

ANALISA STABILITAS LERENG CLAYSHALE PADA PEKERJAAN PEMBANGUNAN JALAN TOL BAWEN-SALATIGA PAKET 3.1 STA 22+900 – STA 23+500

Fathan Zul Waskito, Goji Pamungkas, Siti Hardiyati^{*)}, Kresno Wikan Sadono^{*)}

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro
Jl. Prof Soedarto, Tembalang, Semarang. 50239, Telp.: (024)7474770, Fax.: (024)7460060

ABSTRAK

Penyediaan jalan tol di pulau Jawa telah mengalami perkembangan yang pesat. Pada ruas Solo - Semarang, tahap pembangunannya telah sampai pada paket 3 Bawen - Salatiga. Ruas paket 3 ini mempunyai kesulitan pada paket 3.1 antara Sta 22+900 - Sta 23+500 karena terletak pada area deposit clayshale (Formasi Kerek). Berdasarkan data N-SPT yang didapatkan dari uji Bor untuk konstruksi galian, tidak ditemukan unsur clayshale pada perlapisannya. Dari deskripsi tanah dan tinjauan geologi, mayoritas perlapisan didominasi oleh tuff breccia dengan fragmen andesite. Pada zona timbunan STA 22+975 telah dilakukan uji sondir yang dikonfirmasi dengan geolistrik menunjukkan adanya deposit batu lempung yang merupakan material utama Formasi Kerek. Dengan demikian, lereng timbunan merupakan zona paling rentan terhadap gerakan tanah. Dengan menggunakan bantuan software Plaxis 8.2 dan Slope/W 2007, hasil analisis FEM dibandingkan dengan metode LEM. FoS yang dihasilkan antara kedua metode tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Untuk hasil perhitungan beban statik, konstruksi galian dan timbunan FoS lebih dari kriteria minimum yang disyaratkan oleh USACE (FoS > 1.30). FoS timbunan dengan 2 konfigurasi mempunyai nilai yang besar. Aplikasi beban gempa sesuai peta zona gempa tahun 2010 dengan nilai akselerasi 0.44g menghasilkan FoS yang beragam. Untuk tinjauan keamanan terhadap galian, nilai FoS masih lebih besar dari kriteria min > 1.10.

kata kunci: Clayshale, FoS, Lereng, Galian dan Timbunan

ABSTRACT

The attempt to provide toll road in Java has been developed rapidly. In the Solo-Semarang route, the construction has reached packet 3 Bawen-Salatiga. An issue in packet 3 appeared in packet 3.1 between Sta 22+900 - Sta 23+500 because it is located in a clayshale deposit area (Kerek Formation). Based on the N-SPT data obtained from drill test for excavation structure, clayshale was not found in the layer. From the soil description and geological review, the layer was dominated by tuff breccia with andesite fragment. In the embankment of STA 22+975, CPT and geoelectric tests were taken and the result from geoelectric showed the presence of claystone which is the main material of Kerek Formation. Therefore, the embankment is the weakest zone by ground movement. FEM analysis results were compared using LEM method by Plaxis 8.2 and Slope/W 2007.

^{*)} Penulis Penanggung Jawab

FoS acquired from the two methods showed insignificant changes. The static load calculation result proved that the FoS of excavation and embankment structure was bigger than the minimum standard required by USACE ($FoS > 1.30$). FoS of embankment with two configurations had a considerable value. The application of quake load in accordance with 2010 earthquake zone map with 0.44 g acceleration revealed a variety of FoS. In terms of the security over the excavation, the FoS was bigger than the minimum requirement, which is > 1.10 .

keywords: *Clayshale, FoS, Slope, Cut and Fill*

PENDAHULUAN

Perkembangan penduduk dan ekonomi yang ada di Jawa Tengah khususnya pada daerah Semarang - Solo telah berkembang dengan pesat. Pembangunan tol ini termasuk dalam proyek jalan 1000 km yang nantinya akan terkoneksi dengan tol Solo - Kertosono. Dengan adanya infrastruktur baru ini, volume kegiatan ekonomi di Jawa Tengah makin meningkat jumlahnya. Berdasarkan peta geologi lembaran Magelang dan Semarang, jalan tol Semarang - Solo pada STA 22 + 975 sampai 23 + 500 berdiri di atas Formasi Kerek (Tmk), Pada wilayah ini, jenis batuan dan tanahnya didominasi oleh material alterasi batu lempung, breksi vulkanik, batu pasir tufan, batu gamping dan material batuan sedimen lainnya. Selain itu, daerah tersebut merupakan wilayah pelonggokan longsoran dan rombakan lereng (*landslides and talus deposits*).

Longsoran yang terjadi sering mengakibatkan infrastruktur lain terganggu. Trase jalan tol STA 23+200 - 23+225 memotong jalur menara SUTET ke arah timur sehingga pada konstruksi galian perlu ditinjau apakah menara SUTET akan mengalami deformasi yang signifikan. Pada lokasi STA 22+975, konstruksi timbunan terletak di atas lapisan *clayshale* dan material lapukan batuan. Lapisan atasnya terdiri atas tanah lapukan breksi vulkanik dan breksi-tuffaan yang sifatnya sebagai *pervious material*. Ketika hujan terjadi, lapisan atas dengan mudah meloloskan air ke lapisan *clayshale* yang lemah sehingga terbentuk bidang gelincir.

METODOLOGI PENELITIAN

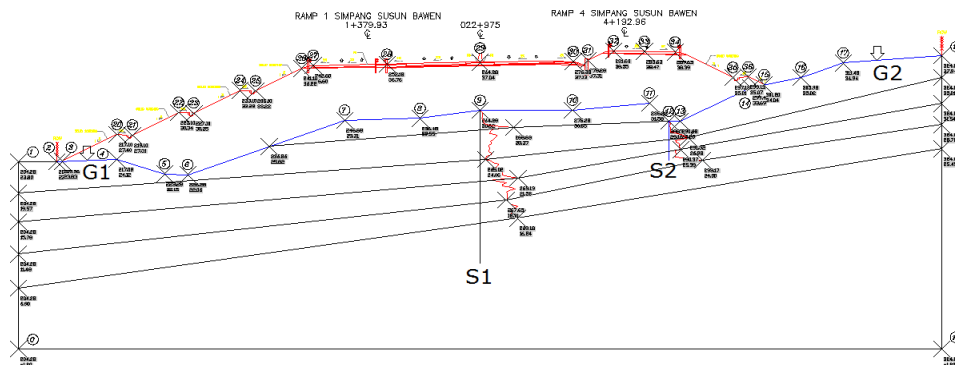
Dalam melaksanakan penelitian ini, metode analisis yang digunakan untuk mencari kestabilan lereng adalah dengan membandingkan hasil FEM dan LEM. Penentuan kuat geser dan parameter tanah lainnya didasarkan atas pengujian laboratorium dan lapangan berupa data N-SPT dan sondir. Pada bagian timbunan hanya dilakukan uji lapangan sejumlah 2 titik sondir. Untuk mengkonfirmasi adanya lapisan *clayshale* di bawahnya, perlu dilakukan uji geolistrik. Tipe geolistrik yang digunakan adalah Schlumberger dengan 2 katoda. Tinjauan angka keamanan hanya dapat dilakukan sejauh fase *end of construction*. Beban gempa dengan metode pseudostatik diaplikasikan untuk mengetahui respon jangka pendek jika gempa terjadi.

KOMPILASI DATA GEOTEKNIK

Pada STA 23+200 dan 23+225, bor titik 1 dengan kedalaman SPT hingga 34 meter didapatkan stratifikasi 3 lapisan. Lapisan pertama dengan ketebalan 4 meter didominasi

material tanah lanau, lapisan kedua dengan ketebalan 19 meter didominasi material lanau kepasiran, dan pada lapisan ketiga dimulai pada kedalaman 24 meter hingga titik *end of boring* didominasi material lanau kepasiran dengan fragmen andesit. Perlapisan pada bor 2 dan 3 tidak berbeda dengan bor 1. Ketebalan lapisan pertama makin bervariasi cenderung lebih tipis. Demikian juga dengan lapisan kedua dan ketiga. Lapisan tanah keras dengan SPT >60 makin dangkal pada bor 2 dan 3. Secara umum, permukaan tanah hingga ketebalan 3 - 4 meter merupakan lanau kelepungan yang berasal dari lapukan batuan sedimen breksi gunung api dengan masa dasar *tuff*, *vitric tuff*, *ash tuff*. Terdapat boulder-boulder yang merupakan fragmen dari batuan beku andesit dengan masa dasar *tuff*. Dengan karakteristik matriks berupa *tuff*, maka lapisan tanah pada lokasi tersebut merupakan *viscous meterial* atau lulus air.

Seperti yang sudah diuraikan sebelumnya, bahwa uji lapangan yang dilakukan pada STA 22+975 adalah uji sondir. Hasil uji sondir memperlihatkan nilai yang cukup tinggi pada lapisan di bawah -2.00m. Lapisan permukaannya memiliki daya dukung yang rendah dikarenakan terjadinya pelapukan akibat kontak dengan lingkungan, perubahan cuaca dan perubahan suhu. Untuk mengetahui ketebalan lapisan *clayshale* yang ada dilokasi, sebelumnya dilakukan uji geolistrik sebanyak 2 titik. Pengujian geolistrik dilakukan pada kedua sisi timbunan untuk mendapatkan korelasi yang berkaitan dengan proses stratifikasi lapisan tanah di bawahnya. Dari hasil geolistrik dapat disimpulkan bahwa hingga kedalaman 45 meter dari permukaan lerengnya, stratifikasi tanah masih didominasi oleh lapisan batu lempung yang berupa *clayshale* dengan beberapa batu pasir.



Gambar 1. Plot lokasi Sondir (S) dan Geolistrik (G) STA 22+975

Tabel 1. Interpretasi Litologi Penampang Geolistrik Titik G1

Lapisan	Harga Resistiviti (ohm m)	Ketebalan (meter)	Interpretasi Litologi
1	0.57	0 – 5	Top Soil
2	2.04	5 – 22.25	Batu Lempung
3	360	22.25 – 55	Breksi

Tabel 2. Interpretasi Litologi Penampang Geolistrik Titik G2

Lapisan	Harga Resistiviti (ohm m)	Ketebalan (meter)	Interpretasi Litologi
1	1.08	0 – 2.25	Top Soil
2	58	2.25 – 7.5	Batu Lempung
3	3.6	7.5 – 15	Batu Lempung
4	2.03	15 – 27.5	Batu Lempung
5	6.08	27.5 – 45	Batu Lempung

HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum melakukan analisis FEM dan LEM, terlebih dahulu ditentukan parameter tanah tiap lapisan sesuai dengan model yang telah dibuat pada bagian sebelumnya. Parameter yang diperlukan meliputi *cohesion*, *internal friction of angle*, *unit weight*, dan *modulus elastic of soil*. Dalam menentukan Cu berdasarkan N-SPT, korelasi yang digunakan adalah 5N. Untuk mendapatkan parameter residual, *clay shale* pada STA 22+975 diambil sampelnya untuk diuji hidrometer dan *atterberg limit*. Hasil uji sampel menunjukkan besaran nilai LL 77.5% dan CF 35%. Jika dimasukkan ke dalam grafik usulan Stark et al (2012), besarnya ϕ_r adalah 18° dengan aplikasi tegangan normal efektif in situ sebesar 50 kPa. Parameter residual ini dipakai untuk mengisi *cluster interface* sebesar 18/1.30 = 13.84° dimana 1.30 diambil sebagai Faktor angka aman.

Tabel 3. Parameter Tanah STA 23+200 dan STA 23+225

Layer	Identifikasi	Unit Weight	Unit Weight	Cohession (C)	Internal Friction of Angles (ϕ)
		Unsat (γ -unsat)	Satn (γ -sat)		
		kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	degrees
1	Lanau kelepungan tuffan	12.67	16	26.67	1.0
2	Lanau kepasiran tuffan	14.67	16.67	54.72	1.0
3	Lanau kepasiran dengan butir kasar.	17	18	163.89	1.0
4	Lanau kepasiran dengan butir kasar.	17.7	19.3	228.33	1.0
5	Lanau kepasiran sangat kaku dengan butir kasar.	18	20	271.67	1.0

Tabel 4. Parameter Tanah STA 22+975

Layer	Identifikasi	Unit Weight	Unit Weight	Cohession (C)	Internal Friction of Angles (ϕ)
		Unsat (γ -unsat)	Sat (γ -sat)		
		kN/m ³	kN/m ³	kN/m ²	degrees
1	Lempung tufaan	14	16.5	39.72	1.0
2	Lapukan <i>Clayshale</i>	15	16.5	60.61	1.0
3	<i>Clayshale</i> dan sisipan batupasir	15	16.5	116.38	1.0
4	<i>Clayshale</i> dan sisipan batupasir	15	16.5	148.75	1.0
5	<i>Hard Clayshale</i> dan sisipan batupasir	16.5	17.5	193.05	1.0
6	<i>Embankment (selected material)</i>	17	19	50	25
7	<i>Interface layer</i>	14	16	1	13.80

Besarnya percepatan gempa didapatkan dari peta zona gempa, koefisien zona gempa dan percepatan gempa dasar.

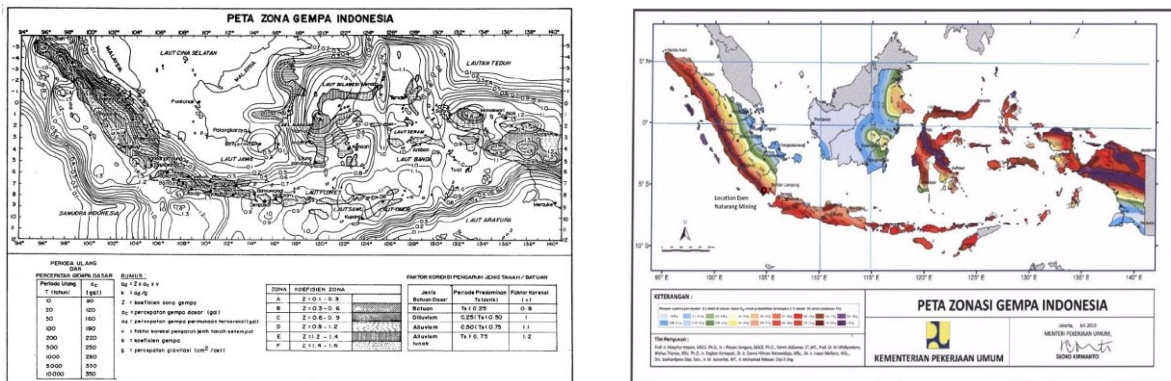
$$ad = z \times ac \times v \dots\dots\dots (1)$$

$$ad = 0.5 \times 981 \text{ (gal)} \times 0.8 = 392.4 \text{ gal}$$

dimana:

- ac = percepatan gempa dasar adalah 1.0g= 9.8m/s² = 980 gal (periode ulang 1000 tahun atau MCE) peta zona Gempa Indonesia tahun 2010.
- z = koefisien zona gempa 0.5, daerah Bawen termasuk zona B dengan koefisien zona berada pada 0.3 dan 0.6.

v = koreksi pengaruh jenis tanah setempat 0.8 (breccia tuff dengan fragmen andesit dan clayshale dianggap sebagai batuan).



Gambar 2. Peta Zona Gempa Kementerian Pekerjaan Umum 2010

Berikut ini disajikan berbagai percepatan dengan berbagai tinjauan bidang gelincir dengan berbagai variasi bidang gelincir mulai dari 0.25H, 0.5H, 0.75H dan 1.0 H.

$$K_h = a_d/g \dots\dots\dots (2)$$

$$K_h = 392.4 \text{ gal} / 980 \text{ gal} = 0.40 \text{ g}$$

$$K_0 = \alpha_2 \times K_h \dots\dots\dots (3)$$

$$K_0 = 0.5 \times 0.40 = 0.20 \text{ g}$$

$$K = K_0 \times (2.5-1.85 y/H) \dots\dots\dots (4)$$

$$y/H = 0.25 ; K = K_0 \times (2.5-1.85 y/H) = 0.20 \text{ g} \times (2.5-1.85 \times 0.25) = 0.40 \text{ g}$$

$$y/H = 0.5 ; K = K_0 \times (2.5-0.60 y/H) = 0.20 \text{ g} \times (2.5-0.60 \times 0.5) = 0.44 \text{ g}$$

$$y/H = 0.75 ; K = K_0 \times (2.5-0.60 y/H) = 0.20 \text{ g} \times (2.5-0.60 \times 0.75) = 0.41 \text{ g}$$

$$y/H = 1.0 ; K = K_0 \times (2.5-0.60 y/H) = 0.20 \text{ g} \times (2.5-0.60 \times 1) = 0.38 \text{ g}$$

Dari perhitungan di atas, percepatan gempa yang akan diaplikasikan sebesar 0.44g dengan arah percepatan gempa sesuai dengan perkiraan bidang gelincir pada perhitungan statik sebelumnya. Percepatan gempa tersebut berlaku untuk timbunan dan galian. Dalam analisis ini, kohesi pada material tanah $C_u = (1.5 - 2.0) C_{u,static}$.

Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, kestabilan lereng dengan beban statik pada seluruh STA tinjauan masih berada pada kondisi aman. Pada STA 23+200, beberapa analisis menunjukkan angka aman FoS berada di bawah 1.30 menurut kriteria penerimaan oleh *U.S. Army Corps of Engineers (USACE 1986)*. Pengambilan nilai $C_u = 5N$ masih di bawah korelasi yang umum dipakai, yaitu $C_u = (6-7) N$. Besarnya kuat geser yang diaplikasikan masih dapat ditingkatkan, sehingga angka aman 1.29 masih dapat diterima. Bidang gelincir yang terjadi tidak memotong konstruksi SUTET sehingga tidak mempengaruhinya. Namun, pada STA 23+225, konstruksi SUTET terpotong oleh bidang gelincir. Untuk bagian timbunan pada STA 22+975, dibuat 2 model perhitungan dengan perbedaan berada pada tipe dasar timbunan. Penggalian dasar timbunan dimaksudkan untuk meningkatkan kekuatan geser. Namun, dari hasil analisis yang telah dilakukan menunjukkan bahwa penggalian tidak mengindikasikan terjadinya peningkatan FoS dibandingkan dengan bentuk yang biasa. Hal ini dimungkinkan terjadi karena sampai lapisan kedua masih mempunyai nilai C_u yang belum memenuhi terjadinya peningkatan FoS. Penggalian dasar

timbunan sedalam 4 meter seperti yang telah dimodelkan tentunya juga akan meningkatkan biaya konstruksi. Jika hasil FoS tidak signifikan, model T1 tidak relevan untuk diterapkan.

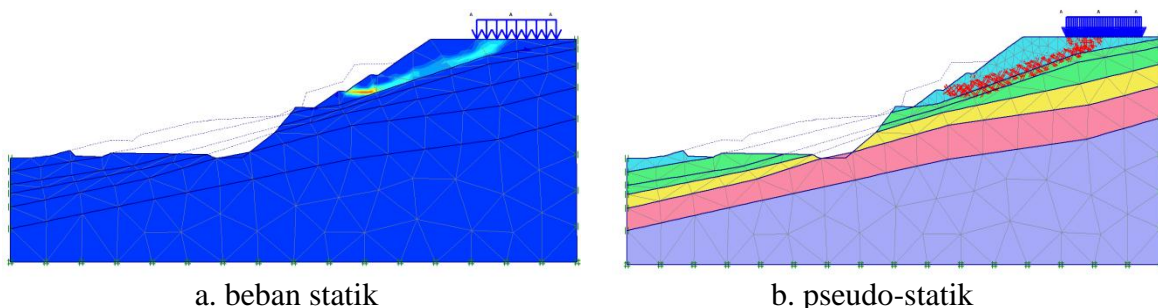
Hasil analisis dengan pengaruh percepatan gempa secara horizontal menunjukkan angka aman yang tereduksi dengan nilai yang bervariasi. Pada konstruksi galian STA 23+200 dan STA 23+250, bidang gelincir yang terjadi makin membesar dan mulai mempengaruhi konstruksi SUTET. Konstruksi yang rentan dengan terhadap pengaruh gempa adalah konstruksi timbunan pada STA 22+975. Berdasarkan perhitungan LEM dan FEM, seluruh FoS yang dihasilkan berada di bawah kriteria penerimaannya, yakni <1.10. Hal ini disebabkan oleh adanya lapisan interface yang tereduksi dan telah mencapai pada nilai residualnya. Interface pada dasar timbunan ini akan memicu mobilisasi material timbunan sehingga terjadi gerakan tanah. Meskipun material timbunan mengalami kenaikan kuat geser akibat beban gempa, interface yang tereduksi inilah yang memegang peranan dalam menentukan FoS.

Tabel 5. Rekapitulasi FoS pada seluruh STA tinjauan (*Static Loading*)

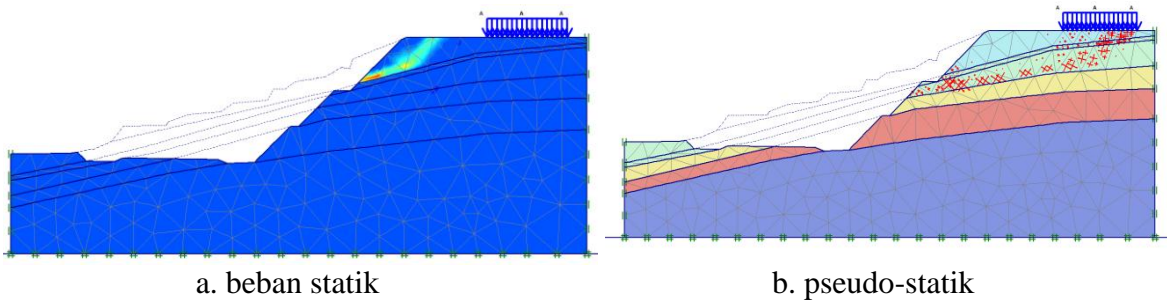
STA	FEM	LEM	Remarks
23+200 <i>Natural slope</i>	1.296	1.363	<i>Acceptable</i>
23+200 <i>Excavated slope</i>	1.385	1.297	<i>Acceptable</i>
23+225 <i>Natural slope</i>	1.665	1.614	<i>Acceptable</i>
23+225 <i>Excavated slope</i>	1.576	1.409	<i>Acceptable</i>
22+975 T1	1.582	1.750	<i>Acceptable</i>
22+975 T2	1.802	2.157	<i>Acceptable</i>

Tabel 6. Rekapitulasi FoS pada seluruh STA tinjauan (*Pseudo-static Loading*)

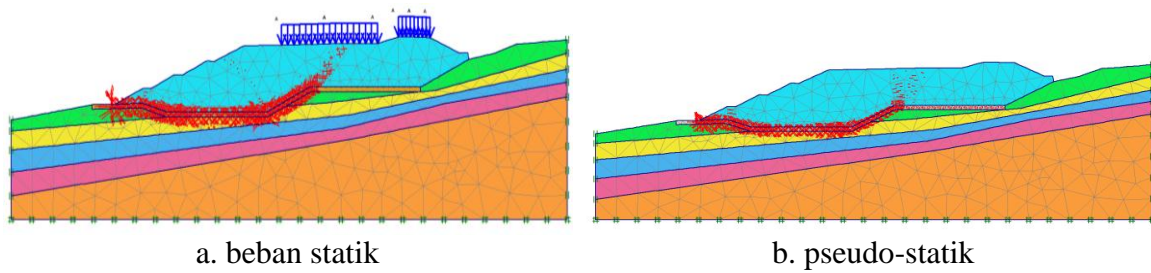
STA	FEM	LEM	Remarks
23+200 <i>Natural slope</i>	1.104	1.112	<i>Acceptable</i>
23+200 <i>Excavated slope</i>	1.329	1.116	<i>Acceptable</i>
23+225 <i>Natural slope</i>	1.436	1.275	<i>Acceptable</i>
23+225 <i>Excavated slope</i>	1.377	1.343	<i>Acceptable</i>
22+975 T1	0.306	0.479	<i>Not Acceptable</i>
22+975 T2	0.468	0.705	<i>Not Acceptable</i>



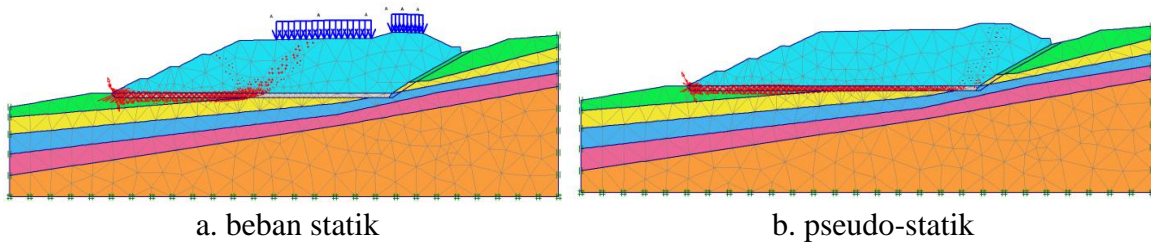
Gambar 3. Bidang Gelincir STA 23+200 FEM Plaxis 8.2



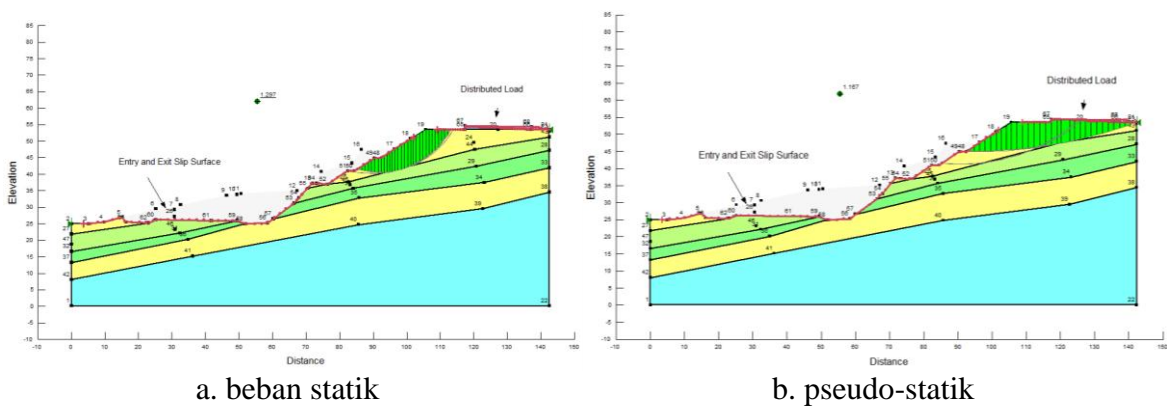
Gambar 4. Bidang Gelincir STA 23+225 FEM Plaxis 8.2



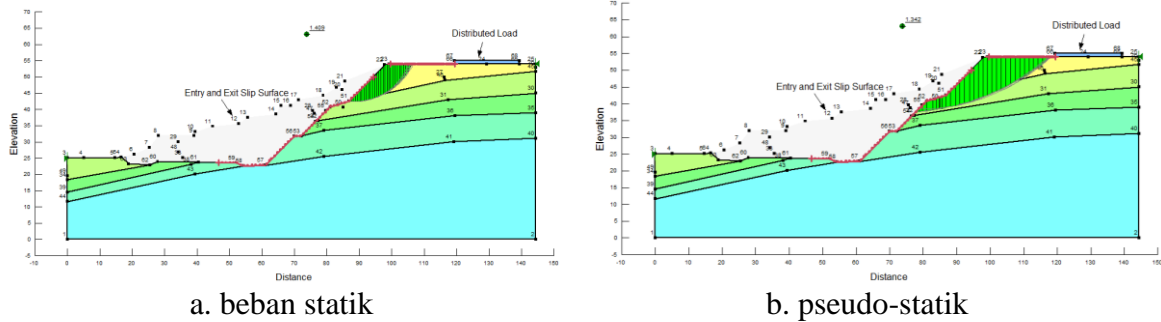
Gambar 5. Bidang Gelincir STA 22+975T1 FEM Plaxis 8.2



Gambar 6. Bidang Gelincir STA 22+975T2 FEM Plaxis 8.2



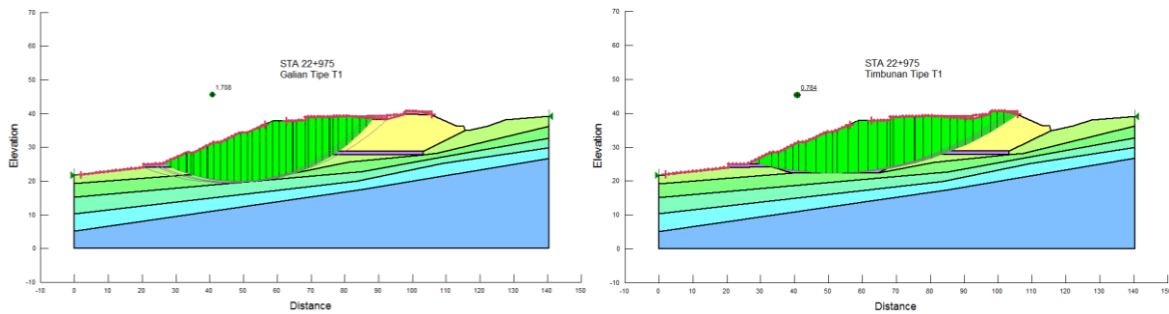
Gambar 7. Bidang Gelincir STA 23+200 Slope/W 2007



a. beban statik

b. pseudo-statik

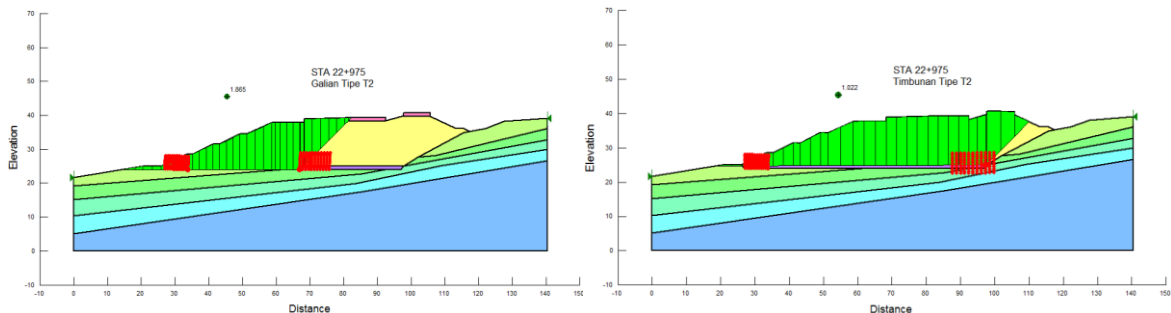
Gambar 8. Bidang Gelincir STA 23+225 Slope/W 2007



a. beban statik

b. pseudo-statik

Gambar 9. Bidang Gelincir STA 22+975 T1 Slope/W 2007



a. beban statik

b. pseudo-statik

Gambar 10. Bidang Gelincir STA 22+975 T2 Slope/W 2007

STA 23+200 dan 23+225 harus mendapatkan perhatian dan perkuatan dinding lereng dengan *shotcrete* untuk melindungi lapisan tanah dari erosi tebing. Selain mendapatkan perlindungan, pada berm lereng harus dibuat kanal-kanal pengumpul air hujan sehingga lereng aman dari pengaruh perubahan muka air tanah. Instrumentasi seperti inklinometer dapat ditempatkan pada kaki SUTET untuk memantau gerakan lateral yang terjadi. Pada bagian lereng timbunan, tiap bermnya harus diberikan kanal-kanal pengumpul air dan dialirkan pada saluran pengumpul yang letaknya tidak boleh mempengaruhi kestabilan timbunan. Perlindungan lapisan tanah pada lereng timbunan juga dapat dilakukan dengan menggunakan pelapisan *shotcrete* atau memberikan rumput-rumput pencegah erosi. Alternatif penanganan masalah kestabilan lereng yang umum dilakukan adalah memberikan *sub-drain* pada dasar timbunan yang berfungsi untuk mengurangi jumlah air yang terakumulasi pada zona *interface*.

KESIMPULAN

Berdasarkan uraian pada bagian sebelumnya dan hasil perhitungan analisis kestabilan lereng galian dan timbunan pekerjaan Tol Semarang - Solo seksi Bawen Salatiga Paket 3.1, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut :

1. Berdasarkan hasil analisis sebelumnya, kestabilan lereng dengan beban statik pada seluruh STA tinjauan masih berada pada kondisi aman.
2. Untuk bagian timbunan pada STA 22+975, dibuat 2 model perhitungan dengan perbedaan berada pada tipe dasar timbunan. Penggalan dasar timbunan tidak mengindikasikan terjadinya peningkatan FoS dibandingkan dengan bentuk yang biasa.
3. Hasil analisis dengan pengaruh percepatan gempa pada konstruksi galian STA 23+200 dan STA 23+225, bidang gelincir yang terjadi makin membesar dan mulai mempengaruhi konstruksi SUTET.
4. Konstruksi yang rentan dengan terhadap pengaruh gempa adalah konstruksi timbunan pada STA 22+975, dimana seluruh FoS yang dihasilkan berada di bawah kriteria penerimaannya, yakni <1.10 .
5. Untuk kasus STA 22+975 sangat penting untuk memperhatikan proses konstruksi dan penimbunan. Proses penimbunan yang tidak benar akan menyebabkan air mudah masuk dan menembus lapisan *clayshale* yang terdegradasi.
6. Instrumentasi seperti inklinometer dapat ditempatkan pada kaki SUTET untuk memantau gerakan lateral yang terjadi. Pemantauan secara rutin dan terjadwal dapat memberikan peringatan dini apabila terjadi deformasi yang berlebihan.
7. Pengaturan muka air tanah harus dilakukan untuk meminimalkan pengurangan kekuatan geser tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Boggs, 2009. *Petrology of Sedimentary Rock*, edisi 2, Cambridge University Press, New York.
- Das dan Ramana, 2011. *Principle of Soil Dynamics*, edisi 2, Cengage Learning, Connecticut.
- Look, 2007. *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables*, Taylor & Francis Group, London.
- Ortigao dan Sayao, 2004. *Handbook of Slope Stabilization*, Springer, New York
- Stark et al., 2005. *Drained Shear Strength Parameters for Analysis of Landslides*, Vol. 131, ASCE, 571 - 588.