,099	0,033
11.	Konsolidasi 10 tahun	3650	2,124	0,025

Berdasarkan tabel 4.10 dapat dijelaskan ketika masa konstruksi timbunan *platform* awal sampai timbunan *platform* akhir penurunan pada tanah relatif kecil. Ketika tahapan vakum diaktifkan penurunan tanah langsung meningkat drastis karena air di dalam tanah lebih maksimal dikeluarkan. Selisih penurunan dari tabel 4.10 relatif naik turun karena masa konstruksi timbunan tanah dan konsolidasi timbunan tanah. Hasil selisih penurunan dari tabel 4.10 menunjukkan bahwa untuk jangka panjang penurunan tanah sangat kecil. Penurunan tanah dalam jangka waktu panjang dapat kecil dikarenakan nilai *excess pore pressure* yang dijabarkan sebelumnya yaitu 0 kN/m^2 , yang artinya kondisi tanah di bawah air yang cukup sedikit dan sudah maksimal dikeluarkan.

3. *Excess pore pressure*

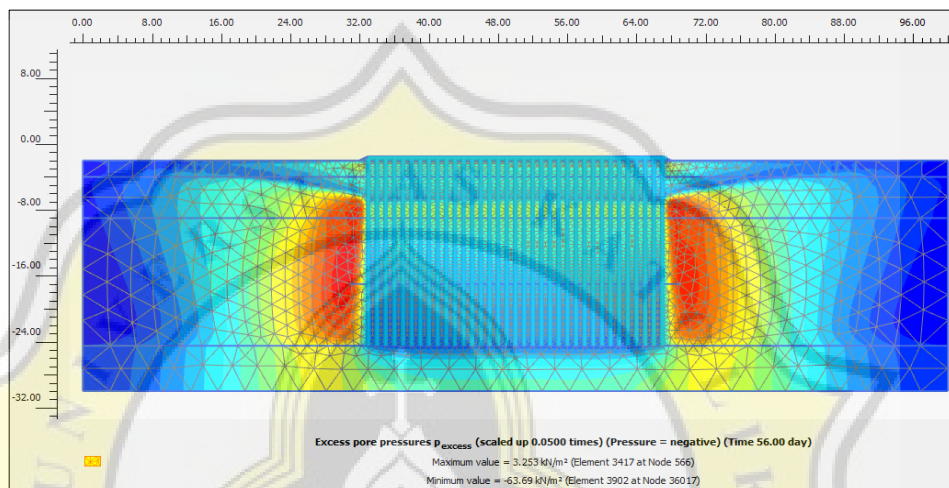
Hasil analisis *excess pore pressure* tiap fase konstruksi di dalam pemodelan PLAXIS dijelaskan sebagai berikut:

- a. *Excess pore pressure* akhir timbunan pasir *platform* merupakan *excess pore pressure* dari proses konstruksi setelah timbunan pasir pertama *platform* dan pemasangan PVD dan PHD dengan total waktu 26 hari. *Excess pore pressure* pada akhir timbunan *platform* minimum sebesar $-6,361 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,3410 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* akhir timbunan pasir *platform* dapat dilihat pada Gambar 4.81.



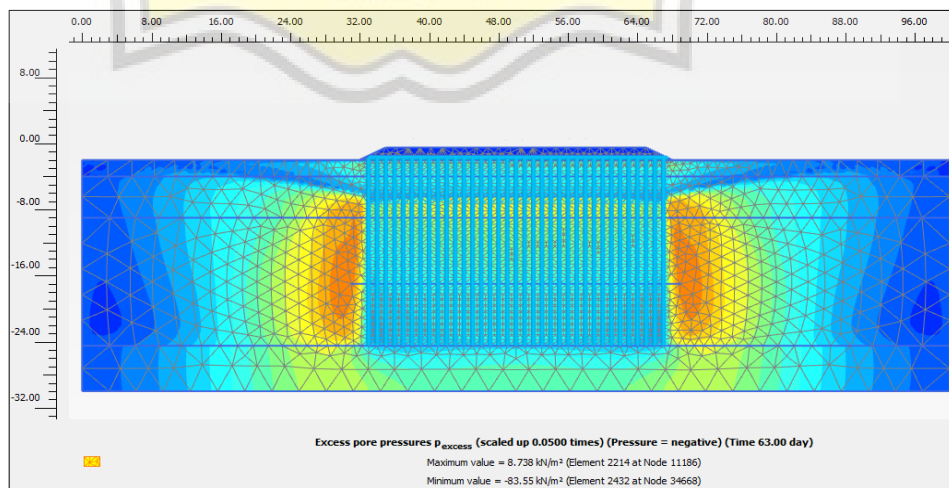
Gambar 4.81 *Excess Pore Pressure* Timbunan Pasir Akhir *Platform*

- b. *Excess pore pressure* ketika vakum diaktifkan merupakan *excess pore pressure* dari proses konstruksi setelah timbunan pasir *platform* 0,5 m, pemasangan PVD dan PHD dengan total waktu 56 hari. *Excess pore pressure* tanah ketika vakum diaktifkan minimum sebesar $-63,69 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $3,253 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* ketika vakum diaktifkan dapat dilihat pada Gambar 4.82.



Gambar 4.82 *Excess Pore Pressure Vacuum Aktif*

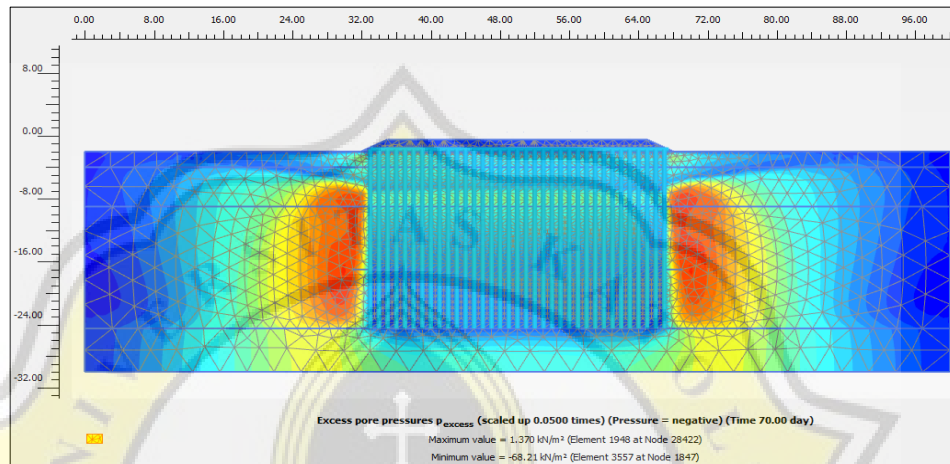
- c. *Excess pore pressure* tanah dari proses konstruksi timbunan pertama merupakan *excess pore pressure* dari fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 63 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan pertama minimum sebesar $-83,55 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $8,738 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan tanah pertama dapat dilihat pada Gambar 4.83.



Gambar 4.83 *Excess Pore Pressure Vacuum Timbunan Tanah Pertama*

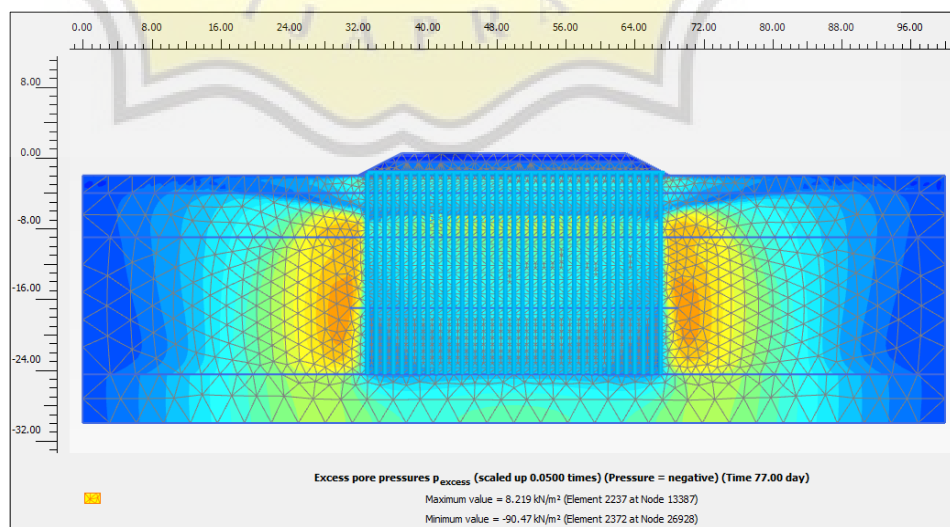


- d. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan pertama merupakan *excess pore pressure* dari fase konstruksi timbunan pertama dengan waktu 70 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan pertama minimum sebesar $-68,21 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $1,370 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.84.



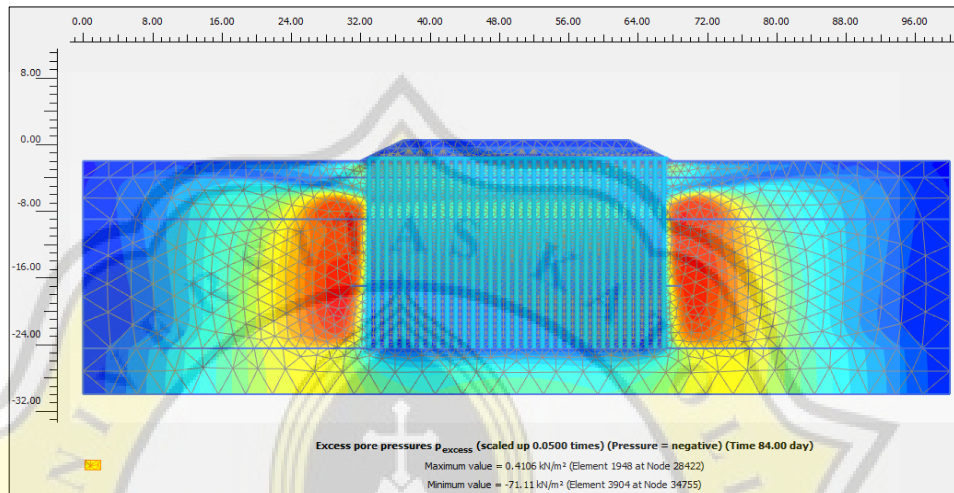
Gambar 4.84 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Timbunan Pertama

- e. *Excess pore pressure* tanah dari proses konstruksi timbunan kedua merupakan *excess pore pressure* dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 77 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan pertama minimum sebesar $-90,47 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $8,219 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* timbunan tanah kedua dapat dilihat pada Gambar 4.85.



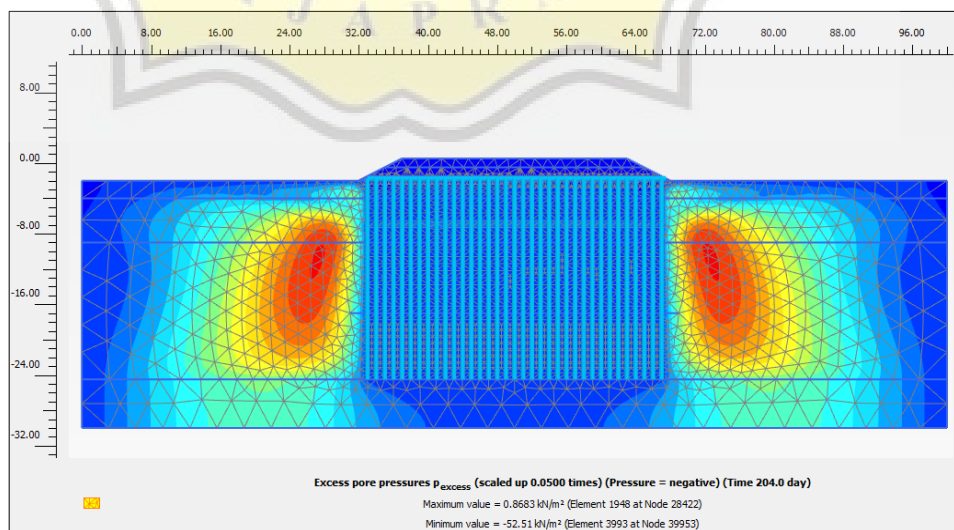
Gambar 4.85 *Excess Pore Pressure* Timbunan Tanah Kedua

- f. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan kedua merupakan *excess pore pressure* dari fase konstruksi timbunan kedua dengan waktu 84 hari. *Excess pore pressure* dari konsolidasi timbunan kedua minimum sebesar $-71,11 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,4106 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* konsolidasi timbunan pertama dapat dilihat pada Gambar 4.86.



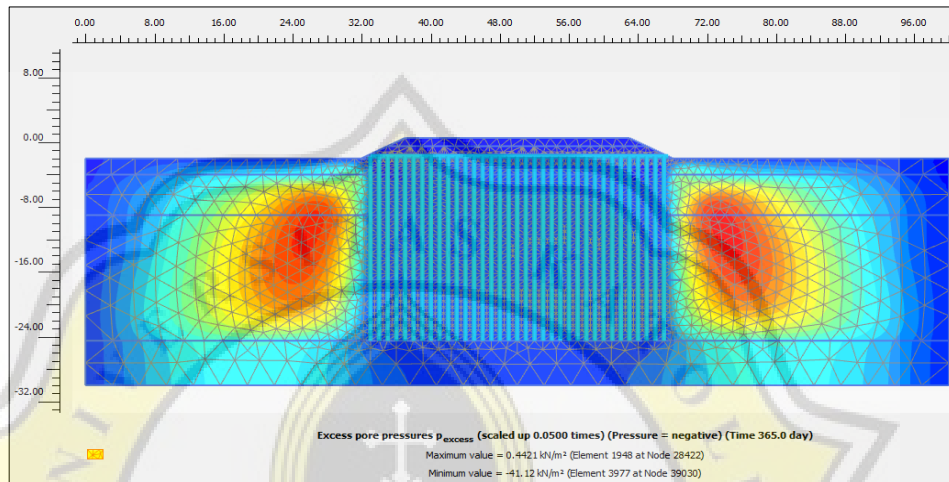
Gambar 4.86 *Excess Pore Pressure* Timbunan Kedua

- h. *Excess pore pressure* konsolidasi masa akhir konstruksi merupakan *excess pore pressure* ketika waktu konsolidasi berada di akhir konstruksi dengan waktu 204 hari. *Excess pore pressure* pada konsolidasi masa akhir konstruksi minimum sebesar $-52,51 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,8683 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* pada masa akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.87.



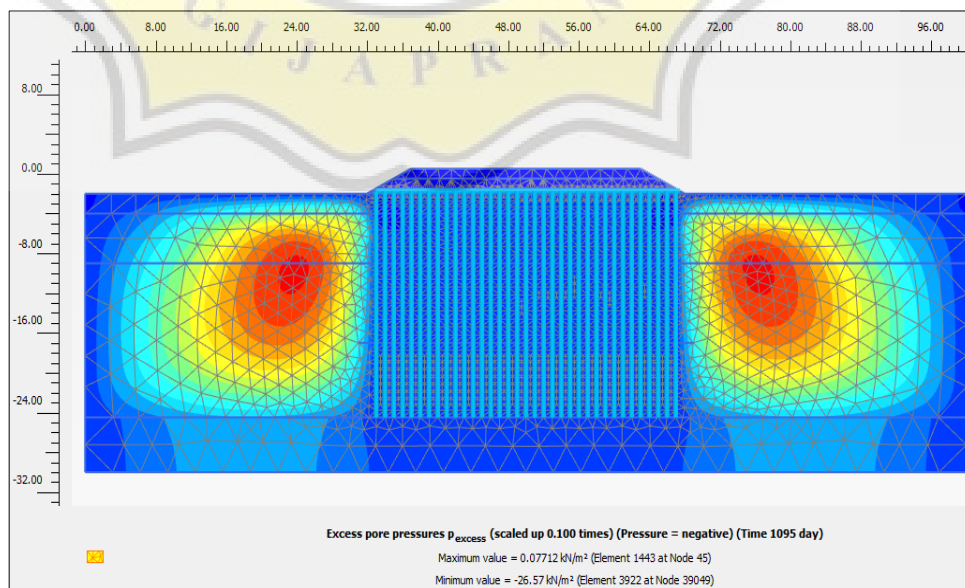
Gambar 4.87 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi Akhir Konstruksi

- i. *Excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 1 tahun dari waktu konsolidasi akhir konstruksi dengan total waktu 365 hari. *Excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi minimum sebesar $-41,12 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,4421 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* pada 1 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.88.



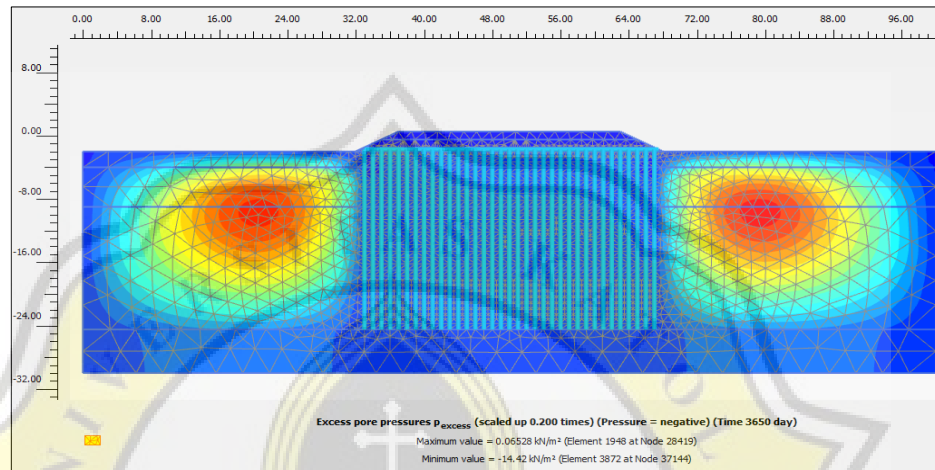
Gambar 4.88 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 1 Tahun

- j. *Excess pore pressure* pada 4 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 3 tahun dari waktu konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 1095 hari. *Excess pore pressure* pada 3 tahun konsolidasi minimum sebesar $-26,57 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,07712 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* pada 3 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.89.



Gambar 4.89 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 3 Tahun

- k. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi merupakan *excess pore pressure* ketika 10 tahun dari waktu konsolidasi 3 tahun dengan total waktu 3650 hari. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi minimum sebesar $-14,42 \text{ kN/m}^2$ dan maksimum $0,06528 \text{ kN/m}^2$. *Excess pore pressure* pada 10 tahun konsolidasi dapat dilihat pada Gambar 4.90.

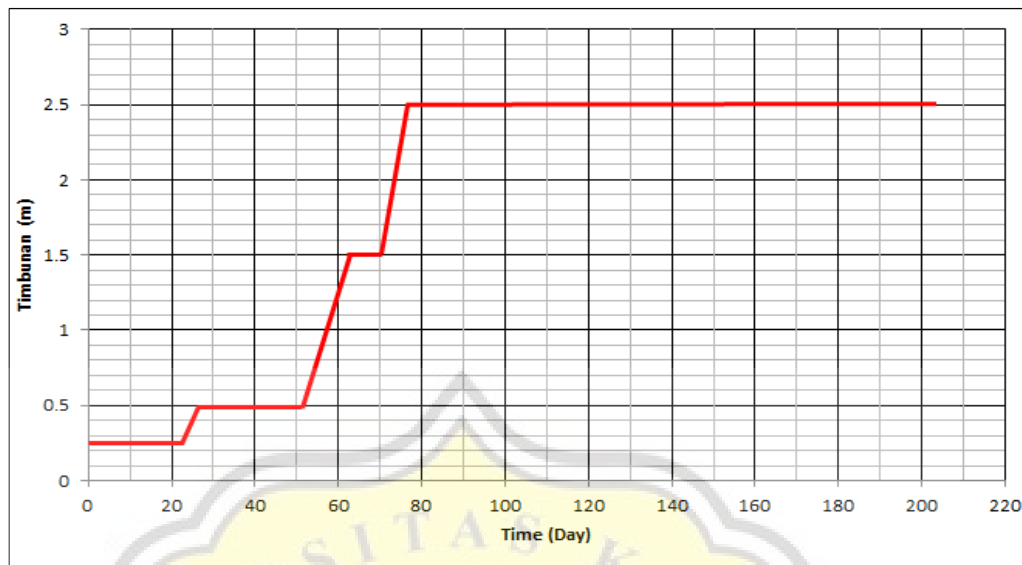


Gambar 4.90 *Excess Pore Pressure* Konsolidasi 10 Tahun

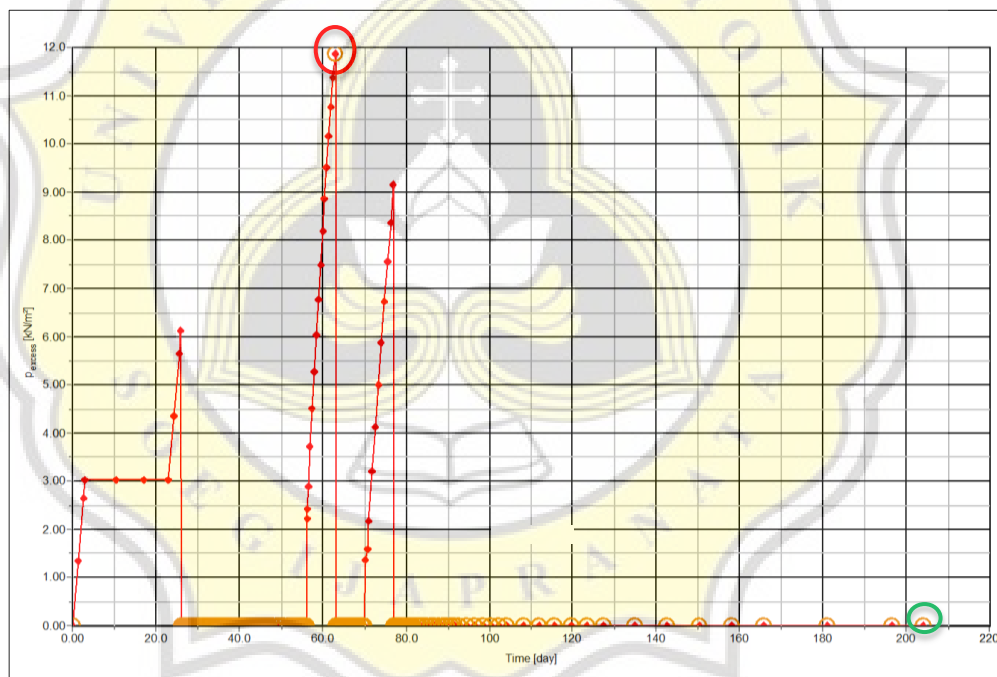
Berdasarkan hasil *excess pore pressure* yang sudah dijabarkan dapat dijelaskan bahwa pada fase timbunan akhir *platform* tekanan air pori yang besar berkumpul dibawah tengah timbunan tanah sesuai gambar 4.78. Ketika vakum aktif maka tekanan air pori di bawah timbunan berkurang dan pusat tekanan air pori berubah di luar pemasangan PVD sesuai pada gambar 4.79. Selama fase pekerjaan konstruksi timbunan tanah nilai tekanan air pori naik turun sesuai pada gambar 4.80 sampai gambar 4.83. Nilai tekanan air pori akan terus menurun dari masa akhir konstruksi sampai waktu 10 tahun dan pusat tekanan air pori berubah di luar pemasangan PVD sesuai gambar 4.87.

4. Grafik *excess pore pressure vs time point* (52, -4)

Dalam mengecek grafik tekanan air pori dipilih salah satu titik dalam pemodelan di dalam *software*. Titik yang digunakan yaitu titik (52, -4), lokasi titik tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.59. Gambar grafik *back fill on top of membrane vs time* dapat dilihat pada Gambar 4.91. Dari gambar 4.59 diperoleh grafik nilai *excess pore pressure vs time* akhir konstruksi dapat dilihat pada Gambar 4.92. grafik nilai *excess pore pressure vs time* konsolidasi 10 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 4.93.



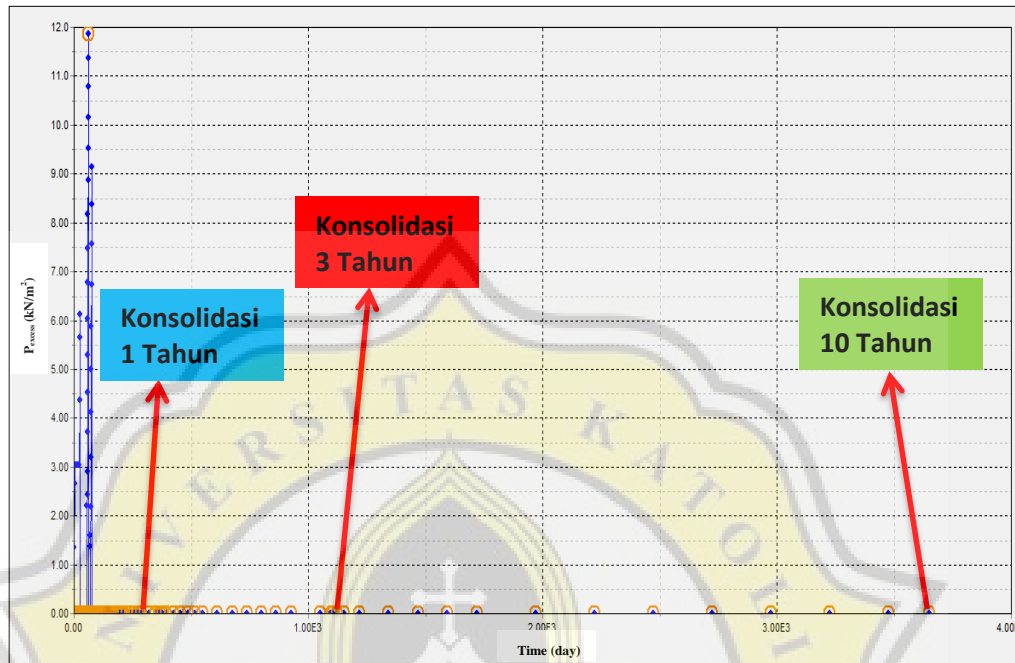
Gambar 4.91 Grafik *Back Fill On Top Of Membrane vs Time*



Gambar 4.92 Grafik *Excess Pore Pressure* Akhir Konstruksi

Grafik di atas merupakan hasil analisis *excess pore pressure* sampai waktu akhir konstruksi dengan total 205 hari. Berdasarkan grafik 4.54 diatas nilai *excess pore pressure* sampai masa konstruksi berlangsung hasil terbesar yaitu pada fase timbunan ke 1 dengan nilai 11,873, maka untuk konsolidasi 90 % = $11,873 \times 0,1 = 1,1873 \text{ kN/m}^2$. Untuk nilai *excess pore pressure* masa akhir konstruksi sebesar $0 \text{ kN/m}^2 < 1,1873 \text{ kN/m}^2$, maka konsolidasi 90% dapat

tercapai. Kemudian dilakukan pengecekan grafik lagi sampai masa waktu 10 tahun yang dapat dilihat pada Gambar 4.91.



Gambar 4.93 Grafik *Excess Pore Pressure* 10 Tahun

Berdasarkan Gambar 4.93 nilai *excess pore pressure* pada konsolidasi 1 tahun dengan total waktu 365 hari sebesar 0 kN/m^2 , konsolidasi 3 tahun dengan total hari 1095 hari sebesar 0 kN/m^2 dan konsolidasi 10 tahun dengan total waktu 3650 hari sebesar 0 kN/m^2 . Dengan hasil yang sudah dijabarkan menunjukkan bahwa nilai *excess pore pressure* 0 yang menunjukkan bahwa air di dalam tanah dapat dikeluarkan maksimal. Air di dalam tanah dapat dikeluarkan secara maksimal akan memberi dampak pada penurunan tanah yang cenderung relatif kecil dari masa akhir konstruksi.

5. *Safety Factor*

Berdasarkan SNI 8460:2017 tentang persyaratan perancangan geoteknik menjelaskan angka keamanan stabilitas tanah untuk konstruksi minimum 1,5. Hasil dengan PVD *safety factor* pada masa akhir konstruksi sebesar 3,55, *safety factor* 1 tahun masa konsolidasi sebesar 3,955, *safety factor* 3 tahun masa konsolidasi sebesar 3,977 dan *safety factor* 10 tahun masa konsolidasi sebesar 4,009. Dari hasil yang sudah dijabarkan, *safety factor* memenuhi persyaratan SNI 8460:2017.



4.5 Rekapitulasi Hasil Analisis

Menurut Mintorogo dan Sedarmayanti (1992) menjelaskan rekapitulasi adalah suatu kegiatan meringkas hasil suatu analisis atau data sehingga menjadi susunan yang lebih baik. Manfaat rekapitulasi hasil analisis untuk memudahkan pembaca atau penulis menyimpulkan hasil analisis. Penulis dalam skripsi ini melakukan rekapitulasi hasil analisis menjadi beberapa tabel yang dijelaskan sebagai berikut:

1. Total *displacement*

Rekapitulasi hasil pemodelan total *displacement* dapat dilihat pada Tabel 4.11 untuk pemodelan PVD dengan *preloading* dan Tabel 4.12 untuk pemodelan PVD dengan *vacuum*.

Tabel 4.11 Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Metode PVD Kombinasi *Preloading*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Penurunan (m)	Selisih Penurunan (m)
1.	Konsolidasi timbunan 1 m	34	0,245	0,245
2.	Konsolidasi timbunan 2 m	48	0,589	0,344
3.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 1 m	62	1,020	0,431
4.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 2 m	78	1,534	0,514
5.	Akhir Konstruksi	198	1,824	0,290
5.	Konsolidasi 1 tahun	383	1,993	0,169
6.	Konsolidasi 3 tahun	1113	2,055	0,062
7.	Konsolidasi 5 tahun	1843	2,083	0,028
8.	Konsolidasi 10 tahun	3668	2,115	0,032

Tabel 4.12 Rekapitulasi Penurunan Konsolidasi Metode PVD Kombinasi *Vacuum*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Penurunan (m)	Selisih Penurunan (m)
1.	Timbunan pasir akhir <i>platform</i>	26	0,004	0,004
2.	Vakum Aktif	56	1,042	1,038
3.	Timbunan tanah 1m	63	1,131	0,089
4.	Konsolidasi timbunan 1m	70	1,395	0,264
5.	Timbunan tanah 2m	77	1,487	0,092
6.	Konsolidasi timbunan tanah 2m	84	1,709	0,222
7.	Akhir konstruksi (masa tunggu)	204	1,938	0,229
8.	Konsolidasi 1 tahun	365	1,989	0,051
9.	Konsolidasi 3 tahun	1095	2,066	0,077
10.	Konsolidasi 5 tahun	1825	2,099	0,033
11.	Konsolidasi 10 tahun	3650	2,124	0,025

Berdasarkan tabel di atas hasil total konsolidasi penurunan tanah dalam jangka waktu yang panjang sama-sama menunjukkan hasil yang kecil. Perbaikan tanah lunak menggunakan PVD kombinasi *vacuum* menunjukkan bahwa penurunan dalam jangka waktu yang panjang lebih kecil dari pada perbaikan menggunakan PVD kombinasi *preloading*.



2. *Excess pore pressure*

Rekapitulasi hasil pemodelan *excess pore pressure* dapat dilihat pada Tabel 4.13 untuk pemodelan PVD dengan *preloading* dan Tabel 4.14 untuk pemodelan PVD dengan *vacuum*.

Tabel 4.13 Rekapitulasi *Excess Pore Pressure* Metode PVD Kombinasi *Preloading*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Maksimum (kN/m ²)	Minimum (kN/m ²)
1.	Timbunan 1 m	27	0,000	-21,65
2.	Konsolidasi timbunan 1 m	34	2,952	-24,52
3.	Timbunan 2m	41	0,387	-38,03
4.	Konsolidasi timbunan 2 m	48	1,505	-37,90
5.	Timbunan <i>preloading</i> 1 m	55	0,8235	-53,40
6.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 1	62	0,82668	-48,31
7.	Timbunan <i>preloading</i> 2 m	69	8,442	-66,81
8.	Konsolidasi timbunan <i>preloading</i> 2m	78	0,6509	-48,05
9.	Masa akhir konstruksi	198	0,2763	-24,52
10.	Konsolidasi 1 tahun	383	0,1850	-17,64
11.	Konsolidasi 3 tahun	1113	0,06775	-9,523
12.	Konsolidasi 10 tahun	3668	0,01595	-3,168

Tabel 4.14 Rekapitulasi *Excess Pore Pressure* Metode PVD Kombinasi *Vacuum*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	Maksimum (kN/m ²)	Minimum (kN/m ²)
1.	Timbunan pasir akhir <i>platform</i>	26	0,3410	-6,361
2.	Vakum Aktif	56	3,253	-63,69
3.	Timbunan tanah 1m	63	8,738	-83,55
4.	Konsolidasi timbunan 1m	70	1,370	-68,21
5.	Timbunan tanah 2m	77	8,219	-90,47
6.	Konsolidasi timbunan tanah 2m	84	0,4106	-71,11
7.	Akhir konstruksi (masa tunggu)	204	0,8683	-52,51
8.	Konsolidasi 1 tahun	365	0,4421	-41,12
9.	Konsolidasi 3 tahun	1095	0,07712	-26,57
10.	Konsolidasi 10 tahun	3650	0,06528	-14,42

Berdasarkan Tabel 4.13 hasil *excess pore pressure* yang sudah dijabarkan dapat dijelaskan bahwa pada fase timbunan tanah pertama tekanan air pori yang besar berkumpul dibawah tengah timbunan tanah sesuai gambar 4.46. Kemudian dilakukan konsolidasi untuk timbunan tanah pertama, maka tekanan air pori dibawah timbunan berkurang dapat dilihat pada gambar 4.47. Fase selanjutnya timbunan tanah ke dua. Selama dalam fase ini tekanan air pori naik lagi, kemudian tekanan air pori menurun lagi sesuai gambar 4.48 dan gambar 4.49. Nilai tekanan air pori selanjutnya seperti itu sampai tekan air pori kecil dan pusat tekanan air pori berubah di luar pemasangan PVD sesuai gambar 4.56.



Berdasarkan Tabel 4.14 hasil *excess pore pressure* yang sudah dijabarkan dapat dijelaskan bahwa pada fase timbunan akhir *platform* tekanan air pori yang besar berkumpul di bawah tengah timbunan tanah sesuai gambar 4.78. Ketika vakum aktif maka tekanan air pori di bawah timbunan berkurang dan pusat tekanan air pori berubah di luar pemasangan PVD sesuai pada gambar 4.79. Selama fase pekerjaan konstruksi timbunan tanah nilai tekanan air pori naik turun sesuai pada gambar 4.80 sampai gambar 4.83. Nilai tekanan air pori akan terus menurun dari masa akhir konstruksi sampai waktu 10 tahun dan pusat tekanan air pori berubah di luar pemasangan PVD sesuai gambar 4.87.

3. *Safety factor*

Rekapitulasi hasil pemodelan *safety factor* dapat dilihat pada Tabel 4.15 untuk pemodelan PVD dengan *preloading* dan Tabel 4.16 untuk pemodelan PVD dengan *vacuum*.

Tabel 4.15 Rekapitulasi *Safety Factor* Metode PVD Kombinasi *Preloading*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	SF
1.	Akhir konstruksi	198	1,725
2.	Konsolidasi 1 tahun	383	1,904
3.	Konsolidasi 3 tahun	1113	1,907
4.	Konsolidasi 10 tahun	3668	1,901

Tabel 4.16 Rekapitulasi *Safety Factor* Metode PVD Kombinasi *Vacuum*

No	Tahap Pelaksanaan	Total Hari	SF
1.	Akhir konstruksi (masa tunggu)	204	3,55
2.	Konsolidasi 1 tahun	365	3,955
3.	Konsolidasi 3 tahun	1095	3,977
4.	Konsolidasi 10 tahun	3650	4,009

Berdasarkan tabel di atas *safety factor* pada akhir konstruksi semua kombinasi pemodelan memenuhi jangka pendek (*short period*) > 1,3. *Safety factor* dari 1 tahun, 3 tahun, dan 10 tahun setelah akhir konstruksi semua kombinasi pemodelan memenuhi jangka panjang (*long period*) > 1,5. Berdasarkan tabel yang sudah disajikan *safety factor* pemodelan PVD kombinasi *vacuum* lebih besar dari pemodelan PVD kombinasi *preloading*.