

Analisis Stabilitas Timbunan pada Tanah Dasar Berbentuk Lereng dengan Metode Elemen Hingga

MUFIDHIANSYAH FAHMI S, IKHYA

Program Studi Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: mufidhiansyah@yahoo.com

ABSTRAK

Analisis menggunakan program PLAXIS 2D dengan tinggi timbunan dan kemiringan tanah dasar bervariasi tanpa dan dengan perkuatan rock fill sehingga diperoleh kebutuhan rock fill agar faktor keamanan memenuhi syarat. Hasil analisis dengan kemiringan tanah dasar 1V:8H diperoleh kebutuhan rock fill timbunan lempung dengan tinggi 5m, 10m, 15m dan 20m sebesar 0%; 24,7%; 45,5% dan 59,1% sedangkan timbunan pasir sebesar 14,5%; 43,2%; 62,4% dan 71,4%. Pada kemiringan tanah dasar 1V:6H diperoleh kebutuhan rock fill masing-masing ketinggian timbunan lempung sebesar 5%; 45,8%; 59,3% dan 66,6%, sedangkan timbunan pasir sebesar 33,1%; 62,3%; 71,9% dan 73,2%. Pada kemiringan tanah dasar 1V:4H diperoleh kebutuhan rock fill masing-masing ketinggian timbunan lempung sebesar 48,9%; 66,7%; 75,6% dan 81,3%; sedangkan timbunan pasir sebesar 60,1%; 72,6%; 80,5% dan 84%. Variasi jenis mesh menghasilkan faktor keamanan yang tidak signifikan antar jenis mesh dikarenakan lapisan timbunan yang dimodelkan relatif rapat. Analisis geometri tanah dasar bertangga dengan lurus tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap faktor keamanan.

Kata kunci: stabilitas lereng, timbunan, tanah dasar, rock fill, metode elemen hingga, PLAXIS 2D

ABSTRACT

Analysis using PLAXIS 2D program with varying heights and slopes of subgrade without and with rock fill reinforcement in order to obtain the need for rock fill so that the safety factor meets the requirements. The results of the analysis with a subgrade slope of 1V: 8H obtained the need for rock fill clay pile with a height of 5m, 10m, 15m and 20m of 0%; 24.7%; 45.5% and 59.1% while the sand pile was 14.5%; 43.2%; 62.4% and 71.4%. At a subgrade slope of 1V: 6H, the required rock fill height for each clay pile is 5%; 45.8%; 59.3% and 66.6%, while the sand pile was 33.1%; 62.3%; 71.9% and 73.2%. At 1V: 4H subgrade slope, the required rock fill height for each clay pile height is 48.9%; 66.7%; 75.6% and 81.3%; while the sand pile was 60.1%; 72.6%; 80.5% and 84%. Variation of mesh types resulted in insignificant safety factor between mesh types because the modeled embankment layer was relatively tight. The geometry analysis of the straight stepped subgrade did not show a significant effect on the safety factor.

Keywords: slope stability, embankment, subgrade, rock fill, Finite Element method, PLAXIS 2D

1. PENDAHULUAN

Proyek pembangunan Jalan Tol Probolinggo-Banyuwangi Paket Konsultasi 2, terdapat pekerjaan timbunan sepanjang ± 45 km atau sekitar 77% dari total panjang tol 59,5 km. Berdasarkan kondisi topografi yang ada pada proyek ini, pekerjaan timbunan tidak hanya dilakukan pada permukaan kontur datar, melainkan terdapat pula pada kontur berlereng. Area timbunan di lokasi lereng sepanjang ± 172 km (2,8% dari total panjang tol atau 3,7% dari seluruh rencana timbunan yang ada). Panjang seluruh timbunan pada area lereng lebih dari 10 m sepanjang 1,69 km (2,7% dari total panjang tol atau 3,6% dari seluruh rencana timbunan yang ada). Sementara area timbunan area lereng kurang dari 10 m hanya sepanjang 75 m. Dari hasil penyelidikan tanah yang telah dilakukan di area timbunan lereng (kemiringan area eksisting ≥ 7 derajat), kondisi tanah dasar didominasi material tanah keras atau batu, sehingga issue utama adalah masalah stabilitas timbunan.

Penelitian ini menganalisis stabilitas timbunan pada tanah dasar berbentuk lereng tanpa dan dengan perkuatan *rock fill*, dikarenakan banyaknya area galian batu pada proyek. Tinggi timbunan divariasikan (ditinjau dari sudut kanan timbunan) yaitu 5 m, 10 m, 15 m dan 20 m terhadap kemiringan tanah dasar yang terbagi menjadi tiga 1V:8H, 1V:6H dan 1V:4H. Tanah dasar yang dimodelkan berupa geometri lurus dan bertangga, untuk geometri tanah dasar bertangga terbatas hanya pada kemiringan 1V:4H dengan tinggi timbunan 5 meter, hal ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh dari perbedaan geometri tanah dasar yang dimodelkan. Analisis dalam penelitian ini menggunakan metode Elemen Hingga dengan bantuan program PLAXIS 2D.



**Gambar 1. Peta lokasi studi kasus
(Pembangunan Tol Probolinggo-Banyuwangi Seksi II)**

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Teori *Rock Fill*

Rock fill merupakan bongkahan batu yang berasal dari hasil galian batu yang memiliki diameter sampai dengan 300 mm. Pada pelaksanaannya di lapangan, material *rock fill* ditempatkan pada dasar timbunan. Bongkahan batu tersebut memiliki kekuatan yang cukup tinggi sehingga baik digunakan untuk stabilisasi timbunan.

2.2 Kriteria Desain

Keamanan atau stabilitas timbunan dapat didefinisikan berdasarkan besaran faktor keamanan (*safety factor*) pada timbunan tersebut. Pada penelitian ini kriteria keamanan pada timbunan mengacu pada SNI 8460:2017 mengenai Persyaratan Perancangan Geoteknik. Kriteria nilai faktor keamanan untuk lereng batuan seperti pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan untuk Lereng Batuan

Kondisi Lereng Batuan	Rekomendasi Nilai Faktor Keamanan
Kondisi Jangka Panjang	1,5
Kondisi Jangka Pendek	1,3

Sumber: SNI 8740:2017

2.3 Beban Gempa

Gempa rencana untuk lereng timbunan ditetapkan dengan kemungkinan terlewatinya besarnya selama umur rencana 50 tahun adalah 2% atau setara dengan periode ulang 500 tahun (SNI 8460:2017). Faktor keamanan minimum yang disyaratkan untuk analisis menggunakan model pseudo-statik adalah lebih besar dari 1,1 ($FK \geq 1,1$) dengan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak di permukaan (*PGA*). Koefisien seismik horizontal, k_h , ditentukan sebesar 0,5 dari percepatan puncak horizontal dengan penentuan kelas situs dan faktor amplifikasi. Jika ditulis dalam sebuah rumus seperti pada **Persamaan 1** dan rumus koefisien gempa pada **Persamaan 2**.

$$k_h = 0,5PGA \quad \dots(1)$$

$$a = k_h F_{PGA} \quad \dots(2)$$

halmana:

- k_h = koefisien seismik horisontal,
- PGA = percepatan puncak di permukaan,
- F_{PGA} = faktor amplifikasi PGA ,
- a = koefisien gempa.

Faktor amplifikasi PGA dan periode 0,2 detik berdasarkan kelas situsnya ditentukan berdasarkan **Tabel 2**.

Tabel 2. Faktor Amplifikasi untuk PGA dan Periode 0,2 detik (F_{PGA} dan F_a)

Kelas Situs	$PGA \leq 0,1$	$PGA \leq 0,2$	$PGA \leq 0,3$	$PGA \leq 0,4$	$PGA \leq 0,5$
	$S_s \leq 0,25$	$S_s \leq 0,5$	$S_s \leq 0,75$	$S_s \leq 1,0$	$S_s \leq 1,25$
Batuan Keras (SA)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Batuan (SB)	1,0	1,0	1,0	1,0	1,0
Tanah Keras (SC)	1,2	1,2	1,1	1,0	1,0
Tanah Sedang (SD)	1,6	1,4	1,2	1,1	1,0
Tanah Lunak (SE)	2,5	1,7	1,2	0,9	0,9
Tanah Khusus (SF)	SS	SS	SS	SS	SS

(Sumber: AASHTO, 2012)

2.4 Metode Elemen Hingga

Metode elemen hingga membagi tanah menjadi unit-unit pisah yang disebut elemen hingga. Hal ini dapat dilihat pada unsur-unsur saling berhubungan pada titik simpulnya (*nodes*) dan batas yang sudah ditentukan. Kerapatan jaring-jaring elemen pada program PLAXIS 2D dapat diatur pada saat penentuan jenis *mesh*. Jenis *mesh* tersebut mempengaruhi kerapatan elemen, hasil analisis serta waktu yang diperlukan untuk analisis.

2.5 Metode *Shear Strength Reduction*

Metode ini sering juga disebut sebagai *phi - c reduction method* atau *initial stress method* yang didefinisikan suatu metode yang digunakan untuk menentukan nilai faktor keamanan (*safety factor*) dan umumnya pada pendekatan-pendekatan elemen hingga. Metode ini menentukan nilai faktor keamanan seperti pada **Persamaan 3**.

$$SF = \frac{c}{c_{reduce}} = \frac{\tan(\phi)}{\tan(\phi_{reduction})} \quad \dots (3)$$

Pendekatan metode *shear strength reduction* dari elemen hingga seperti pada **Persamaan 4**.

$$S = D\varepsilon \quad \dots (3)$$

halmana:

- S = tegangan [kN/m²],
- D = matriks kekakuan,
- ε = regangan.

Nilai kuat geser tanah (*shear strength*) tanah yang direduksi akan mempengaruhi *input* dan *output* dari matriks–matriks di atas sehingga dengan suatu pendekatan tertentu akan menghasilkan suatu nilai *safety factor* yang akan konvergen pada suatu batasan tertentu (galat / jumlah iterasi maksimum).

2.6 Total Stress Analysis

Total Stress Analysis (TSA) merupakan tinjauan kondisi jangka pendek (*short term*) untuk tanah dalam kondisi *undrained* atau kondisi ketika awal pekerjaan penimbunan sampai selesai dilaksanakan. *Total Stress Analysis* mengabaikan kondisi muka air tanah. Parameter tanah yang digunakan ialah kohesi (c_u) untuk tanah kohesif dan sudut geser dalam (ϕ) untuk tanah non kohesif.

2.7 Effective Stress Analysis

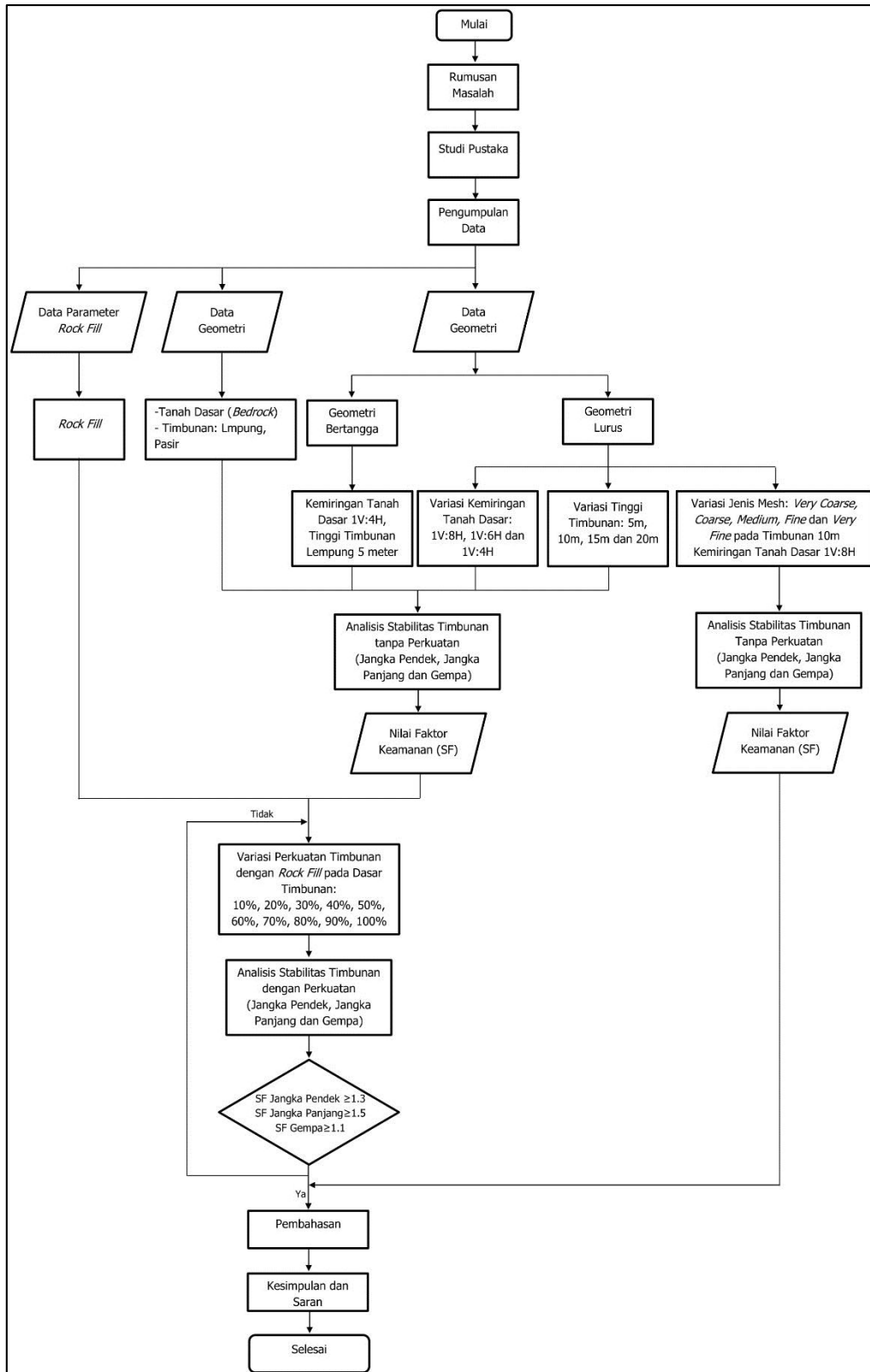
Effective Stress Analysis (ESA) merupakan tinjauan kondisi jangka panjang (*long term*) untuk tanah dalam kondisi *drained*. Kondisi jangka panjang dapat diartikan sebagai kondisi yang akan terjadi setelah pekerjaan penimbunan selesai dilaksanakan. *Effective Stress Analysis* tidak mengabaikan kondisi muka air tanah dan parameter yang digunakan adalah kohesi efektif (c') dan sudut geser dalam efektif (ϕ').

2.8 Effective Stress Analysis dan Gempa

Pengujian dalam kondisi ini membutuhkan data parameter tanah berupa kohesi efektif (c') dan sudut geser dalam efektif (ϕ') serta besar percepatan gempa (a) dari hasil perhitungan yang mengacu kepada SNI 8460:2017. Beban gempa ditambahkan pada analisis jangka panjang (*Effective Stress Analysis*), dikarenakan kecil kemungkinan terjadi gempa pada masa konstruksi (jangka pendek).

3. METODE PENELITIAN

Tahapan-tahapan analisis yang dilakukan dapat dilihat pada **Gambar 2**. Yang merupakan bagan alir analisis data.

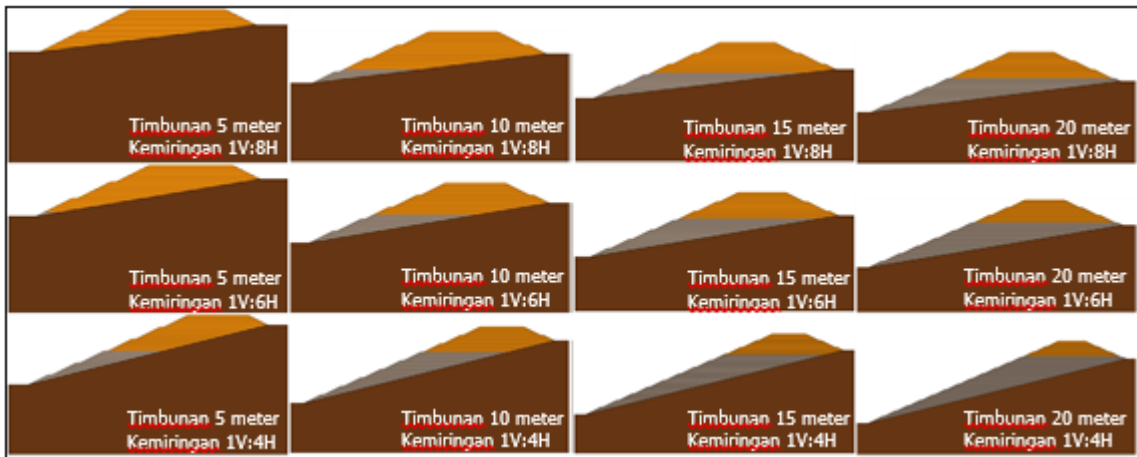


Gambar 2. Bagan alir penelitian

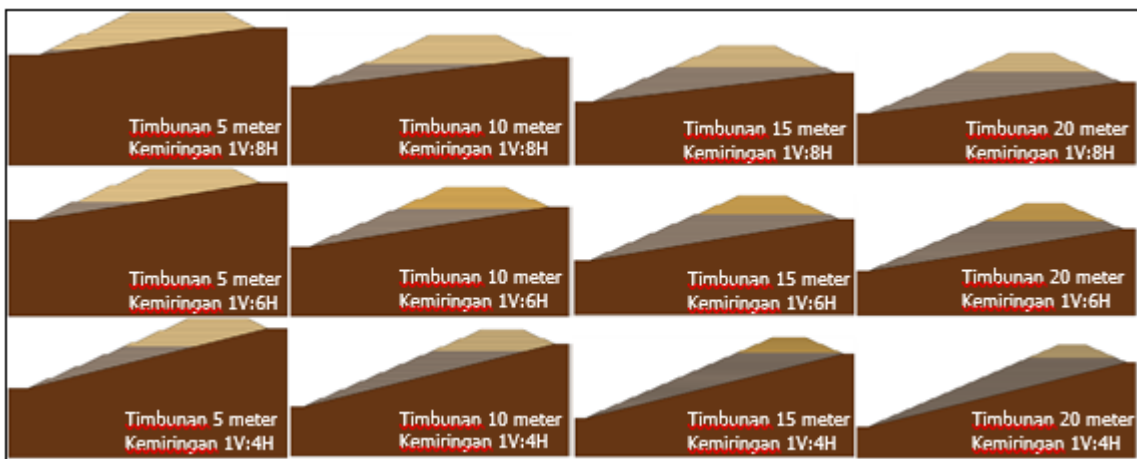
4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Model Geometri

Geometri dimodelkan dengan tinggi timbunan (ditinjau dari sudut kanan timbunan) 5 meter, 10 meter, 15 meter dan 20 meter terhadap kemiringan tanah dasar 1V:8H, 1V:6H dan 1V:4H. **Gambar 3** dan **Gambar 4** menunjukkan geometri yang dimodelkan serta kebutuhan perkuatan *rock fill* di setiap ketinggian timbunan. Geometri tanah dasar bertangga dengan ketinggian timbunan 5 meter pada tanah dasar 1V:4H dapat dilihat pada **Gambar 5**.



Gambar 3. Kebutuhan *rock fill* di setiap ketinggian timbunan lempung



Gambar 4. Kebutuhan *rock fill* di setiap ketinggian timbunan pasir



Gambar 5. Perbandingan model geometri tanah dasar lurus dengan bertangga

4.2 Parameter Tanah

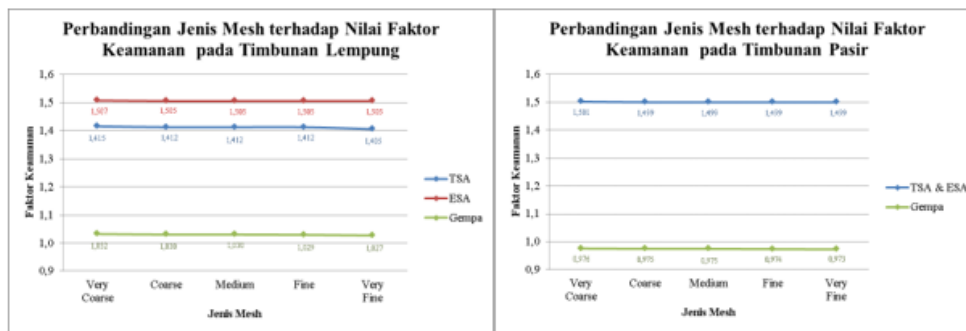
Parameter tanah dasar, material timbunan dan perkuatan (*rock fill*) diperoleh dari data Proyek Tol Probolinggo-Banyuwangi, halmana tanah dasar yang digunakan merupakan bedrock (batuan dasar) dan jenis material timbunan berupa tanah lempung dan pasir. Parameter-parameter yang digunakan dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Parameter Tanah Dasar, Tanah Timbunan dan Rock Fill

Jenis Tanah	Model Material	γ_{unsat}	γ_{sat}	E	c_u [kPa]	c' [kPa]	ϕ'	ψ	ν
Lempung	Mohr-Coulomb	16	17	$1,5 \times 10^4$	60	10	25	0	0,35
Pasir	Mohr-Coulomb	18	19	$2,0 \times 10^4$		4	30	0	0,3
Bedrock	Mohr-Coulomb	21	22	$1,0 \times 10^6$		5	45	15	0,1
Rock Fill	Mohr-Coulomb	20	21	$1,0 \times 10^6$		5	43	13	0,15

4.3 Analisis Perbandingan Jenis Mesh pada Geometri Timbunan 10 meter terhadap Kemiringan Tanah Dasar 1V:8H

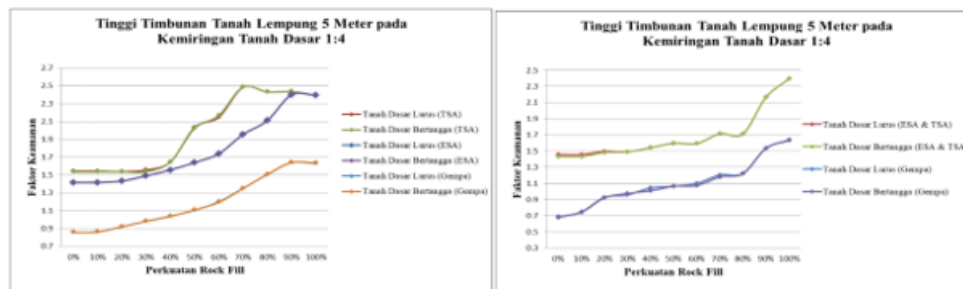
Perbedaan jenis *mesh* yang ditentukan pada suatu model geometri mempengaruhi jumlah elemen tanah yang terbagi juga pada hasil akhir kalkulasi, halmana *output* perhitungan yang dihasilkan berupa faktor keamanan. Dari hasil analisis perbedaan jenis *mesh*, dapat dilihat pada **Gambar 7** bahwa pengaruh yang dihasilkan tidak signifikan.



Gambar 7. Perbandingan jenis mesh terhadap nilai faktor keamanan timbunan lempung dan pasir

4.4 Perbandingan Analisis Kestabilan Timbunan pada Tanah Dasar Geometri Lurus dengan Bertangga

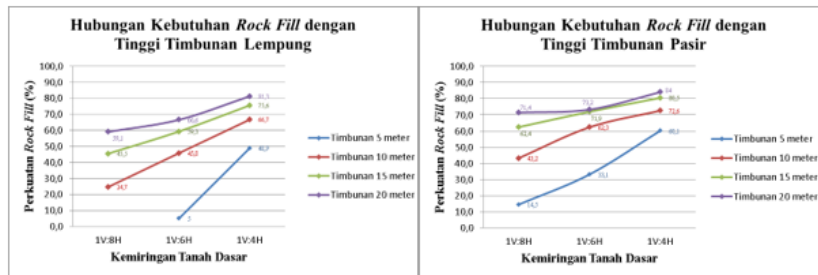
Pemodelan timbunan dengan geometri tanah dasar bertangga bertujuan untuk menganalisis seberapa besar pengaruhnya terhadap nilai faktor keamanan apabila geometri tanah dasar yang dimodelkan pada PLAXIS 2D bergerigi / bertangga. Analisis dilakukan ketika timbunan tanpa dan dengan perkuatan *rock fill* mulai dari 10%-100% (timbunan *full rock fill*). Analisis yang dikaji berupa kondisi jangka pendek (*Total Stress Analysis*), jangka panjang (*Effective Stress Analysis*) dan kondisi ketika terjadi gempa. Pemodelan geometri bertangga pada tanah dasar terbatas hanya pada kemiringan 1V:4H dengan tinggi timbunan 5 meter. Hasil analisis geometri tanah dasar bertangga dengan geometri tanah dasar lurus tidak menunjukkan pengaruh yang signifikan terhadap faktor keamanan, dapat dilihat pada **Gambar 8**.



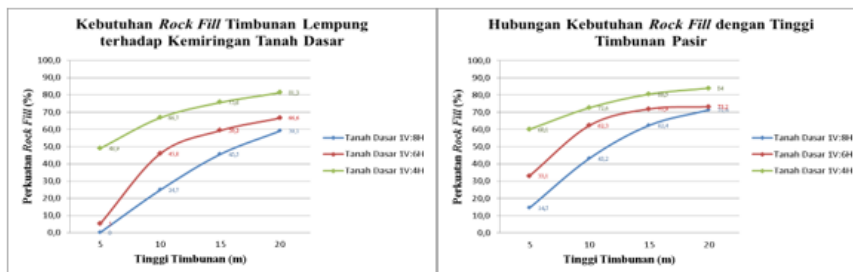
Gambar 8. Perbandingan analisis kestabilan timbunan pada tanah dasar geometri lurus dengan tanah dasar geometri bertangga

4.5 Analisis Stabilitas Timbunan pada Tanah Dasar Berbentuk Lereng

Geometri yang dimodelkan yaitu timbunan dengan tinggi 5 meter, 10 meter, 15 meter dan 20 meter terhadap tanah dasar 1V:8H, 1V:6H dan 1V:4H. Analisis dilakukan ketika timbunan tanpa dan dengan perkuatan rock fill 10%-100% dengan interval perkuatan tiap 10%. Dari hasil analisis diperoleh kebutuhan *rock fill* agar nilai faktor keamanan terpenuhi, dapat dilihat pada **Gambar 12** sampai **Gambar 17**. Kebutuhan *rock fill* masing-masing timbunan dilihat pada **Gambar 9**, kemiringan tanah dasar mempengaruhi nilai faktor keamanan pada timbunan lempung maupun pasir, sehingga semakin curam kemiringan tanah dasar maka membutuhkan perkuatan *rock fill* yang lebih tinggi agar nilai faktor keamanan terpenuhi. Kemiringan tanah dasar 1V:4H menghasilkan Kebutuhan *rock fill* tertinggi disetiap ketinggian timbunan.

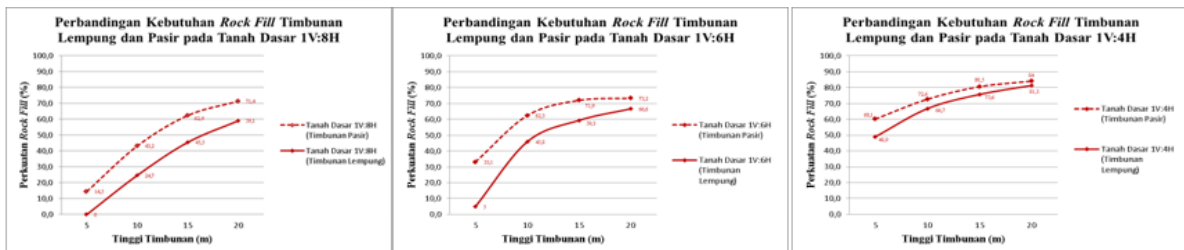


Gambar 9. Kebutuhan *rock fill* pada timbunan di setiap kemiringan tanah dasar



Gambar 10. Kebutuhan *rock fill* di setiap ketinggian timbunan lempung dan pasir

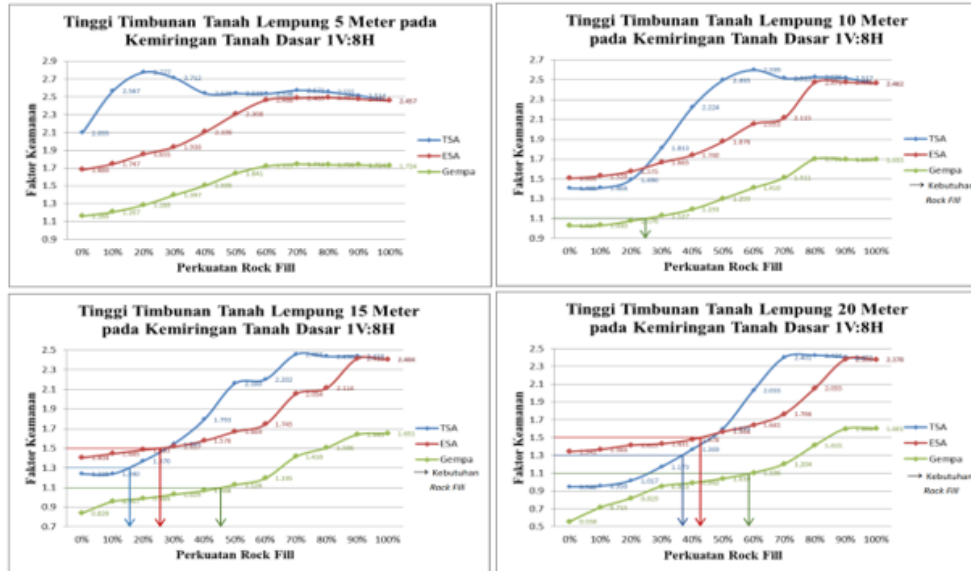
Gambar 10 menunjukkan ketinggian timbunan mempengaruhi nilai faktor keamanan, sehingga semakin tinggi timbunan maka membutuhkan perkuatan *rock fill* yang lebih tinggi agar nilai faktor keamanan terpenuhi. Ketinggian timbunan 20 meter menghasilkan kebutuhan *rock fill* tertinggi di setiap kemiringan tanah dasar.



Gambar 11. Perbandingan kebutuhan *rock fill* pada timbunan lempung dan pasir

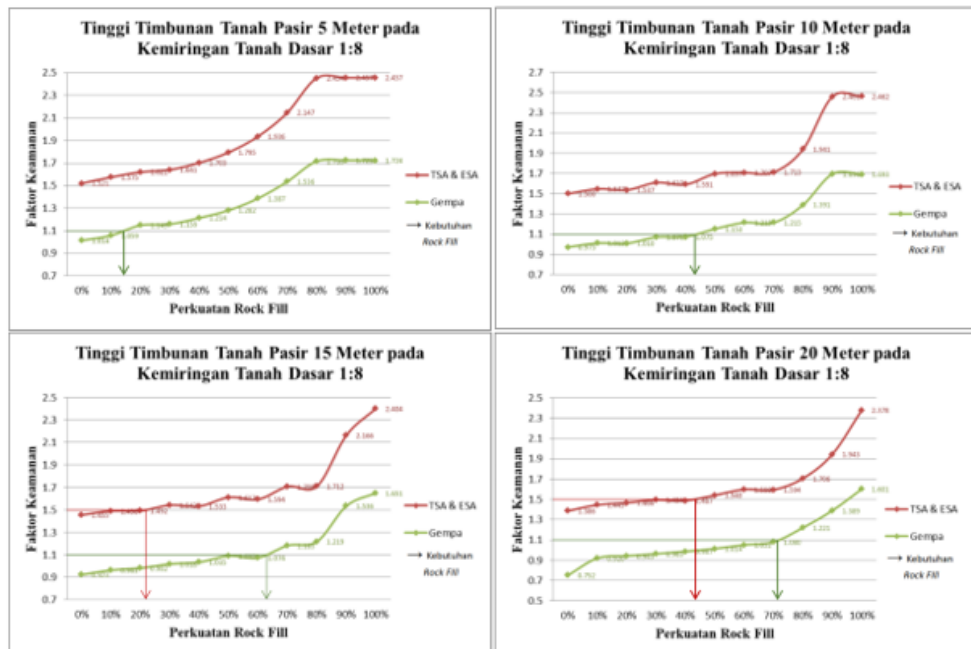
Dari grafik pada **Gambar 11** dapat dilihat perbandingan kebutuhan *rock fill* pada timbunan lempung dan pasir, timbunan pasir membutuhkan *rock fill* lebih tinggi daripada timbunan lempung, dikarenakan nilai faktor keamanan kondisi gempu timbunan pasir lebih rendah dari timbunan lempung.

Analisis Stabilitas Timbunan pada Tanah Dasar Berbentuk Lereng dengan Metode Elemen Hingga



Gambar 12. Grafik nilai faktor keamanan timbunan lempung pada tanah dasar 1V:8H

Dari grafik pada **Gambar 12** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan lempung yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Pada kondisi gempa terjadi penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 59,1% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan lempung 20 meter terhadap kemiringan tanah dasar 1V:8H.

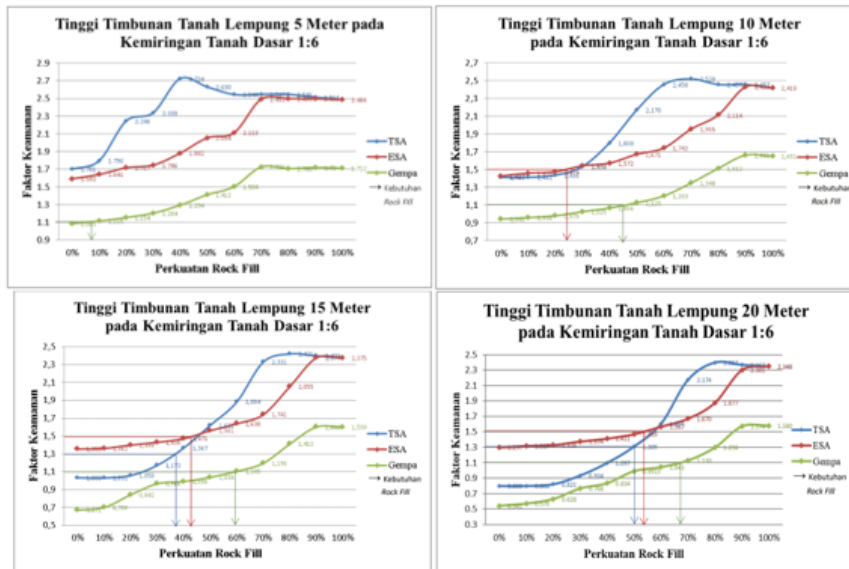


Gambar 13. Grafik nilai faktor keamanan timbunan pasir pada tanah dasar 1V:8H

Dari grafik pada **Gambar 13** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan pasir yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Pada kondisi gempa terjadi penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 71,4% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan pasir 20 meter terhadap kemiringan tanah dasar 1V:8H. Kebutuhan *rock fill* masing-masing ketinggian timbunan pada **Tabel 4**.

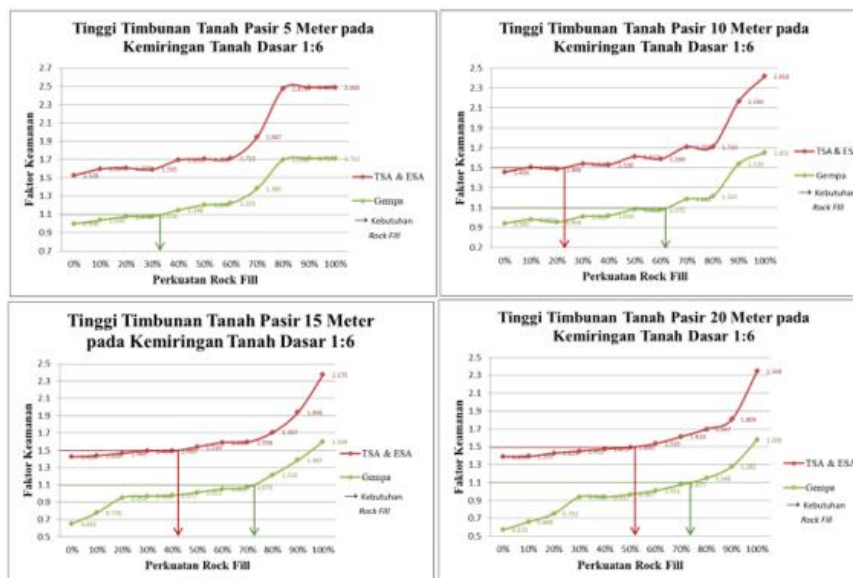
Tabel 4. Kebutuhan *Rock fill* Timbunan pada Kemiringan Tanah Dasar 1V:8H

Tinggi Timbunan		Timbunan Lempung		Timbunan Pasir	
Dari Sudut Kanan Timbunan [m]	Dari Sudut Kiri Timbunan [m]	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>
5	14	0% / 0 m		14,5% / 2 m	
10	23	24,7% / 5,7 m		43,2% / 9,9 m	2,98
15	31	45,5% / 14,1 m	1,84	62,4% / 19,3 m	1,44
20	41	59,1% / 24,2 m	1,30	71,4% / 29,3 m	1,14



Gambar 14. Grafik nilai faktor keamanan timbunan lempung pada tanah dasar 1V:6H

Dari grafik pada **Gambar 14** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan lempung yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 66,6% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan lempung 20 meter terhadap kemiringan tanah dasar 1V:6H.

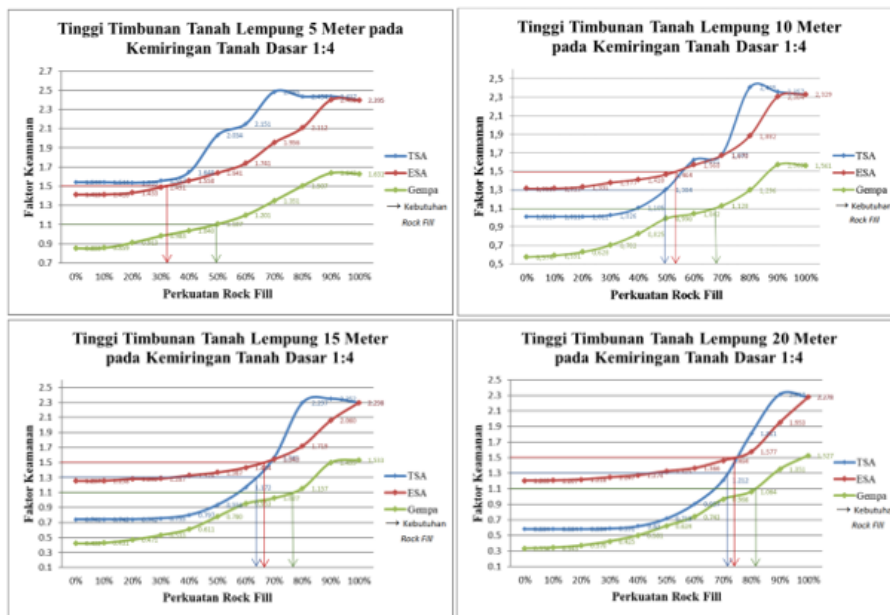


Gambar 15. Grafik nilai faktor keamanan timbunan pasir pada tanah dasar 1V:6H

Dari grafik pada **Gambar 15** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan pasir yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 73,2% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan pasir 20. Dari hasil analisis timbunan pada kemiringan tanah dasar 1V:6H menggunakan program PLAXIS 2D, didapat kebutuhan *rock fill* masing-masing ketinggian timbunan pada **Tabel 5**.

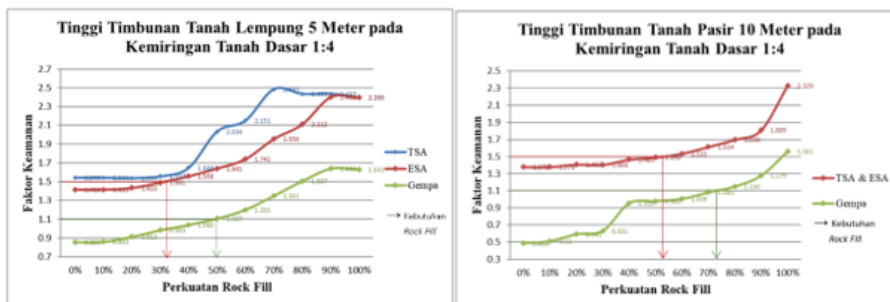
Tabel 5. Kebutuhan *Rock Fill* Timbunan pada Kemiringan Tanah Dasar 1V:6H

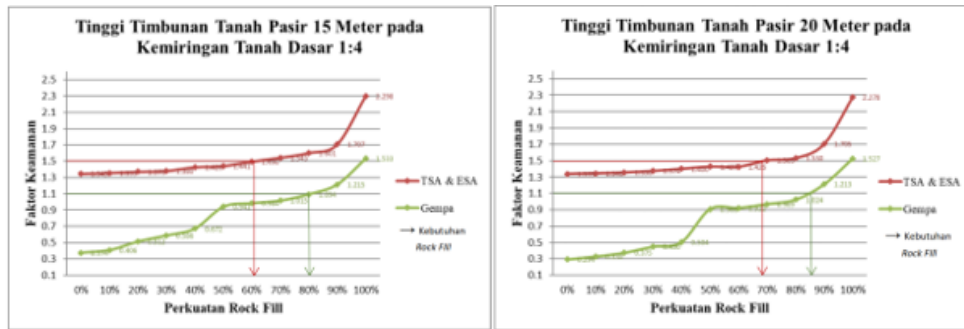
Tinggi Timbunan		Timbunan Lempung		Timbunan Pasir	
Dari Sudut Kanan Timbunan [m]	Dari Sudut Kiri Timbunan [m]	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>
5	18	5% / 0,9 m		33,1% / 5,9 m	
10	30	45,8% / 13,7 m	9,16	62,3% / 18,7 m	1,88
15	42	59,3% / 24,9 m	1,29	71,9% / 30,2 m	1,15
20	53	66,6% / 35,3 m	1,12	73,2% / 38,8 m	1,02



Gambar 16. Grafik nilai faktor keamanan timbunan lempung pada tanah dasar 1V:4H

Dari grafik pada **Gambar 16** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan lempung yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Pada kondisi gempa terjadi penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 81,3% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan lempung 20 meter terhadap kemiringan tanah dasar 1V:4H.





Gambar 17. Grafik nilai faktor keamanan timbunan pasir pada tanah dasar 1V:4H

Dari grafik pada **Gambar 17** dapat dilihat nilai faktor keamanan timbunan pasir yang semakin meningkat akibat adanya perkuatan *rock fill*. Pada kondisi gempa terjadi penurunan nilai faktor keamanan yang cukup signifikan. Kebutuhan *rock fill* tertinggi sebesar 84% yang berada pada kondisi gempa dengan ketinggian timbunan pasir 20 meter. Dari hasil analisis timbunan pada kemiringan tanah dasar 1V:4H menggunakan program PLAXIS 2D, didapat kebutuhan *rock fill* masing-masing ketinggian timbunan pada **Tabel 6**.

Tabel 6. Kebutuhan *Rock Fill* Timbunan pada Kemiringan Tanah Dasar 1V:4H

Tinggi Timbunan		Timbunan Lempung		Timbunan Pasir	
Dari Sudut Kanan Timbunan [m]	Dari Sudut Kiri Timbunan [m]	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>	Kebutuhan <i>Rock Fill</i> (Ditinjau Dari Sudut Kiri Timbunan)	Rasio Peningkatan Kebutuhan <i>Rock Fill</i>
5	35	48,9% / 17,1 m		60,1% / 21 m	
10	54	66,7% / 36 m	1,36	75,6% / 39,2 m	1,21
15	73	75,6% / 54,4 m	1,13	80,5% / 58,8 m	1,11
20	92	81,3% / 74,7 m	1,08	84% / 77,3 m	1,04

5. KESIMPULAN

Hasil analisis dengan program PLAXIS 2D dapat disimpulkan bahwa ketinggian timbunan dan kemiringan tanah dasar mempengaruhi nilai faktor keamanan terutama pada timbunan yang tinggi dan kemiringan tanah dasar yang curam. *Rock fill* yang digunakan sebagai perkuatan timbunan terbukti berpengaruh dalam meningkatkan faktor keamanan. Gempa sangat mempengaruhi kestabilan timbunan, halmana nilai faktor keamanan akan semakin menurun. Geometri tanah dasar yang dimodelkan betangga/bergerigi tidak memberikan pengaruh yang signifikan terhadap nilai faktor keamanan jika dibandingkan dengan geometri tanah dasar yang lurus. Penggunaan jenis *mesh* pada penelitian ini tidak berpengaruh besar terhadap perubahan nilai faktor keamanan, dikarenakan geometri lapis timbunan relatif rapat, sehingga jaring-jaring elemen pada jenis *mesh* kasar dan halus tidak jauh berbeda.

DAFTAR RUJUKAN

- AASHTO. 2012. *American Association of State Highway and Transportation Officials, AASHTO Guide Specifications for LRFD Seismic Bridge Design, 2nd Edition*.
- Badan Standarisasi Nasional, (2017): *Persyaratan Perancangan Geoteknik, SNI 8460-2017*, Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.