

## BAB IV

### ANALISA DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Pengumpulan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas data sekunder dan data primer. Data sekunder meliputi data geometri, hasil pengujian N-SPT di lapangan, serta data pengujian sifat fisis dan sifat mekanis tanah yang diperoleh melalui penelitian.

Pelaksanaan uji *borelog* dilakukan di lapangan pada satu titik lokasi, sedangkan pengujian sifat fisis dan mekanis tanah dilakukan di laboratorium. Sedangkan untuk data primer meliputi data hasil pengujian konsolidasi yang dilakukan di laboratorium.

##### 4.1.1 Data Primer

###### 4.1.1.1 Pengolahan Data Konsolidasi (*Oedometer*)

Data primer pada penelitian ini diperoleh dari hasil pengujian konsolidasi tanah lunak menggunakan alat *Oedometer* di laboratorium mekanika tanah. Pengujian dilakukan pada tanah asli serta tanah yang telah distabilisasi menggunakan variasi penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* dengan variasi kadar material seperti **Tabel 4.1**.

**Tabel 4. 1** Variasi Material Stabilisasi

Variasi	Keterangan
TA	Tanah Asli
TA+FA 15%	Tanah Asli + Fly Ash 15%
TA+FA 15%+BC 25%	Tanah Asli + Fly Ash 15% + Bamboo Chips 25%
TA+FA 15%+BC 30%	Tanah Asli + Fly Ash 15% + Bamboo Chips 30%
TA+FA 15%+BC 35%	Tanah Asli + Fly Ash 15% + Bamboo Chips 35%

(Sumber: Data Pribadi Penulis,2026)

Hasil pengujian ini digunakan untuk memperoleh parameter konsolidasi tanah seperti nilai  $C_v$ ,  $C_c$ ,  $C_s$ ,  $e_0$ ,  $S_c$  dan penurunan konsolidasi yang selanjutnya dimanfaatkan dalam analisis *Settlement* pada pemodelan PLAXIS 2D.

1. Hasil Pengujian Konsolidasi (*Oedometer*)

Dari Pengujian yang dilakukan di laboratorium, didapatkan hasil parameter konsolidasi untuk variasi tanah asli, flyash dan *Bamboo Chips*. Secara garis besar penambahan material yang digunakan memberikan pengaruh terhadap cepatnya konsolidasi, kompresibilitas, serta besarnya nilai penurunan tanah yang terjadi.

**Tabel 4.2** Parameter Hasil Pengujian Konsolidasi

Parameter Hasil Pengujian Konsolidasi					
Variasi	TA	TA+FA15 %	TA+FA15%+B C 25%	TA+FA15%+B C 30%	TA+FA15%+B C 35%
Cc	0,4015	0,3436	0,1441	0,2263	0,3002
Cs	0,0537	0,0245	0,0125	0,0250	0,0412
Sc (M)	0,0899	0,0630	0,0551	0,0403	0,0683
K (M/Hari)	1,04e-05	3,91e-06	3,78e-06	3,01e-06	1,48e-06
Cv	6,20E-04	6,43E-04	9,07E-04	2,56E-04	1,52E-04
E0	1,6887	1,6269	0,8875	0,6903	0,8539

(Sumber: Hasil Pengujian Konsolidasi,2026)

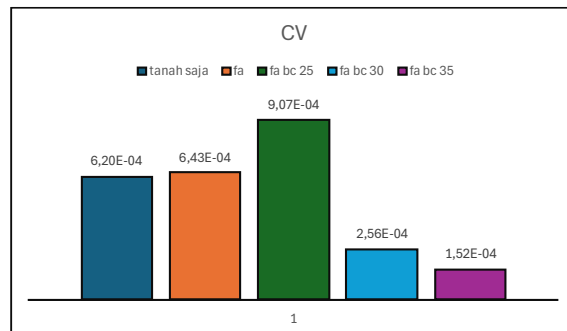


**Gambar 4.1** Alat *Oedometer* untuk Pengujian Konsolidasi  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 2. Coefficient of Consolidation (Cv)

Nilai Cv merupakan kecepatan konsolidasi tanah. Nilai Cv didapatkan dengan mengolah grafik  $\sqrt{t}90$  tiap pembebanan dengan rumus seperti **Persamaan 2.16**.

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, nilai Cv mengalami peningkatan pada variasi FA 15% dan FA + BC 25% , namun terjadi penurunan pada variasi FA + BC 30% dan variasi FA + BC 35%.

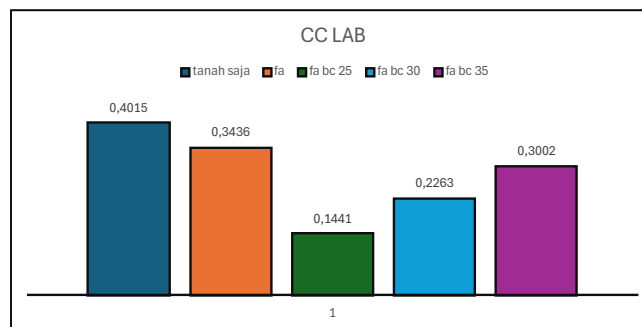


**Gambar 4.2** Grafik Hubungan Nilai Cv Terhadap Variasi Material  
(Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

## 3. Compression Indeks (Cc)

Grafik dibawah menunjukkan bahwa nilai *Compression Index* (Cc) tanah lunak mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*. Nilai Cc tanah asli sebesar 0,4015 menurun menjadi 0,3436 pada variasi *Fly Ash*, dan nilai terendah terjadi pada variasi *Bamboo Chips* 25% + *Fly Ash* 15% sebesar 0,1441.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi mampu mengurangi kompresibilitas tanah lunak sehingga tanah menjadi lebih stabil terhadap pembebanan.

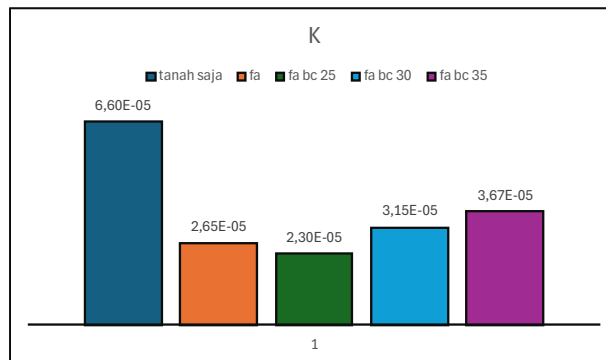


**Gambar 4.3** Grafik Hubungan Nilai Cc Terhadap Variasi Material  
(Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

#### 4. Analisis Permeabilitas ( $k$ )

Grafik menunjukkan bahwa nilai koefisien permeabilitas ( $k$ ) cenderung mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* pada tanah lunak. Tanah asli memiliki nilai permeabilitas tertinggi sebesar  $6,60 \times 10^{-5}$ , sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi *Bamboo Chips* 25% + *Fly Ash* 15% sebesar  $2,30 \times 10^{-5}$ . Namun, pada variasi *Bamboo Chips* 30% dan 35% nilai permeabilitas kembali mengalami peningkatan.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi dapat memperkecil aliran air dalam pori tanah, meskipun penambahan *Bamboo Chips* dalam jumlah lebih besar dapat menyebabkan struktur tanah menjadi kurang rapat sehingga nilai permeabilitas meningkat kembali (Sito Ismanti & Noriyuki Yasufuku, 2016).

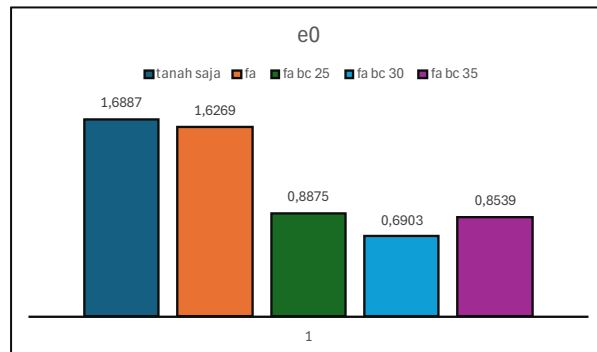


**Gambar 4.4** Grafik Hubungan Nilai  $k$  Terhadap Variasi Material (Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

#### 5. Analisis Initial Rasio ( $e_0$ )

Grafik menunjukkan bahwa nilai angka pori awal ( $e_0$ ) mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* pada tanah lunak. Tanah asli memiliki nilai  $e_0$  tertinggi sebesar 1,6887, sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi *Bamboo Chips* 30% + *Fly Ash* 15% sebesar 0,6903.

Penurunan nilai  $e_0$  menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi menyebabkan struktur tanah menjadi lebih padat dan rongga pori tanah berkurang (Syaiful Pradana & Rohmah, 2018).

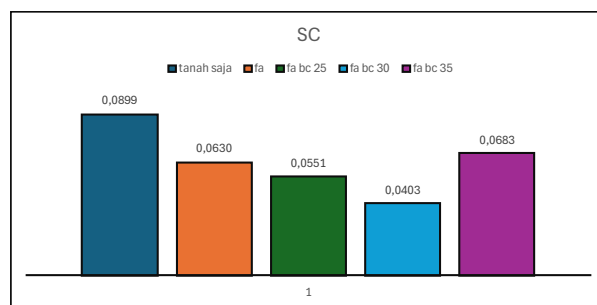


**Gambar 4.5** Grafik Hubungan Nilai e0 Terhadap Variasi Material (Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

#### 6. Analisis *Settlement* Konsolidasi (*Sc*)

Grafik menunjukkan bahwa nilai *Secondary Compression* (SC) cenderung mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* pada tanah lunak. Tanah asli memiliki nilai SC tertinggi sebesar 0,0899, sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi *Bamboo Chips* 30% + *Fly Ash* 15% sebesar 0,0403.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi mampu mengurangi potensi penurunan sekunder pada tanah lunak akibat pembebanan jangka panjang.

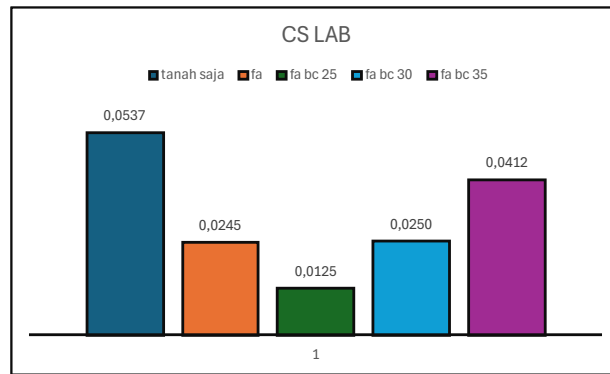


**Gambar 4.6** Grafik Hubungan Nilai Sc Terhadap Variasi Material (Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

#### 7. Analisis *Swelling Indeks* (*Cs*)

Grafik menunjukkan bahwa nilai *Compression Swell Index* (*Cs*) mengalami penurunan setelah dilakukan penambahan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* pada tanah lunak. Tanah asli memiliki nilai *Cs* tertinggi sebesar 0,0537, sedangkan nilai terendah terjadi pada variasi *Bamboo Chips* 25% + *Fly Ash* 15% sebesar 0,0125. Namun, pada variasi *Bamboo Chips* 30% dan 35% nilai *Cs* kembali meningkat menjadi 0,0250 dan 0,0412.

Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan stabilisasi mampu mengurangi potensi pengembangan tanah, meskipun penambahan *Bamboo Chips* yang terlalu besar dapat menurunkan efektivitas stabilisasi terhadap perilaku rekonsolidasi tanah (Wijaya, 2021).



**Gambar 4.7** Grafik Hubungan Nilai CS Terhadap Variasi Material (Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

#### 4.1.2 Data Sekunder

##### 4.1.2.1 Pengolahan Data Tanah Berdasarkan *Borelog*

Data hasil pengujian N-SPT di lapangan disajikan dalam bentuk grafik sebagaimana ditunjukkan pada **Gambar 3.6**. Pengujian dilakukan pada lokasi Proyek gedung FEB Universitas Pembangunan Nasional Jawa Timur dengan kedalaman 30 meter. Data yang diperoleh dari pengujian N-SPT meliputi informasi mengenai kedalaman lapisan tanah, nilai N-SPT, serta deskripsi karakteristik tanah pada setiap lapisan.

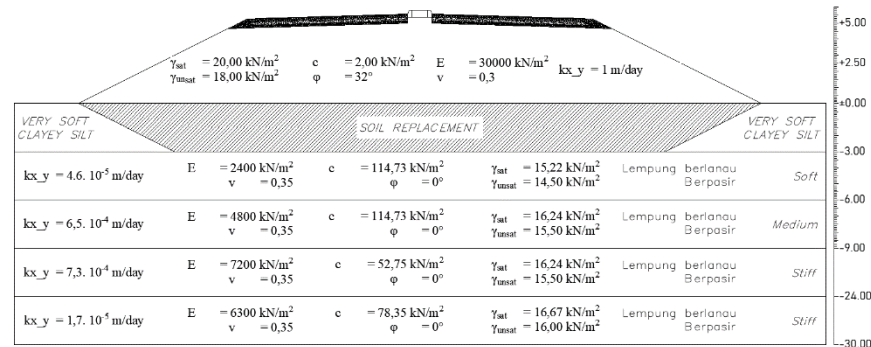
Berdasarkan hasil pengujian N-SPT, kondisi tanah teridentifikasi sebagai *Very Soft Clayey Silt* pada kedalaman 0-3 meter, berubah menjadi *Soft Sandy Clayey Silt* pada kedalaman 3-6 meter, kemudian menjadi *Medium Sandy Clayey Silt* pada kedalaman 6-9 meter, dan *Stiff Sandy Clayey Silt* pada kedalaman 9-30 meter yang merupakan batas akhir pengeboran.

**Tabel 4.3** Stratigrafi Tanah Pada Lokasi Tinjau

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)
Very Soft Clayey Silt	0 – 3
Soft Sandy Clayey Silt	3 – 6
Medium Sandy Clayey Silt	6 – 9
Stiff Sandy Clayey Silt	9 – 24

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)
Stiff Sandy Clayey Silt	24 – 30

(Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)



**Gambar 4. 8** Stratigrafi Tanah Pada Lokasi Tinjau

(Sumber: Hasil Analisis Pribadi, 2026)

Dalam proses penginputan data pada perangkat lunak Plaxis, diperlukan sejumlah parameter pada setiap lapisan tanah asli, antara lain berat isi ( $\gamma$ ), kohesi ( $c$ ), sudut geser dalam ( $\phi$ ), modulus elastisitas ( $E$ ), koefisien permeabilitas ( $k$ ), Poisson Rasio ( $v$ ), serta parameter lainnya. Beberapa parameter tersebut diperoleh melalui pendekatan persamaan korelasi untuk mendapatkan nilai yang representatif.

Hasil perhitungan keseluruhan parameter pada masing-masing lapisan tanah selanjutnya disajikan secara rinci pada Tabel. Adapun persamaan korelasi yang digunakan dalam proses rekapitulasi parameter tersebut ditampilkan pada **Tabel 4.3**.

#### 1. Nilai Berat Volume *saturated* ( $\gamma_{sat}$ )

Penentuan nilai berat volume *saturated* didapatkan dari pengujian berat isi. Berdasarkan data hasil uji laboratorium pada kedalaman 0-3 meter didapatkan nilai sebesar 19,19 kN/m<sup>3</sup>. Untuk kedalaman 3-30 dilakukan perhitungan korelasi nilai N-SPT terhadap jenis tanah.

#### 2. Nilai Kohesi ( $c$ )

Nilai kohesi tanah diperoleh melalui pengujian tekan bebas atau Unconfined Compression Test (UCT). Pada lapisan tanah dengan kedalaman 0-3 meter diperoleh nilai kohesi sebesar 14,765 kN/m<sup>2</sup>. Untuk lapisan tanah pada kedalaman 3-30 meter, parameter kohesi ditentukan

melalui pendekatan korelasi terhadap nilai N-SPT berdasarkan klasifikasi jenis tanah.

### 3. Nilai Sudut Geser Dalam ( $\phi$ )

Dalam Pengujian ini drainage tipe yang digunakan yaitu Undrained B sehingga tidak diperlukan nilai sudut geser dalam perhitungannya.

### 4. Nilai Modulus elastisitas (E)

Penentuan nilai modulus elastisitas tanah dilakukan berdasarkan hasil pengujian tekan bebas atau Unconfined Compression Test (UCT). Pada lapisan tanah dengan kedalaman 0-3 meter diperoleh nilai modulus elastisitas sebesar 670,86 kN/m<sup>2</sup>. Dan pada kedalaman 3-30 meter, nilai modulus elastisitas ditentukan melalui pendekatan korelasi terhadap data N-SPT .

### 5. Nilai Poisson Rasio ( $\nu$ )

Nilai Poisson Rasio didapatkan dari tabel korelasi, pada kedalaman 0-30 meter ditentukan dari hasil pengujian USCS tanah termasuk kedalam jenis tanah lanau yang memiliki nilai  $\nu$  antara 0,30-0,35 sesuai Tabel 2.8 sehingga yang digunakan paling tinggi yaitu 0,35.

### 6. Nilai Koefisien Permeabilitas (k)

Penentuan nilai koefisien permeabilitas tanah untuk kedalaman 0-3 didapatkan dari hasil pengujian konsolidasi dengan nilai sebesar 0,000066 m/hari, sedangkan untuk kedalaman 3-30 didapatkan dari tabel korelasi.

**Tabel 4.4** Rekapitulasi Parameter Tiap Lapisan Tanah

Lapisan Tanah	Kedalaman (m)	$\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Eref (kN/m <sup>2</sup> )	$\nu'$	su (cu,ref) (kN/m <sup>2</sup> )	$\phi$ (°)	$k_x, k_y$ (m/day)	e
Very Soft Clayey Silt	0 – 3	11,78000	19,18933	670,85930	0,35	14,76500	0	0,000010	0,706
Soft Sandy Clayey Silt	3 – 6	14,5	15,22	2400	0,35	114,737805	0	0,000046	1,533
Medium Sandy Clayey Silt	6 – 9	15,5	16,24	4800	0,35	114,737805	0	0,000657	2,764
Stiff Sandy Clayey Silt	9 – 24	15,5	16,24	7200	0,35	52,759777	0	0,000733	2,834
Stiff Sandy Clayey Silt	24 – 30	16	16,67	6300	0,35	78,3551335	0	0,000017	1,257

(Sumber: Data Sekunder Hasil Pengujian Properties Tanah, 2026)

#### 4.1.2.2 Pengolahan Data Properties Tanah

Data Sekunder yang lain berupa data peneliitandengan pengujian sifat fisis tanah asli dengan beberapa variasi campuran *Bamboo Chips* dan *Fly Ash* yang tersedia pada **Tabel 4.5**.

**Tabel 4.5** Nilai Indeks Properties Tanah

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian				
			Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5
			Tanah Asli	Tanah + FA 15%	Tanah + BC 25% + FA 15%	Tanah + BC 30% + FA 15%	Tanah + BC 35% + FA 15%
1	Kadar air	(%)	57,681	31,062	30,808	29,612	31,936
2	Berat jenis	-	2,631	2,455	1,798	1,612	1,648
3	Berat isi	(gr/cm <sup>3</sup> )					
4	Batas cair	(%)	69,019	66,660	59,812	57,546	57,343
5	Batas plastis	(%)	44,916	43,352	42,004	39,263	39,518
6	Indeks plastisitas	(%)	19,334	16,521	14,566	13,868	39,518
7	Klasifikasi tanah						
	a. USCS	-	OH	OH	OH	OH	OH
	b. AASHTO	-	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-7-5
8	Proctor						
	a. Kadar air	(%)	22,610	27,068	30,792	32,821	27,339
	b. Berat isi kering	(gr/cm <sup>3</sup> )	1,542	1,225	1,526	1,489	1,450
9	CBR						
	a. 10x tumbukan	(%)	2,767	4,333	8,333	8,000	7,400
	b. 35x tumbukan	(%)	3,833	5,667	12,000	10,667	10,333
	c. 65x tumbukan	(%)	4,833	8,933	14,667	12,667	10,733
10	UCS						
	a. qu	kPa	29,529	369,668	400,690	292,595	280,438
	b. Cu	kPa	14,765	184,834	200,345	146,298	140,219
11	Triaxial UU						
	a. Cu (8,3 kPa)	kPa	16,978	202,010	132,646	131,985	140,381
	b. Cu (16,93 kPa)	kPa	21,710	215,504	154,310	104,519	153,683
	c. Cu (25,39 kPa)	kPa	24,921	207,924	172,667	168,209	154,796

(Sumber: Data Sekunder Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

Nilai yang digunakan dari data sekunder untuk proses input pada program PLAXIS berupa nilai gamma ( $\gamma_{sat}$ ,  $\gamma_{unsat}$ ) dengan hasil

pengujian Tanah Asli, variasi 1(TA + FA 15%), variasi 2(TA+FA 15%+BC 25%), variasi 3(TA+FA 15%+BC 30%), variasi 4(TA+FA 15%+BC 35%) yang tertera pada **Tabel 4.4**.

#### 4.1.2.3 Pengolahan Data Mekanis Tanah

Untuk memperoleh parameter lainnya, dilakukan pengujian mekanis tanah berupa *Unconfined Compression Test* (UCT) pada kondisi tanah asli serta beberapa variasi campuran flyash dan *Bamboo Chips* di Laboratorium Mekanika Tanah, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Pembangunan Nasional “Veteran” Jawa Timur. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan nilai *kohesi* (*cu*) dan *modulus elastisitas* (*E*) yang selanjutnya digunakan sebagai parameter input dalam pemodelan. Adapun hasil perhitungan uji kuat tekan bebas untuk seluruh variasi campuran flyash dan *Bamboo Chips* dapat dilihat pada **Tabel 4.3** sampai **Tabel 4.5**.

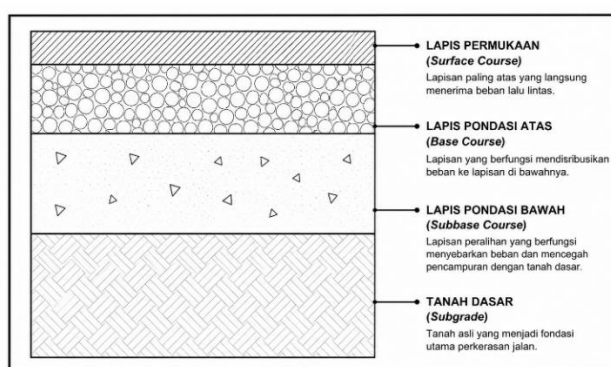
**Tabel 4.6** Rekapitulasi Hasil Penelitian

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian					
			Variasi 1	Variasi 2	Variasi 3	Variasi 4	Variasi 5	
			Tanah Asli	Tanah + FA 15%	Tanah + BC 25% + FA 15%	Tanah + BC 30% + FA 15%	Tanah + BC 35% + FA 15%	
1	UCS							
	a. Kuat tekan ( <i>qu</i> )	kPa	29,529	369,668	400,690	292,595	280,438	
	b. <i>Kohesi</i> ( <i>Cu</i> )	kPa	14,765	184,834	200,345	146,298	140,219	
	c. Modulus young ( <i>E</i> )	kPa	671	3181,51	3069,34	3736,36	2788,58	
2	Triaxial UU							
	a. 8,3 kPa:	<i>Kohesi</i> ( <i>Cu</i> )	kPa	16,978	202,010	132,646	131,985	140,381
		Modulus young ( <i>E</i> )	kPa	3975,15	6002,52	10087,72	6911,3	7792,56
	b. 16,93 kPa:	<i>Kohesi</i> ( <i>Cu</i> )	kPa	21,710	215,504	154,310	104,519	153,683
		Modulus young ( <i>E</i> )	kPa					
	c. 25,39 kPa:	<i>Kohesi</i> ( <i>Cu</i> )	kPa	24,921	207,924	172,667	168,209	154,796
Modulus young ( <i>E</i> )		kPa						

(Sumber: Data Sekunder Hasil Pengujian Laboratorium, 2026)

#### 4.1.2.4 Penentuan Beban Perkerasan dan Beban Lalu Lintas

Perkerasan yang digunakan merupakan perkerasan lentur dengan jenis lapisan aspal AC-BC dan Lapisan Aspal AC-WC. Beban perkerasan dihitung dari hasil perkalian berat jenis aspal dan tebal aspal. Data perkerasan didapatkan dari Tugas Akhir berjudul “Analisis Stabilitas Tanah Timbunan Yang Tanah Dasarnya Distabilisasi Menggunakan *Fly Ash* dan Fosroc Cebex-100 Dengan Metode Finite Element (Studi Kasus : Jalan Lingkar Utara, Kab. Lamongan, Jawa Timur)”.



**Gambar 4.9** Perencanaan Struktur Perkerasan Jalan  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Data perkerasan yang dipakai merupakan perencanaan yang kami tentukan sebagai berikut:

Berat Jenis AC-WC	= 2,25 ton/m <sup>3</sup> = 22,05kN/m <sup>3</sup>
Berat Jenis AC-BC	= 2,27 ton/m <sup>3</sup> = 22,25kN/m <sup>3</sup>
Tebal AC-WC	= 5 cm = 0,05 m
Tebal AC-BC	= 7 cm = 0,07 m
q Aspal AC-WC	= BJ x T = 22,05 x 0,05 = 1,10 kN/m <sup>2</sup>
q Aspal AC-BC	= BJ x T = 22,25 x 0,07 = 1,56 kN/m <sup>2</sup>
q Total	= 2,66 kN/m <sup>3</sup>

Beban lalu lintas yang digunakan dalam penelitian ini mengacu pada Panduan Kimpraswil Pt T-10-2002-B tentang Desain dan Konstruksi Jalan. Penentuan besaran beban didasarkan pada fungsi jalan sebagai jalan primer serta perannya dalam sistem jaringan jalan kolektor, dengan nilai beban yang digunakan sebesar 15 kN/m<sup>2</sup>. Rincian parameter beban lalu lintas yang diterapkan dalam analisis dapat dilihat secara lengkap pada

**Tabel 4.7** Penentuan Parameter Beban Lalu Lintas

Fungsi	Sistem Jaringan	Lalu Lintas Harian Rata-Rata (LHR)	Beban Lalu Lintas (kN/m <sup>2</sup> )
Primer	Arteri	Semua	15
	Kolektor	> 10.000	15
		< 10.000	12
Sekunder	Arteri	> 20.000	15
		< 20.000	12
	Sekunder	> 6.000	12
		< 6.000	10
	Lokal	> 500	10
		< 500	10

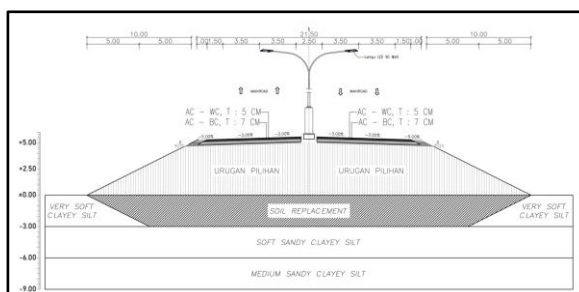
(Sumber: Panduan Kimpraswil, No. PT T-10-2002-B)

Dari hasil perhitungan tersebut didapatkan beban perkerasan sebesar 2,66 kN/m<sup>2</sup> dan beban lalu lintas sebesar 15kN/m, maka untuk nilai beban yang digunakan yaitu jumlah total beban perkerasan ditambahkan dengan beban lalu lintas yaitu 17,66 kN/m<sup>2</sup>.

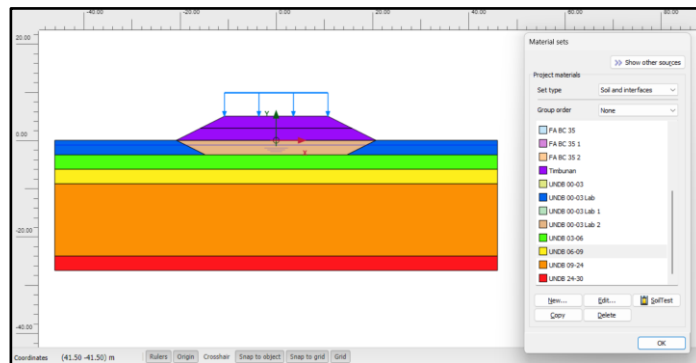
#### 4.2 Analisis Stabilitas Timbunan Menggunakan Plaxis

Analisis stabilitas timbunan dilakukan dengan memanfaatkan perangkat lunak PLAXIS 2D yang mengadopsi model konstitutif Mohr–Coulomb. Pemodelan ini mempertimbangkan beberapa variasi campuran pada tanah dasar (subgrade), yang mencakup kondisi tanah asli tanpa perlakuan (TA + 0% FA + 0% *Bamboo Chips*), serta 4 variasi campuran lainnya.

variasi 1 (TA + 15% FA + 0% *Bamboo Chips*), variasi 2 (TA + 15% FA + 25% *Bamboo Chips*), variasi 3 (TA + 15% FA + 30% *Bamboo Chips*), variasi 4 (TA + 15% FA + 35% *Bamboo Chips*). Desain timbunan yang digunakan dalam analisis ini disajikan pada **Gambar 4.10**.



**Gambar 4.10** Pemodelan Desain Timbunan  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)



**Gambar 4.11** Pemodelan Lapisan Tanah Pada PLAXIS  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Analisis stabilitas timbunan menggunakan perangkat lunak PLAXIS mencakup evaluasi kondisi tanah dasar (subgrade) sebelum dan sesudah penambahan flyash serta *Bamboo Chips*. Analisis ini bertujuan untuk menentukan nilai *Safety Factor* dan *settlement* pada empat variasi campuran yang ditinjau.

Data yang digunakan dalam pemodelan meliputi geometri (tinggi timbunan dan lapisan tanah), beban perkerasan dan lalu lintas, dengan kondisi yang diseragamkan pada setiap variasi. Adapun parameter input yang diterapkan pada tanah dasar, tanah timbunan, tanah asli, serta berbagai variasi campuran flyash dan *Bamboo Chips* disajikan secara rinci pada **Tabel 4.3** dan **Tabel 4.5**

**Tabel 4.8** Parameter Input Tanah Timbunan dan Variasi Campuran *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*

VARIASI	TANAH ASLI	TA+FA 15%	TA+FA 15%+BC 25%	TA+FA 15%+BC 30%	TA+FA 15%+BC 35%	TIMBUNAN
$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	15,13	12,02	9,34	9,13	9,04	-
$\gamma_{wet}/\gamma_{unsat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	11,78	15,27	12,22	12,13	11,51	18
Gs (g/cm <sup>3</sup> ) (uji fisis)	2,631	2,455	1,798	1,612	1,648	-
e	0,705889623	1,003623128	0,888477516	0,732061336	0,788371681	-
$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	19,18933485	16,93386965	13,95533927	13,27622829	13,36456311	20
cu (kN/m <sup>3</sup> )	14,765	184,834	200,345	146,298	140,219	2
E (kN/m <sup>3</sup> )	670,8593	3181,5099	3069,3433	3736,3611	2788,5799	30000

VARIASI	TANAH ASLI	TA+FA 15%	TA+FA 15%+BC 25%	TA+FA 15%+BC 30%	TA+FA 15%+BC 35%	TIMBUNAN
e0	1,688669534	1,626897316	0,887465742	0,690325578	0,853887657	-
Kx (m/day)	0,000066001042	0,000026453139	0,000022967395	0,000031456000	0,000036749528	TIMBUNAN
ky (m/day)	0,000066001042	0,000026453139	0,000022967395	0,000031456000	0,000036749528	TIMBUNAN
v'	0,35	0,35	0,35	0,35	0,35	0,3
$\phi$ (°)	-	-	-	-	-	32
$\psi$ (°)	-	-	-	-	-	2

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

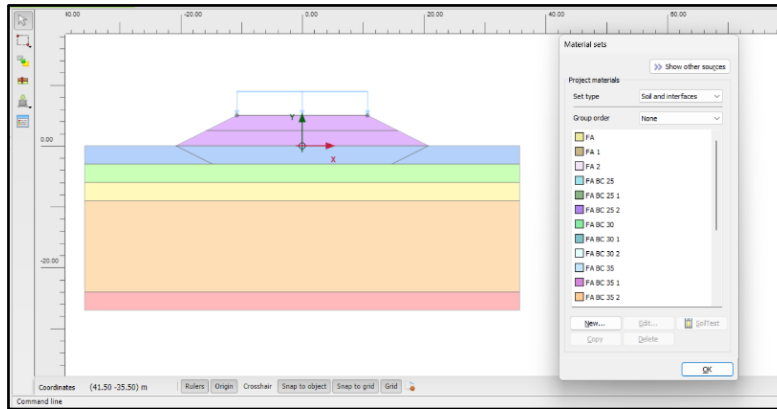
### 4.3 Tahapan Pengerjaan Program PLAXIS

Tahapan pemodelan kondisi tanah asli tanpa penambahan bahan stabilisasi (variasi tanah asli) dijelaskan sebagai berikut:

#### 1. Pemodelan Awal Kondisi Tanah Asli (tanpa bahan stabilisasi)

Pada tahap ini, pemodelan menggunakan perangkat lunak PLAXIS dilakukan dalam kondisi tanah asli yang direpresentasikan dalam model 2D. Data yang digunakan mencakup lapisan tanah dengan lima jenis konsistensi, sebagaimana ditunjukkan pada **Tabel 4.3**, dengan kedalaman total mencapai 30 meter. Geometri timbunan dimodelkan dengan tinggi 5 meter dan kemiringan lereng 1:2. Dari total tinggi tersebut. Proses konstruksi timbunan dimodelkan secara bertahap dengan tinggi timbunan tiap tahap setinggi 2,5 meter.

Setelah proses pemodelan geometri selesai, parameter material soil dimasukkan sesuai dengan karakteristik masing-masing lapisan tanah. Selanjutnya, diberikan beban merata pada permukaan timbunan sebesar 17,66 kN/m<sup>2</sup>.

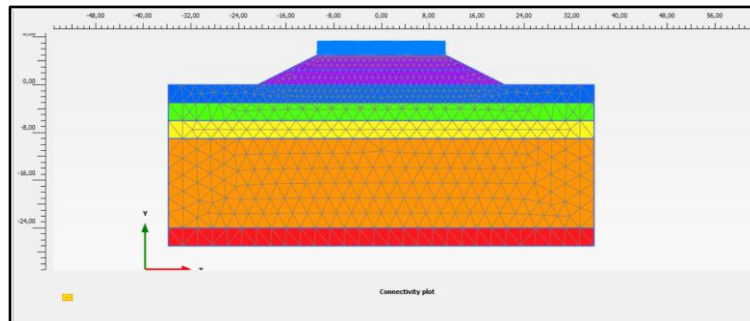


**Gambar 4.12** Tampilan Pemodelan Timbunan Kondisi Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 2. Membuat jaringan Elemen (Generate Mesh)

Tahap berikutnya merupakan proses mesh generation, yang berfungsi untuk mendiskretisasi material tanah menjadi elemen-elemen berhingga. Pemilihan jenis meshing pada pemodelan timbunan diambil dengan element distribution medium.

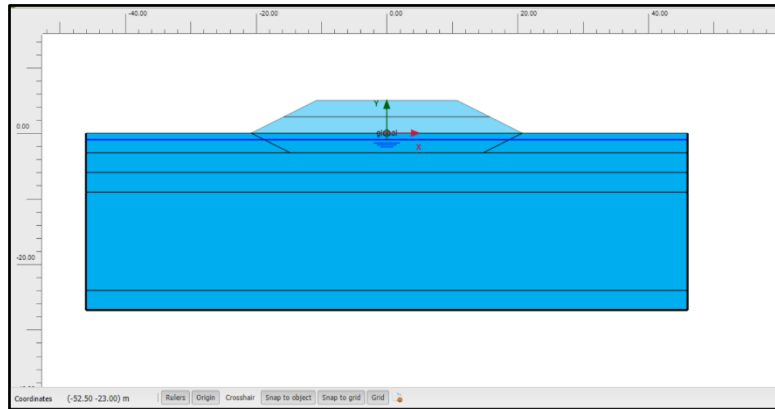
Penggunaan tingkat meshing tersebut menghasilkan distribusi elemen yang baik dan tidak terlalu rapat, sehingga keluaran analisis yang diperoleh menjadi lebih representatif.



**Gambar 4.13** Tampilan Mesh Generation Pada Kondisi Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 3. Membuat Bonderies *Flow Condition*

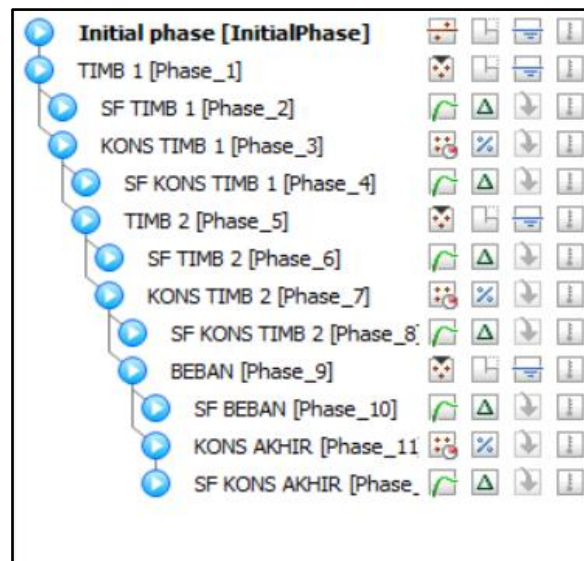
Setelah proses mesh generation selesai dilakukan, tahap selanjutnya adalah penentuan kondisi aliran (*Flow Condition*). Penentuan ini diawali dengan mendefinisikan batas muka air tanah (*Water Level*), yang pada pemodelan ini diasumsikan berada pada elevasi 1 meter dibawah permukaan tanah. Selanjutnya, ditetapkan pula batas consolidation boundary pada sisi kanan, kiri dan bawah model tanah.



**Gambar 4.14** Tampilan *Flow Condition* Pada Pemodelan  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

#### 4. Menyusun Staged Construction

Sebelum memasuki tahap calculation, terlebih dahulu dilakukan tahapan staged construction melalui penambahan beberapa phase secara bertahap. Pertama dibuat initial phase dengan calculation type k0 procedure yang bertujuan untuk menghasilkan kondisi tegangan awal tanah (*initial stress state*) sebelum adanya pembebanan, lalu dilanjutkan dengan phase timbunan menggunakan calculation type plastic dan konsolidasi dengan calculation type consolidation dengan timbunan dihitung masing masing tiap timbunan, tiap langkah dilakukan perhitungan nilai *Safety Factor* untuk mengetahui faktor keamanan dari setiap tahap. Lalu terakhir dihitung konsolidasi untuk tiap tahunnya



**Gambar 4.15** Stage Construction Pada Timbunan Kondisi Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

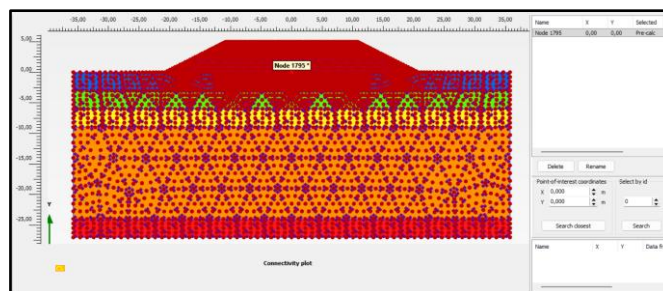
## 5. Analisis Masa Pengerjaan Timbunan

Berdasarkan **Gambar 4.12**, tinggi timbunan yang direncanakan sebesar 5 meter dilaksanakan menggunakan metode penimbunan bertahap, setiap lapisan timbunan memiliki ketebalan 2,5 meter. Angka tersebut didapat dengan mencari tinggi keritis/izin menggunakan rumus yang saya dapatkan dari Han (2015) yaitu  $H_1 \leq \frac{N_c \cdot C_u}{FS \cdot \gamma} = \frac{5,1 \times 16,97}{1,5 \times 19} = 3,04 \text{ m}$ . Masing-masing timbunan di hitung konsolidasinya serta safety factornya dan setiap selesai timbunan dimasukan kenaikan nilai cunya.

Lalu dilanjutkan dengan perhitungan dengan penambahan beban lalu lintas diatasnya dan dicatat untuk nilai safety factornya dan terakhir dihitung konsolidasi akhir (total penurunan tanah) serta dilihat juga untuk nilai safety factornya.

## 6. Titik Nodal

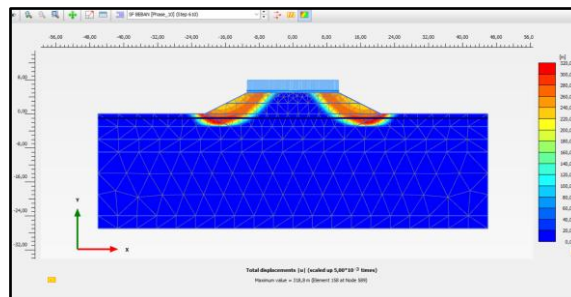
Selanjutnya menentukan titik tinjau pada daerah pemodelan timbunan yang akan dilakukan analisis, setelah itu baru bisa dilakukan calculation



**Gambar 4.16** Titik Tinjau Nodal  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 7. Angka Aman (Safety Factor)

Output untuk nilai SF berdasarkan jenis perhitungan reduksi phi-c, dengan menampilkan nilai Sf pada slide penggali dan menampilkan daerah kritis yang terjadi pada timbunan. Sf dikatakan aman jika nilainya lebih besar dari 1,5



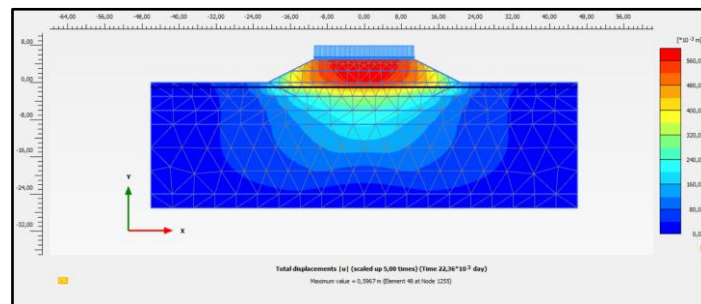
**Gambar 4.17** Bidang Keruntuhan SF  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,02828E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	74,40 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,850

**Gambar 4.18** Reached Values  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 8. Output Penurunan

Output nilai penurunan yang ditinjau berdasarkan perhitungan analisa konsolidasi yang menampilkan nilai penurunan timbunan beserta lama waktu penurunannya



**Gambar 4.19** Total Displacements  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

## 4.4 Analisis Timbunan Pada Tanah Asli (Tanpa Material Stabilisasi)

Analisis pada kondisi tanah asli dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui tingkat stabilitas dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan jalan tanpa adanya perbaikan tanah dasar. Proses analisis dilakukan secara bertahap mulai dari pemodelan konstruksi timbunan hingga pemberian beban pada permukaan timbunan untuk memperoleh kondisi akhir tanah dasar. Parameter yang ditinjau dalam analisis ini meliputi nilai faktor keamanan (Safety Factor/SF) dan besarnya penurunan konsolidasi (*settlement*) pada setiap tahap timbunan.

### 4.4.1 Tahap Timbunan 1

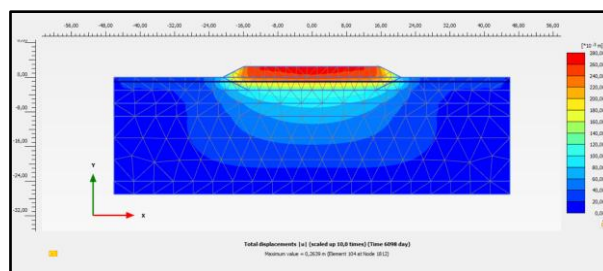
Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak tanpa penambahan material stabilisasi. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,85. Nilai

tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-0,02828E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	74,40 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,850

**Gambar 4.20** Reached Values SF Timbunan 1 Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.21** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 263,9 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 6.098 hari atau sekitar 16,71 tahun.



**Gambar 4.21** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{263,9}{16,71} = 15,80\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4.4.2 Tahap Timbunan 2

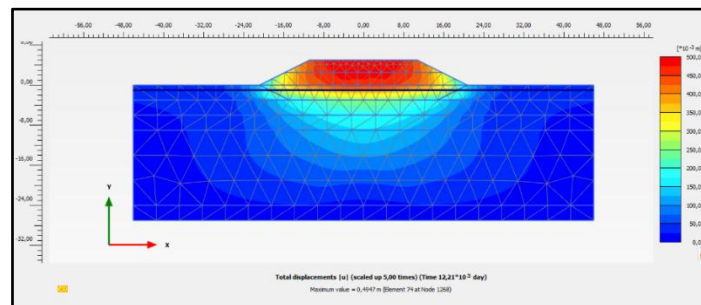
Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak tanpa penambahan material stabilisasi. Pada Timbunan 2 dilakukan perhitungan kenaikan nilai  $C_u$  dikarenakan konsolidasi pada timbunan pertama, Menurut (Han, 2015) diketahui rumus kenaikan nilai  $C_u$   $\Delta C_u = 0,25 \times 0,9 \times (2,5 \times 20) = 11,25$ , lalu  $C_{u,i} = 14,765 + 11,25 = 26,015$ . Berdasarkan hasil

analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,374. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan tidak aman karena tidak memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5) (tambahkan perhitungan CU).

Reached values	
Reached total time	6098 day
CSP - Relative stiffness	-0,1686E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	70,69 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,374

**Gambar 4.22** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.23** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 2 yaitu sebesar 494,7 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 33,45 tahun.



**Gambar 4.23** Total Displacements Timbunan 2 Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  

$$Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{494,7}{33,45} = 14,79\ mm/th$$
 Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

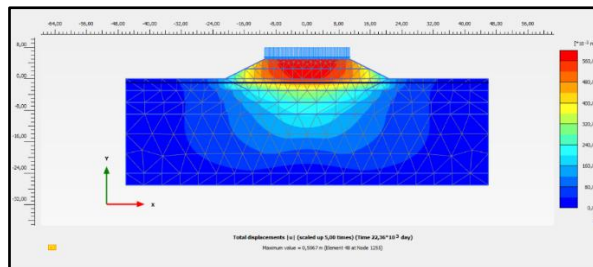
#### 4.4.3 Tahap Timbunan dengan Penambahan Beban

Tahap ketiga merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak tanpa penambahan material stabilisasi dengan penambahan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,443. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan tidak aman karena tidak memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	12,21E3 day
CSP - Relative stiffness	-0,1696E-9
ForceX - Reached total forc	0,000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	75,43 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,443

**Gambar 4.24** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.25** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan dengan beban yaitu sebesar 596,7 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 61,26 tahun.



**Gambar 4.25** Total Displacements Timbunan dengan Pembeban Tanah Asli  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,

$$Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{596,7}{61,26} = 9,74\ mm/th .$$

Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4.4.4 Rekap Akhir

**Tabel 4.9** Rekap Hasil Perhitungan PLAXIS Tanah Asli

Variasi	TANAH ASLI	KONTROL (SF>1,5) (Penurunan<20)	SATUAN	PENGERJAA N
SF TIMBUNAN 1	1,85	OK	-	TAHAP 1
SF KONSOL 1	1,85	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 1	15,79591669	OK	mm/Tahun	
SF TIMBUNAN 2	1,374	TIDAK OKE	-	TAHAP 2
SF KONSOL 2	1,373	TIDAK OKE	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 2	14,78832924	OK	mm/Tahun	
SF BEBAN	1,443	TIDAK OKE		TAHAP 3
SF KONSOL AKHIR	1,444	TIDAK OKE		
PENURUNAN AKHIR	9,74	OK	mm/Tahun	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada kondisi tanah asli tanpa material stabilisasi, nilai *Safety Factor* (SF) mengalami perubahan pada setiap tahapan pembebanan. Pada tahap timbunan 1 diperoleh nilai SF sebesar 1,85 sehingga kondisi timbunan masih dinyatakan aman karena memenuhi standar faktor keamanan minimum yaitu  $SF > 1,5$ . Namun, pada tahap timbunan 2 nilai SF menurun menjadi 1,371 dan pada kondisi pembebanan akhir diperoleh nilai SF sebesar 1,443, sehingga kondisi tersebut belum memenuhi kriteria keamanan yang disyaratkan sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5 Kriteria Faktor Keamanan.

Sementara itu, hasil analisis konsolidasi menunjukkan bahwa penurunan terbesar terjadi pada tahap timbunan 1 sebesar 15,7959 mm/tahun dan berangsur menurun hingga kondisi akhir sebesar 9,74 mm/tahun. Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

## 4.5 Analisis Kondisi Tanah Dasar Dengan Bahan Stabilisasi

### 4.5.1 Hasil Pemodelan Kondisi Tanah Dasar Dengan Bahan Campuran Stabilisator Variasi Tanah Asli + *Fly Ash* 15%

Langkah Pengerjaan yang dilakukan sama dengan proses tanah asli yaitu dilakukan analisis pada kondisi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui tingkat stabilitas dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan jalan tanpa adanya perbaikan tanah dasar. Proses analisis dilakukan secara bertahap mulai dari pemodelan konstruksi timbunan hingga pemberian beban pada permukaan timbunan untuk memperoleh kondisi akhir tanah dasar. Parameter yang ditinjau dalam analisis ini meliputi nilai faktor keamanan (Safety Factor/SF) dan besarnya penurunan konsolidasi (*settlement*) pada setiap tahap timbunan.

#### 1. Tahap Timbunan 1

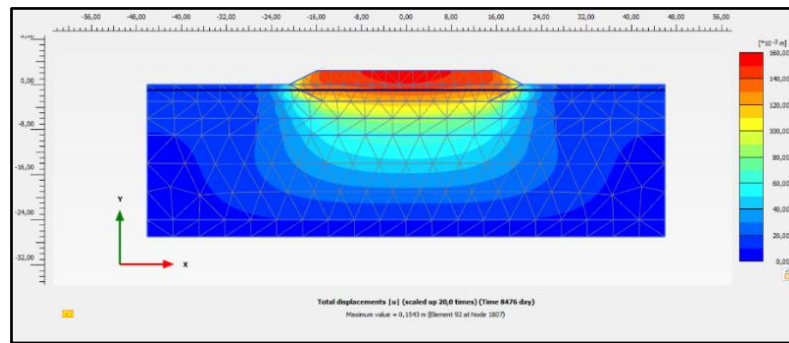
Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 2,076. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).



Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	1,090E-6
ForceX - Reached total forc	0,000 kN/m
ForceY - Reached total forc	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	68,79 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,076

**Gambar 4.26** Reached Values SF Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.27** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 154,3 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 8.476 hari atau sekitar 23,22 tahun.



**Gambar 4.27** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{154,3}{23,22} = 6,64\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

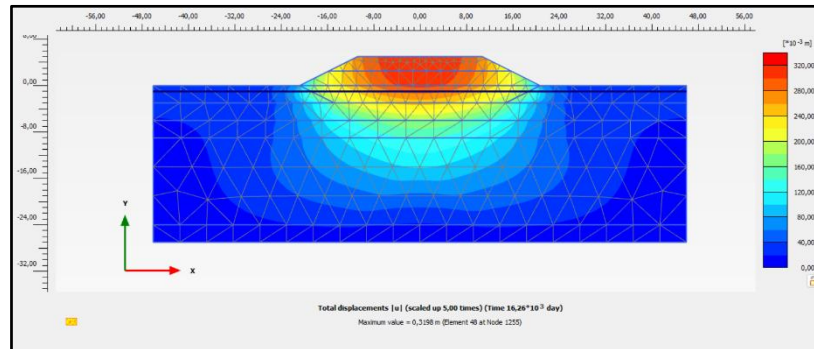
## 2. Tahap Timbunan 2

Tahap kedua merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,719. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	8476 day
CSP - Relative stiffness	-0,2262E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	49,23 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,719

**Gambar 4.28** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.29** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 319,8 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama sekitar 44,55 tahun.



**Gambar 4.29** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan  $U_{90\%}$  diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  

$$\text{Total Penurunan} = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Waktu Penurunan}} = \frac{319,8}{44,55} = 7,18 \text{ mm/th} .$$
 Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

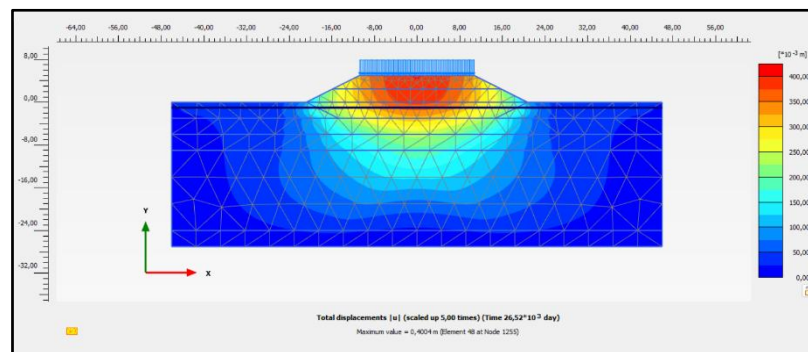
### 3. Tahap Timbunan dengan Penambahan Beban

Tahap ketiga merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan perubahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* dengan penambahan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,582. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena masih mencapai batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu ( $>1,5$ ).

Reached values	
Reached total time	16,26E3 day
CSP - Relative stiffness	-0,08764E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	62,95 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,582

**Gambar 4.30** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.31** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan dengan beban yaitu sebesar 400,4 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 72,66 tahun.



**Gambar 4.31** Total Displacements Timbunan dengan Pembeban Tanah Asli + *Fly Ash* 15%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{400,4}{72,66} = 5,51\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4. Rekap Akhir

**Tabel 4.10** Rekap Hasil Perhitungan PLAXIS Tanah Asli + *Fly Ash* 15%

Variasi	TA+FA 15%	KONTROL (SF>1,5) (Penurunan<20)	SATUAN	PENGERJAAN
SF TIMBUNAN 1	2,076	OK	-	TAHAP 1
SF KONSOL 1	2,077	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 1	6,64458471	OK	mm/Tahun	
SF TIMBUNAN 2	1,719	OK	-	TAHAP 2
SF KONSOL 2	1,718	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 2	7,178782288	OK	mm/Tahun	
SF BEBAN	1,582	OK		TAHAP 3
SF KONSOL AKHIR	1,585	OK		
PENURUNAN AKHIR	5,51	OK	mm/Tahun	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada tanah yang telah distabilisasi menggunakan *Fly Ash* 15%, diperoleh peningkatan nilai *Safety Factor* (SF) pada setiap tahapan pembebanan dibandingkan kondisi tanah asli. Pada tahap timbunan 1 nilai SF sebesar 2,076 dan masih berada dalam kondisi aman karena memenuhi syarat faktor keamanan minimum yaitu  $SF > 1,5$  sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5 Kriteria Faktor Keamanan. Pada tahap timbunan 2 nilai SF menurun menjadi 1,719, namun masih memenuhi kriteria stabilitas. Sementara itu, pada kondisi pembebanan akhir diperoleh nilai SF sebesar 1,582 sehingga kondisi timbunan tetap dinyatakan aman terhadap pembebanan yang bekerja.

Hasil analisis konsolidasi menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi pada tanah dengan stabilisasi *Fly Ash* 15% lebih kecil dibandingkan tanah asli. Penurunan pada tahap timbunan 1 sebesar 6,6446 mm/tahun, kemudian pada tahap timbunan 2 sebesar 7,1788 mm/tahun, dan pada kondisi akhir sebesar 5,51 mm/tahun. Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL. Hal ini

menunjukkan bahwa penambahan *Fly Ash* mampu meningkatkan stabilitas tanah sekaligus mengurangi besarnya penurunan pada tanah lunak akibat pembebanan timbunan.

#### 4.5.2 Hasil Pemodelan Kondisi Tanah Dasar Dengan Bahan Campuran Stabilisator Variasi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%

Langkah Pengerjaan yang dilakukan sama dengan proses tanah asli yaitu dilakukan analisis pada kondisi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui tingkat stabilitas dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan jalan tanpa adanya perbaikan tanah dasar. Proses analisis dilakukan secara bertahap mulai dari pemodelan konstruksi timbunan hingga pemberian beban pada permukaan timbunan untuk memperoleh kondisi akhir tanah dasar. Parameter yang ditinjau dalam analisis ini meliputi nilai faktor keamanan (Safety Factor/SF) dan besarnya penurunan konsolidasi (*settlement*) pada setiap tahap timbunan.

##### 1. Tahap Timbunan 1

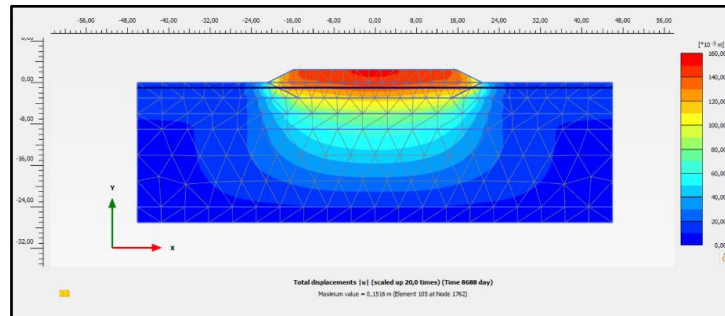
Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 2,081. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu ( $>1,5$ ).

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,07434E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	64,41 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,081

**Gambar 4.32** Reached Values SF Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.33** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 151,6 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 8.688 hari atau sekitar 23,75 tahun.



**Gambar 4.33** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan  $U_{90\%}$  diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  

$$\text{Total Penurunan} = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Waktu Penurunan}} = \frac{151,6}{23,75} = 6,38 \text{ mm/th} .$$
 Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

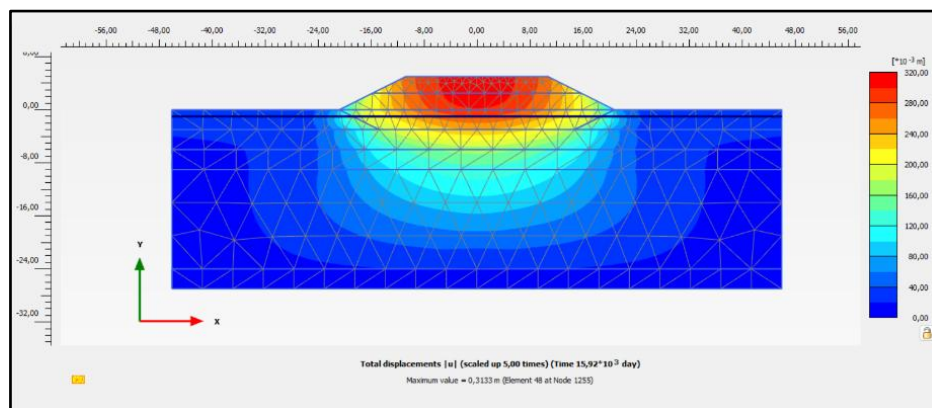
## 2. Tahap Timbunan 2

Tahap kedua merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,719. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu ( $>1,5$ ).

Reached values	
Reached total time	8688 day
CSP - Relative stiffness	0,2186E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	46,19 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,719

**Gambar 4.34** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.35** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 313,3 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama sekitar 43,62 tahun.



**Gambar 4.35** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{313,3}{43,62} = 7,18\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

### 3. Tahap Timbunan dengan Penambahan Beban

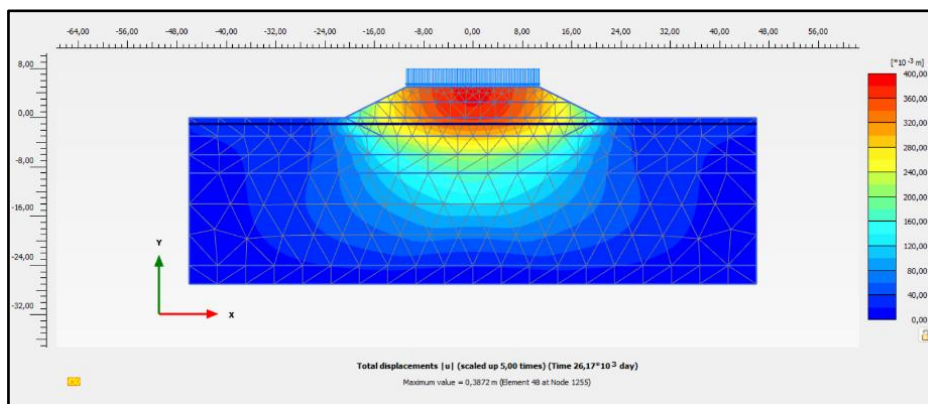
Tahap ketiga merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan perubahan material stabilisasi berupa Fly Ash dan *Bamboo Chips* dengan penambahan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,584. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena masih mencapai batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).



Reached values	
Reached total time	15,92E3 day
CSP - Relative stiffness	-0,2921E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	61,75 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,584

**Gambar 4.36** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.37** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan dengan beban yaitu sebesar 387,2 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 71,70 tahun.



**Gambar 4.37** Total Displacements Timbunan dengan Pembeban Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{387,2}{71,70} = 5,40\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4. Rekap Akhir

**Tabel 4.11** Rekap Hasil Perhitungan PLAXIS Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%

Variasi	TA+FA 15%+BC 25%	KONTROL (SF>1,5) (Penurunan<20)	SATUAN	PENGERJAAN
SF TIMBUNAN 1	2,081	OK	-	TAHAP 1
SF KONSOL 1	2,075	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 1	6,383710198	OK	mm/Tahun	
SF TIMBUNAN 2	1,719	OK	-	TAHAP 2
SF KONSOL 2	1,717	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 2	7,183071608	OK	mm/Tahun	
SF BEBAN	1,584	OK		TAHAP 3
SF KONSOL AKHIR	1,582	OK		
PENURUNAN AKHIR	5,40	OK	mm/Tahun	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada tanah yang distabilisasi menggunakan kombinasi *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 25%, diperoleh peningkatan nilai *Safety Factor* (SF) pada setiap tahapan pembebanan dibandingkan kondisi tanah asli. Pada tahap timbunan 1 diperoleh nilai SF sebesar 2,081 sehingga kondisi timbunan berada dalam keadaan aman karena memenuhi syarat faktor keamanan minimum yaitu  $SF > 1,5$  sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5 Kriteria Faktor Keamanan. Pada tahap timbunan 2 nilai SF menurun menjadi 1,719, sedangkan pada kondisi pembebanan akhir diperoleh nilai SF sebesar 1,584. Meskipun mengalami penurunan akibat bertambahnya beban, nilai faktor keamanan pada seluruh tahapan masih memenuhi kriteria stabilitas.

Hasil analisis konsolidasi menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi pada tanah dengan stabilisasi *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 25% lebih kecil dibandingkan tanah asli. Besarnya penurunan pada tahap timbunan 1 sebesar 6,3837 mm/tahun, kemudian pada tahap timbunan 2 sebesar 7,1831 mm/tahun, dan pada kondisi akhir sebesar 5,40 mm/tahun. Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* mampu memperbaiki stabilitas tanah lunak serta mengurangi besarnya penurunan akibat pembebanan timbunan.

#### **4.5.3 Hasil Pemodelan Kondisi Tanah Dasar Dengan Bahan Campuran Stabilisator Variasi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%**

Langkah Pengerjaan yang dilakukan sama dengan proses tanah asli yaitu dilakukan analisis pada kondisi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30% dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui tingkat stabilitas dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan jalan tanpa adanya perbaikan tanah dasar. Proses analisis dilakukan secara bertahap mulai dari pemodelan konstruksi timbunan hingga pemberian beban pada permukaan timbunan untuk memperoleh kondisi akhir tanah dasar. Parameter yang ditinjau dalam analisis ini meliputi nilai faktor keamanan (Safety Factor/SF) dan besarnya penurunan konsolidasi (*settlement*) pada setiap tahap timbunan.

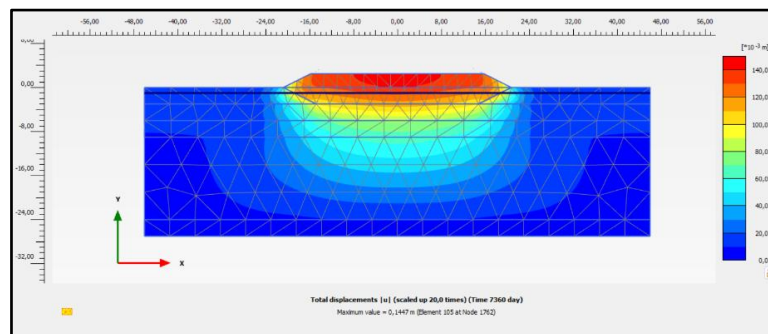
##### **1. Tahap Timbunan 1**

Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 2,078. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	-1,218E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	69,20 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,078

**Gambar 4.38** Reached Values SF Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.39** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 144,7 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 7360 hari atau sekitar 20,16 tahun.



**Gambar 4.39** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan  $U_{90\%}$  diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{144,7}{20,16} = 5,69\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

## 2. Tahap Timbunan 2

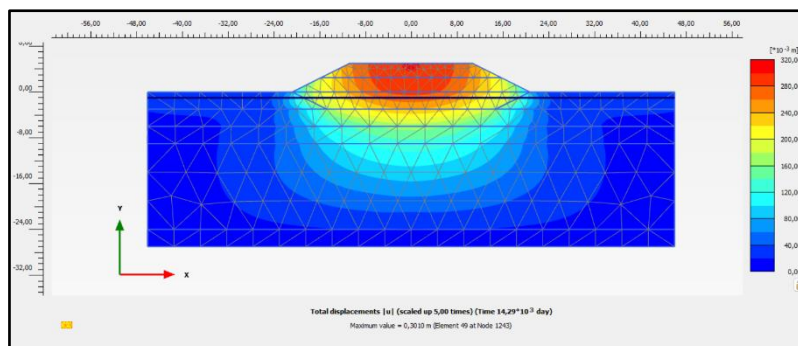
Tahap kedua merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar

1,718. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu ( $>1,5$ ).

Reached values	
Reached total time	7360 day
CSP - Relative stiffness	0,9087E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	45,45 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,718

**Gambar 4.40** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.41** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 2 yaitu sebesar 301 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama sekitar 39,15 tahun.



**Gambar 4.41** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,

$$\text{Total Penurunan} = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Waktu Penurunan}} = \frac{301}{39,15} = 7,69 \text{ mm/th} .$$

Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

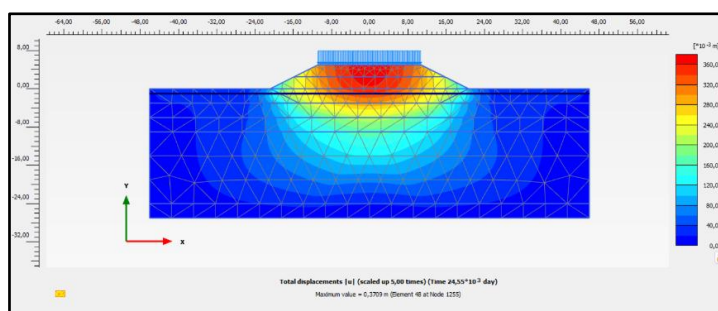
### 3. Tahap Timbunan dengan Penambahan Beban

Tahap ketiga merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan perubahan material stabilisasi berupa Fly Ash dan *Bamboo Chips* dengan penambahan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,582. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena masih mencapai batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	14,29E3 day
CSP - Relative stiffness	0,2181E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	71,44 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,582

**Gambar 4.42** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada **Gambar 4.43** menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan dengan beban yaitu sebesar 370,9 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 67,26 tahun.



**Gambar 4.43** Total Displacements Timbunan dengan Pembeban Tanah Asli + *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 30%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,

$$\text{Total Penurunan} = \frac{\text{Penurunan}}{\text{Waktu Penurunan}} = \frac{370,9}{67,26} = 5,51 \text{ mm/th} . \quad \text{Besarnya}$$

nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4. Rekap Akhir

**Tabel 4.12** Rekap Hasil Perhitungan PLAXIS Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%

Variasi	TA+FA 15%+BC 30%	KONTROL (SF>1,5) (Penurunan<20)	SATUAN	PENGERJAAN
SF TIMBUNAN 1	2,078	OK	-	TAHAP 1
SF KONSOL 1	2,075	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 1	5,688247283	OK	mm/Tahun	
SF TIMBUNAN 2	1,718	OK	-	TAHAP 2
SF KONSOL 2	1,718	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 2	7,688243527	OK	mm/Tahun	
SF BEBAN	1,582	OK		TAHAP 3
SF KONSOL AKHIR	1,588	OK		
PENURUNAN AKHIR	5,51	OK	mm/Tahun	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada tanah yang distabilisasi menggunakan kombinasi *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 30%, diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) yang menunjukkan kondisi timbunan tetap berada dalam keadaan aman pada setiap tahapan pembebanan. Pada tahap timbunan 1 diperoleh nilai SF sebesar 2,078, kemudian menurun menjadi 1,718 pada tahap timbunan 2, dan pada kondisi pembebanan akhir diperoleh nilai SF sebesar 1,582. Seluruh nilai tersebut masih memenuhi syarat faktor keamanan minimum yaitu  $SF > 1,5$  sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5 Kriteria Faktor Keamanan.

Hasil analisis konsolidasi menunjukkan bahwa besarnya penurunan yang terjadi lebih kecil dibandingkan kondisi tanah asli. Penurunan pada tahap timbunan 1 sebesar 5,6882 mm/tahun, kemudian pada tahap timbunan 2 sebesar 7,6882 mm/tahun, dan pada kondisi akhir sebesar 5,51 mm/tahun

Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL. Hasil tersebut menunjukkan bahwa kombinasi *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* mampu meningkatkan stabilitas tanah serta mengurangi besarnya penurunan pada tanah lunak akibat pembebanan timbunan

#### **4.5.4 Hasil Pemodelan Kondisi Tanah Dasar Dengan Bahan Campuran Stabilisator Variasi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%**

Langkah Pengerjaan yang dilakukan sama dengan proses tanah asli yaitu dilakukan analisis pada kondisi Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35% dilakukan dengan bantuan program PLAXIS 2D untuk mengetahui tingkat stabilitas dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan jalan tanpa adanya perbaikan tanah dasar. Proses analisis dilakukan secara bertahap mulai dari pemodelan konstruksi timbunan hingga pemberian beban pada permukaan timbunan untuk memperoleh kondisi akhir tanah dasar. Parameter yang ditinjau dalam analisis ini meliputi nilai faktor keamanan (*Safety Factor/SF*) dan besarnya penurunan konsolidasi (*settlement*) pada setiap tahap timbunan.

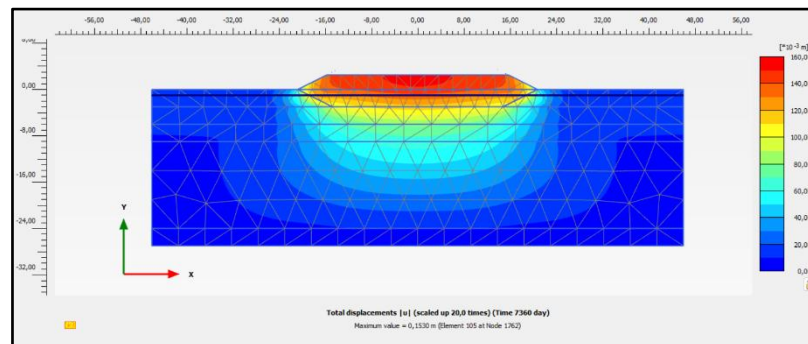
##### **1. Tahap Timbunan 1**

Tahap pertama merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (*SF*) sebesar 2,08. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	0,000 day
CSP - Relative stiffness	0,05552E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	64,13 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	2,080

**Gambar 4.44** Reached Values SF Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada Gambar 4.45 menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 1 yaitu sebesar 153 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 7360 hari atau sekitar 20,16 tahun.



**Gambar 4.45** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{153}{20,16} = 7,58\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

## 2. Tahap Timbunan 2

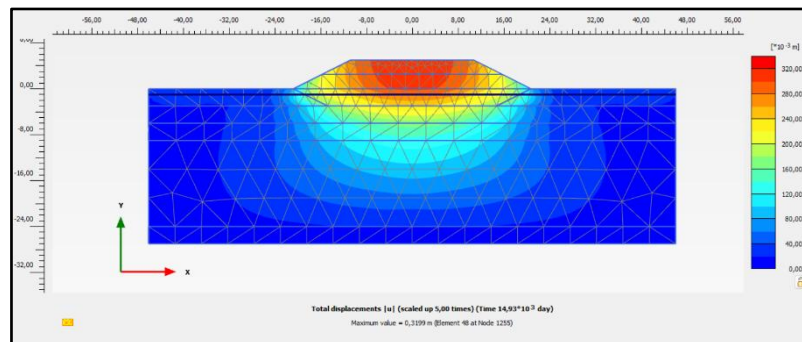
Tahap kedua merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash*. Berdasarkan

hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,717. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena telah memenuhi batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	7360 day
CSP - Relative stiffness	0,2020E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	45,36 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,717

**Gambar 4.46** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada Gambar 4.47 menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan 2 yaitu sebesar 319,9 mm. Hasil analisi menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama sekitar 40,9 tahun.



**Gambar 4.47** Total Displacements Timbunan 1 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  

$$Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{319,9}{40,9} = 7,82\ mm/th .$$
 Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan

untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20 mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

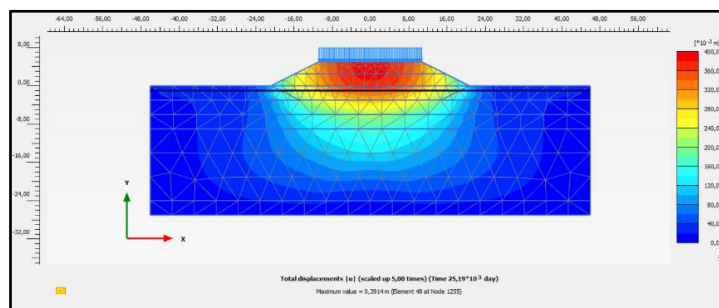
### 3. Tahap Timbunan dengan Penambahan Beban

Tahap ketiga merupakan proses pemodelan timbunan awal pada tanah lunak dengan perubahan material stabilisasi berupa Fly Ash dan *Bamboo Chips* dengan penambahan beban lalu lintas. Berdasarkan hasil analisis menggunakan PLAXIS diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) sebesar 1,582. Nilai tersebut menunjukkan bahwa kondisi timbunan masih tergolong aman karena masih mencapai batas minimum faktor keamanan yang disyaratkan yaitu (>1,5).

Reached values	
Reached total time	14,93E3 day
CSP - Relative stiffness	-0,06403E-6
ForceX - Reached total force	0,000 kN/m
ForceY - Reached total force	0,000 kN/m
Pmax - Reached max pp	56,11 kN/m <sup>2</sup>
$\Sigma M_{stage}$ - Reached phase p	0,000
$\Sigma M_{weight}$ - Reached weight	1,000
$\Sigma M_{sf}$ - Reached safety fact	1,582

**Gambar 4.48** Reached Values SF Timbunan 2 Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Hasil analisis konsolidasi pada Gambar 4.49 menunjukkan besarnya penurunan yang terjadi pada tahap timbunan dengan beban yaitu sebesar 391,4 mm. Hasil analisis menunjukkan bahwa waktu yang diperlukan untuk mencapai kondisi konsolidasi 90% selama 69 tahun.



**Gambar 4.49** Total Displacements Timbunan dengan Pembeban Tanah Asli + *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 35%  
(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Penentuan nilai penurunan U90% diperoleh dari perbandingan nilai total penurunan dengan lama waktu penurunan, maka diperoleh rumus,  $Total\ Penurunan = \frac{Penurunan}{Waktu\ Penurunan} = \frac{391,4}{69} = 5,67\ mm/th$ . Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL.

#### 4. Rekap Akhir

**Tabel 4.13** Rekap Hasil Perhitungan PLAXIS Tanah Asli + *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%

Variasi	TA+FA 15%+BC 35%	KONTROL (SF>1,5) (Penurunan<20)	SATUAN	PENGERJAAN
SF TIMBUNAN 1	2,08	OK	-	TAHAP 1
SF KONSOL 1	2,075	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 1	7,58763587	OK	mm/Tahun	
SF TIMBUNAN 2	1,717	OK	-	TAHAP 2
SF KONSOL 2	1,718	OK	-	
PENURUNAN TIMBUNAN 2	7,820730074	OK	mm/Tahun	
SF BEBAN	1,582	OK		TAHAP 3
SF KONSOL AKHIR	1,586	OK		
PENURUNAN AKHIR	5,67	OK	mm/Tahun	

(Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan hasil analisis pada tanah yang distabilisasi menggunakan kombinasi *Fly Ash* 15% dan *Bamboo Chips* 35%, diperoleh nilai *Safety Factor* (SF) yang menunjukkan kondisi timbunan masih berada dalam keadaan aman pada setiap tahapan pembebanan. Pada tahap timbunan 1 diperoleh nilai SF sebesar 2,08, kemudian menurun menjadi 1,717 pada tahap timbunan 2, dan pada kondisi pembebanan akhir diperoleh nilai SF sebesar 1,582. Seluruh nilai tersebut masih memenuhi syarat faktor keamanan minimum yaitu  $SF > 1,5$  sesuai ketentuan SNI 8460:2017 Pasal 7.5.5 Kriteria Faktor Keamanan.

Hasil analisis konsolidasi menunjukkan bahwa penurunan yang terjadi lebih kecil dibandingkan kondisi tanah asli. Penurunan pada tahap timbunan 1 sebesar 7,5876 mm/tahun, kemudian pada tahap timbunan 2 sebesar 7,8207

mm/tahun, dan pada kondisi akhir sebesar 5,67 mm/tahun. Besarnya nilai penurunan tersebut masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan untuk timbunan jalan, yaitu kurang dari 20mm/th berdasarkan Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL. Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* mampu meningkatkan stabilitas tanah serta mengurangi besarnya penurunan akibat pembebanan timbunan, meskipun nilai penurunan pada variasi ini lebih besar dibandingkan variasi *Bamboo Chips* 25% dan 30%.

#### 4.6 Interpretasi Hasil Analisis

Hasil yang diperoleh dari analisis stabilitas timbunan menggunakan program PLAXIS 2D dapat menunjukkan nilai faktor keamanan dan besarnya penurunan yang terjadi pada timbunan sebelum diterapkan di lapangan. Penambahan *Fly Ash* terbukti mampu meningkatkan stabilitas tanah lunak melalui peningkatan daya dukung dan kuat tekan tanah (Dwi Wahyuni et al., 2021b). Analisis dilakukan pada kondisi tanah dasar (subgrade) dengan beberapa variasi material stabilisasi, yaitu tanah asli, *Fly Ash* 15%, kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%, kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%, serta kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%. Pemodelan dilakukan berdasarkan data geometri timbunan dan parameter tanah yang telah ditentukan sebelumnya.

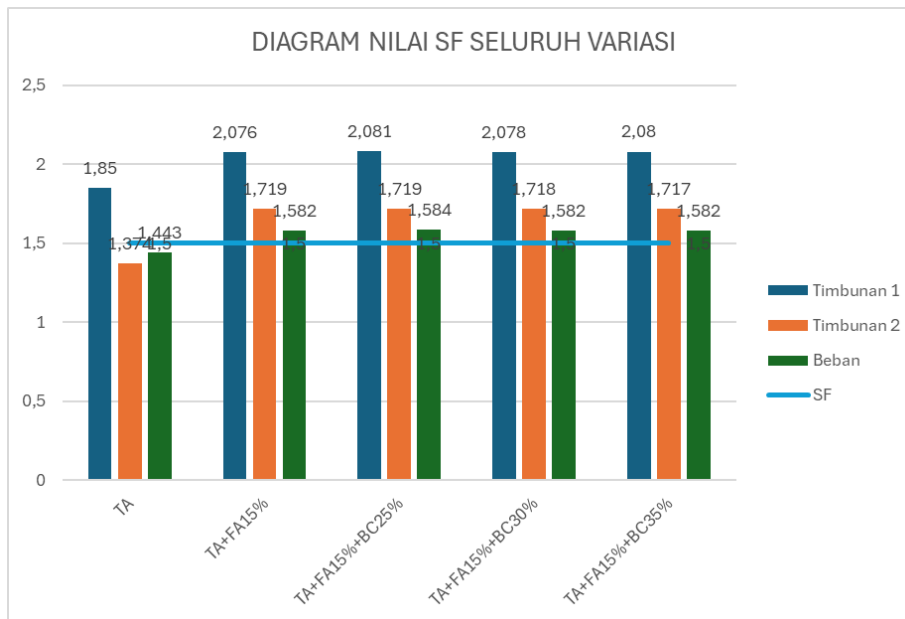
Nilai yang diizinkan untuk Safety Factor diambil berdasarkan SNI 8460:2017-Persyaratan Perancangan Geoteknik dan untuk nilai penurunan yang diizinkan berpacu terhadap Pedoman Geoteknik 4 Timbunan Jalan KIMPRASWIL. Rekapitulasi nilai *Safety Factor* dan penurunan hasil analisis PLAXIS dapat dilihat pada tabel berikut.

**Tabel 4.14** Nilai Rekapitulasi Nilai SF Seluruh Variasi

variasi	Tahapan	SF (>1,5)	Kontrol
tanah asli	Timbunan 1	1,85	AMAN
	Timbunan 2	1,374	TIDAK AMAN
	Beban	1,443	TIDAK AMAN
TA+FA 15%	Timbunan 1	2,076	AMAN
	Timbunan 2	1,719	AMAN
	Beban	1,582	AMAN
TA+FA 15%+BC 25%	Timbunan 1	2,081	AMAN
	Timbunan 2	1,719	AMAN
	Beban	1,584	AMAN
variasi	Tahapan	SF (>1,5)	Kontrol

TA+FA 15%+BC 30%	Timbunan 1	2,078	AMAN
	Timbunan 2	1,718	AMAN
	Beban	1,582	AMAN
TA+FA 15%+BC 35%	Timbunan 1	2,08	AMAN
	Timbunan 2	1,717	AMAN
	Beban	1,582	AMAN

(Sumber: Data Pribadi, 2026)

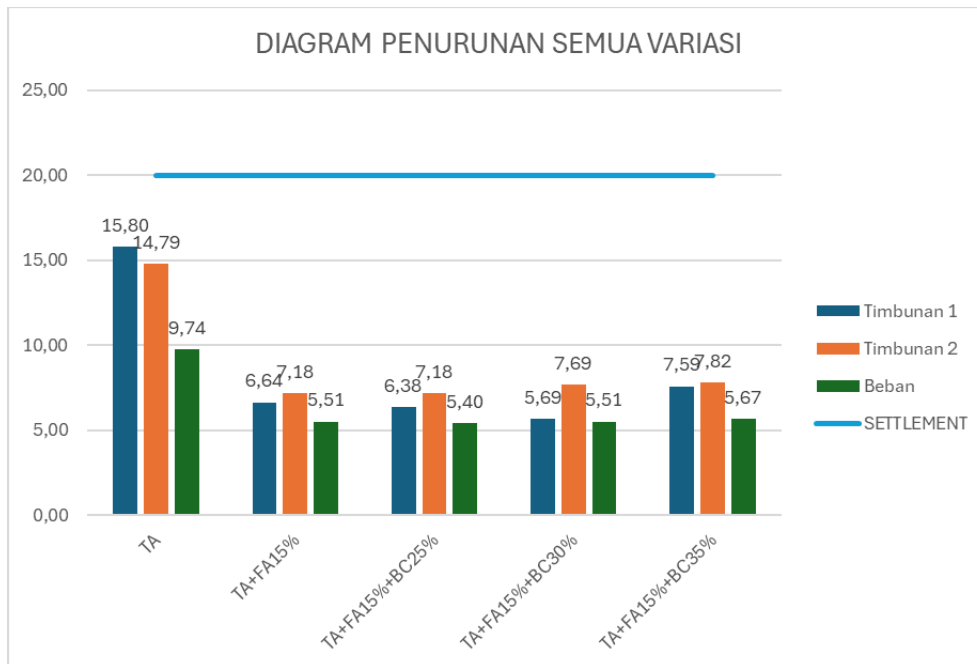


**Gambar 4.50** Grafik Nilai SF Seluruh Variasi  
(Sumber: Data Pribadi, 2026)

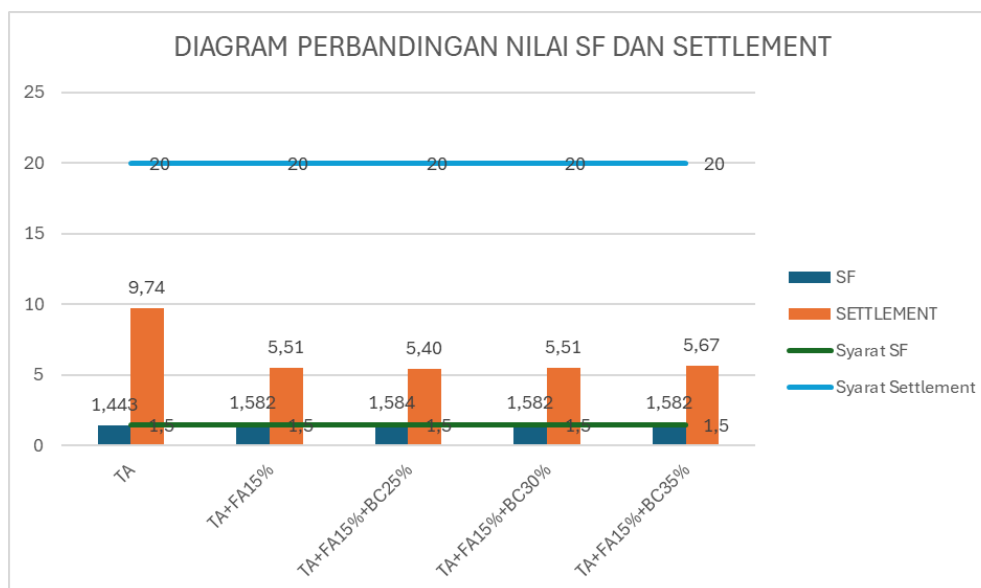
**Tabel 4.15** Rekapitulasi Nilai Penurunan Semua Variasi

variasi	Tahapan	U90% (20 mm)	Kontrol
tanah asli	Timbunan 1	15,80	AMAN
	Timbunan 2	14,79	AMAN
	Beban	9,74	AMAN
TA+FA 15%	Timbunan 1	6,64	AMAN
	Timbunan 2	7,18	AMAN
	Beban	5,51	AMAN
TA+FA 15%+BC 25%	Timbunan 1	6,38	AMAN
	Timbunan 2	7,18	AMAN
	Beban	5,40	AMAN
TA+FA 15%+BC 30%	Timbunan 1	5,69	AMAN
	Timbunan 2	7,69	AMAN
	Beban	5,51	AMAN
TA+FA 15%+BC 35%	Timbunan 1	7,59	AMAN
	Timbunan 2	7,82	AMAN
	Beban	5,67	AMAN

(Sumber : Data Pribadi, 2026)



**Gambar 4.51** Diagram Penurunan Semua Variasi  
(Sumber: Data Pribadi, 2026)



**Gambar 4.52** Diagram Perbandingan Nilai SF dan *Settlement*  
(Sumber: Data Pribadi, 2026)

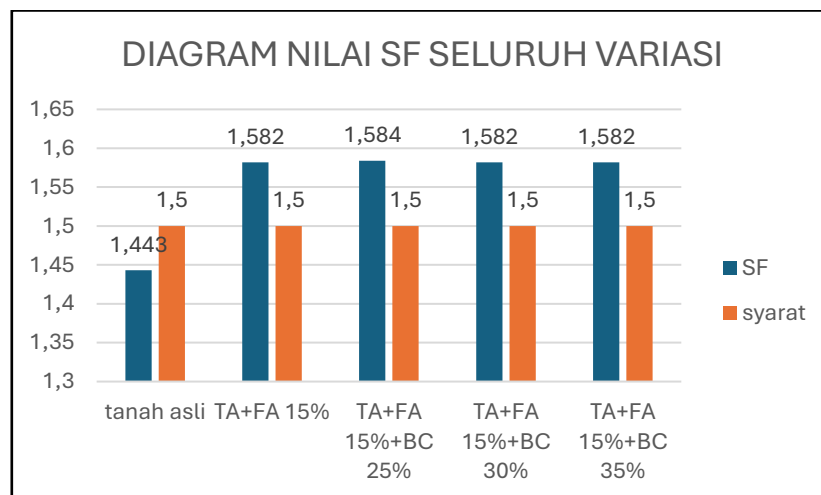
Berdasarkan hasil rekapitulasi nilai *Safety Factor* dan *settlement* pada setiap variasi, dapat diketahui bahwa kondisi tanah asli hanya memenuhi syarat keamanan pada tahap timbunan 1 dengan nilai *Safety Factor* sebesar 1,85. Namun, pada tahap timbunan 2 dan tahap pembebanan akhir nilai *Safety Factor* menurun menjadi 1,374

dan 1,443 sehingga tidak memenuhi syarat keamanan karena berada di bawah nilai minimum  $SF > 1,5$ . Hal ini menunjukkan bahwa tanah lunak tanpa perbaikan mengalami penurunan stabilitas akibat bertambahnya pembebanan timbunan dan beban lalu lintas.

Pada variasi tanah yang telah distabilisasi menggunakan *Fly Ash* 15%, kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25%, kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30%, serta kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35%, seluruh nilai *Safety Factor* pada setiap tahapan pembebanan menunjukkan kondisi aman karena memiliki nilai *SF* lebih besar dari 1,5. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan material stabilisasi mampu meningkatkan stabilitas tanah lunak terhadap pembebanan timbunan (Dwi Wahyuni et al., 2021b).

Berdasarkan hasil analisis *settlement*, seluruh variasi masih memenuhi batas penurunan yang diizinkan yaitu kurang dari 20 mm. Akan tetapi, tanah asli memiliki nilai penurunan paling besar dibandingkan variasi lainnya. Setelah dilakukan stabilisasi menggunakan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips*, nilai *settlement* mengalami penurunan yang cukup signifikan. Variasi kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% menghasilkan nilai *settlement* paling kecil dibandingkan variasi lainnya, sehingga dapat dikatakan bahwa variasi tersebut merupakan kondisi paling efektif dalam mengurangi penurunan pada tanah lunak.

#### 4.6.1 Hasil Analisis Safety Factor



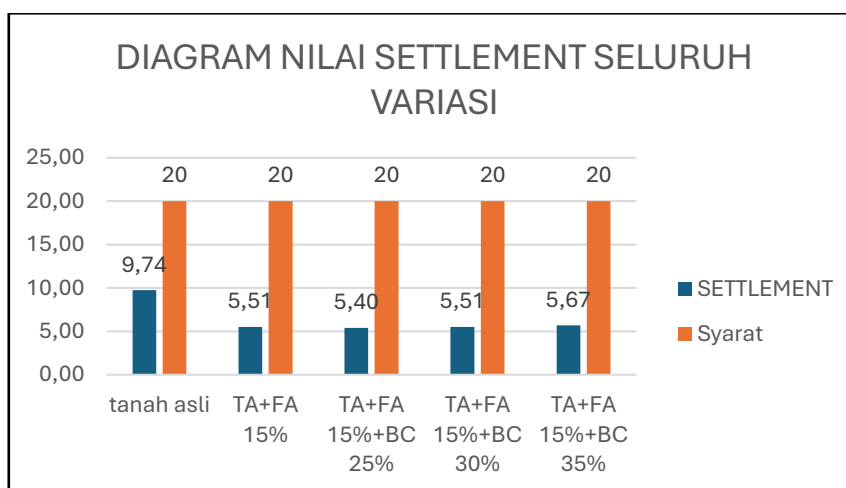
**Gambar 4.53** Diagram Nilai *Safety Factor* Seluruh variasi (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan **Gambar 4.50** dapat diketahui bahwa nilai *Safety Factor* (SF) pada kondisi tanah asli sebesar 1,443. Nilai tersebut berada di bawah syarat minimum faktor keamanan yaitu sebesar 1,5 menurut SNI 8460-2017 sehingga kondisi timbunan pada tanah asli dinyatakan belum memenuhi kriteria keamanan.

Setelah dilakukan stabilisasi menggunakan *Fly Ash* 15%, nilai *Safety Factor* meningkat menjadi 1,582. Peningkatan nilai SF juga terjadi pada variasi kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% dengan nilai sebesar 1,584. Pada variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30% diperoleh nilai SF sebesar 1,582, sedangkan pada variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35% diperoleh nilai SF sebesar 1,582.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* mampu meningkatkan stabilitas tanah lunak dibandingkan kondisi tanah asli. Seluruh variasi stabilisasi memiliki nilai SF lebih besar dari 1,5 sehingga memenuhi syarat keamanan timbunan. Berdasarkan hasil yang diperoleh, variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% menghasilkan nilai *Safety Factor* paling tinggi dibandingkan variasi lainnya, meskipun selisih nilai antar variasi tidak terlalu signifikan (Adhi, 2022b).

#### 4.6.2 Hasil Analisis Konsolidasi



**Gambar 4.54** Diagram Nilai *Settlement* Seluruh variasi (Sumber: Dokumen Pribadi, 2026)

Berdasarkan **Gambar 4.51** dapat diketahui bahwa nilai *settlement* pada kondisi tanah asli sebesar 9,74 mm/tahun. Nilai tersebut masih memenuhi

batas penurunan yang diizinkan yaitu kurang dari 20 mm menurut Pedoman Kimpraswil No. Pt T-10-2002-B, namun memiliki nilai penurunan paling besar dibandingkan seluruh variasi stabilisasi. Besarnya *settlement* pada tanah asli menunjukkan bahwa tanah lunak masih memiliki tingkat kompresibilitas yang cukup tinggi akibat pembebanan timbunan dan beban lalu lintas.

Setelah dilakukan penambahan material stabilisasi berupa *Fly Ash* 15%, nilai *settlement* mengalami penurunan menjadi 5,51 mm/tahun. Pada variasi kombinasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% diperoleh nilai *settlement* sebesar 5,40 mm/tahun, sedangkan pada variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 30% diperoleh nilai *settlement* sebesar 5,51 mm/tahun. Sementara itu, pada variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 35% nilai *settlement* sebesar 5,67 mm/tahun.

Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan *Fly Ash* dan *Bamboo Chips* mampu mengurangi besarnya penurunan pada tanah lunak dibandingkan kondisi tanah asli. Variasi *Fly Ash* 15% + *Bamboo Chips* 25% menghasilkan nilai *settlement* paling kecil sehingga dapat dikatakan sebagai variasi paling efektif dalam mengurangi penurunan tanah. Namun, pada penambahan *Bamboo Chips* sebesar 30% dan 35% nilai *settlement* kembali meningkat, yang menunjukkan bahwa penambahan *Bamboo Chips* dalam jumlah terlalu besar dapat menurunkan efektivitas stabilisasi tanah terhadap pengendalian penurunan (Yunita Permatasari & Noer Hamdhan, n.d.).