

SIMULASI BEBAN RUNTUH LERENG DENGAN METODE ELEMEN HINGGA MENGGUNAKAN PROGRAM ABAQUS SE (STUDI KASUS LERENG VILLA SENGGIGI)

Tri Sulistyowati¹, Didi S. Agustawijaya², Ismail Hoesain Muchtaranda³, Agung Prabowo⁴, Muhajirah⁵, dan Ngudiyono⁶

¹Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email korespondensi: trisulistyowati@unram.ac.id

²Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email : didiagustawijaya@unram.ac.id

³Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email : ismailhoesain_m@unram.ac.id

⁴Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email : agung_prabowo@unram.ac.id

⁵Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email : muhajirah@unram.ac.id

⁶Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Jl. Majapahit No. 62 Mataram, 83125

Email : ngudiyono@unram.ac.id

ABSTRAK

Senggigi merupakan salah satu kawasan pariwisata unggulan di Pulau Lombok. Sebagai daerah pariwisata banyak dibangun tempat tinggal penduduk, hotel, villa, jalan, dan lain-lain. Berdasarkan kondisi morfologi merupakan daerah pesisir pantai yang berbukit-bukit, sehingga salah satu alternatif pengembangan kawasan pariwisata adalah ke daerah perbukitan dengan beberapa pertimbangan antara lain keterbatasan lahan, faktor lokasi yang strategis dan faktor estetika. Secara geologi perbukitan di Senggigi tersusun dari endapan vulkanik dan sedimen yang mempunyai sifat pelapukan yang cukup tinggi dan rentan terhadap bahaya longsor. Hal ini perlu kiranya diantisipasi dengan melakukan analisa untuk menentukan beban runtuh yang diijinkan. Pada penelitian ini, proses simulasi besaran beban runtuh yang diijinkan agar tidak menimbulkan kelongsoran lereng, dilakukan dengan metode elemen hingga menggunakan program ABAQUS SE, untuk menganalisis tegangan, regangan dan deformasi yang terjadi. Analisis stabilitas lereng dilakukan pada kasus lereng Villa Senggigi dengan metode *Shear Strength Reduction* (SSR) dimana model konstitutif tanah diasumsikan mengikuti kriteria Mohr-Coulomb dengan parameter input: berat volume (γ), sudut geser dalam (ϕ), kohesi (c), modulus elastisitas (E), Poisson rasio (ν) dan sudut dilatasi (ψ). Simulasi pembebanan dilakukan dengan variasi beban sebesar: 0 kPa (tanpa beban), 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 125 kPa, 150 kPa, 175 kPa, dan 200 kPa. Berdasarkan hasil simulasi pembebanan terhadap stabilitas lereng beban runtuh yang diijinkan di atas puncak lereng Villa Senggigi adalah 200 kPa dengan faktor keamanan FOS = 1.5 dan displacement = 1,297 m.

Kata Kunci : Lereng, Kelongsoran, Beban Runtu, ABAQUS SE

ABSTRACT

Senggigi is one of the leading tourism areas on the island of Lombok. As a tourism area, many building have been built, hotels, villas, roads, and others. Based on the morphological conditions, it is a hilly coastal area, so that one alternative for developing tourism areas is to go to hilly areas with several considerations including limited land, strategic location and aesthetic factors. Geologically, the hills in Senggigi are composed of volcanic deposits and sediments that have high weathering properties and are susceptible to landslide hazards. This needs to be anticipated by

conducting an analysis to determine the allowable failure load. In this study, the process of simulating the allowable failure load was carried out using the finite element method using the ABAQUS SE program, to analyze the stress, strain and deformation that occurred. Slope stability analysis was carried out in the case of the slopes of Villa Senggigi using the Shear Strength Reduction (SSR) method where the constitutive soil model was assumed to follow the Mohr-Coulomb criteria with input parameters: volume weight (γ), internal shear angle (ϕ), cohesion (c), modulus elasticity (E), Poisson ratio (ν) and angle of dilation (ψ). The Loading simulations were carried out with load variations of: 0 kPa (no load), 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 125 kPa, 150 kPa, 175 kPa, and 200 kPa. According to the simulation results of the loading on slope stability, the allowable collapse load on the top of the slope of Villa Senggigi is 200 kPa with a safety factor of $FOS = 1.5$ and displacement = 1.297 m.

Keywords: Slope, Sliding, Failure Load, ABAQUS SE

1. PENDAHULUAN

Kawasan Senggigi merupakan salah satu kawasan pariwisata unggulan di pulau Lombok. Sebagai kawasan pariwisata diharapkan dapat berperan penting pada peningkatan Pendapatan Asli Daerah (PAD) terutama dalam membangkitkan kembali perekonomian daerah akibat pandemi Covid-19. Morfologi kawasan Senggigi adalah daerah pesisir pantai yang berbukit-bukit, selain terdapat bangunan tempat tinggal penduduk, juga dibangun hotel-hotel, jalan, dan bangunan tempat hiburan dengan laju perkembangan yang pesat. Salah satu alternatif pengembangan kawasan pariwisata adalah ke daerah perbukitan dengan pertimbangan antara lain keterbatasan lahan, faktor lokasi yang strategis maupun faktor estetika. Apabila pembangunan perumahan penduduk, hotel-hotel, jalan, dan bangunan tempat hiburan berpindah ke lahan perbukitan, permasalahan yang mungkin terjadi adalah kelongsoran lereng, sehingga perlu dilakukan penelitian untuk menentukan beban runtuh (yaitu besarnya beban bangunan di atas lereng yang dapat menimbulkan kelongsoran) dengan menggunakan metode elemen hingga (*finite element method*). Metode ini merupakan salah satu pendekatan matematis menggunakan aplikasi numerik dengan bantuan perangkat lunak komputer yaitu program ABAQUS Student Edition (SE) untuk melakukan analisa tegangan, regangan dan deformasi sehingga dapat

diketahui beban runtuh, dan faktor keamanan.

Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan informasi kepada pemerintah daerah Nusa Tenggara Barat, kalangan akademisi dan masyarakat umum mengenai beban runtuh yang diijinkan untuk mendirikan bangunan di kawasan perbukitan khususnya Villa Senggigi, agar aman terhadap bahaya kelongsoran.

Mekanisme kelongsoran lereng

Kelongsoran lereng adalah pergerakan masa tanah/batuan secara gravitasi yang disebabkan oleh faktor-faktor alam seperti jenis batuan, bentuk lahan, struktur dan perlapisan batuan, kemiringan lereng, tebal tanah/bahan lapuk, curah hujan dan tutupan vegetasi. Kelongsoran biasanya terjadi pada lahan berbukit, dan lahan hasil pemotongan lereng. Hal ini mengakibatkan ketidakseimbangan gaya yang bekerja pada lereng atau gaya di daerah lereng lebih besar daripada gaya penahan pada lereng tersebut. Kerusakan yang ditimbulkan akibat kelongsoran ini bukan hanya kerusakan secara langsung seperti rusaknya fasilitas umum, hilangnya lahan-lahan pertanian, korban jiwa, tetapi juga kerusakan secara tidak langsung yang melumpuhkan perekonomian dan pembangunan daerah terdampak bencana

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng ada dua yaitu faktor internal dan eksternal. Faktor internal adalah faktor yang berasal dari tubuh lereng

seperti material tanah pembentuk lereng, muka air tanah, kemiringan lereng, retakan pada lereng, pelapukan tanah, dan aktifitas geologi lereng untuk lereng alami. Sedangkan faktor eksternal adalah faktor yang berasal dari luar seperti infiltrasi air hujan, aktifitas manusia, keberadaan vegetasi, rayapan lereng, dan gempa [5].

Mekanisme keruntuhan suatu lereng atau longsor disebabkan oleh meningkatnya tegangan geser dan berkurangnya kuat geser. Peningkatan tegangan geser pada lereng disebabkan oleh [6]:

- 1) penambahan beban pada lereng seperti penambahan struktur bangunan dan timbunan di bagian atas lereng,
- 2) meniadakan struktur perkuatan karena pemotongan dan pemindahan bagian kaki lereng, atau keruntuhan lereng yang tertahan (*retarded slope failure*),
- 3) perubahan tinggi muka air tanah yang sangat cepat pada lereng (*rapid drawdown*),
- 4) gaya dari gempa bumi yang menyebabkan meningkatnya gaya yang mendorong blok tanah pada arah horizontal.

Berkurangnya kuat geser dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu [6]:

- 1) meningkatnya tekanan air pori karena infiltrasi air ke dalam lereng, debit air yang tidak terkontrol pada saluran drainase, atau gempa bumi yang mengakibatkan naiknya tekanan air pori,
- 2) tanah pada lereng mengandung mineral lempung yang mengembang sehingga mudah menyerap air tetapi dapat menghilangkan lekatan tanah,
- 3) pelapukan dan degradasi fisika - kimia karena pertukaran ion, proses hidrolisis, penggaraman,
- 4) keruntuhan yang bertahap karena penguatan regangan geser (*shear strain*).

Lereng dalam kondisi stabil apabila tanah yang membentuk lereng dalam kondisi jenuh air sebagian, dan sudut lereng tidak melebihi sudut geser internal tanah (ϕ' atau

ϕ_d) yang ditentukan dari hasil uji geser langsung atau triaksial dilaboratorium dengan tipe uji CU atau CD [7].

Klasifikasi risiko

Lereng terbentuk oleh material yang sangat beragam sehingga ada variasi alamiah dari kuat geser tanah dan adanya ketidakpastian dalam ketepatan teori-teori atau metode empiris dalam analisa, maka mendesain suatu penanggulangan selalu dilakukan penyederhanaan dengan berbagai asumsi [7]. Secara teoritis massa yang bergerak dapat dihentikan dengan meningkatkan faktor keamanan. Hal yang perlu diperhatikan dalam menentukan kriteria faktor keamanan adalah resiko yang dihadapi yaitu : kondisi beban dan parameter tanah/ batuan yang digunakan dalam melakukan analisa kestabilan lereng. Resiko yang dihadapi dibagi menjadi 3 yaitu: tinggi, menengah dan rendah seperti pada Tabel 1 berikut ini.

Tabel 1. Klasifikasi Resiko [7]

Resiko	Kondisi beban	Parameter kekuatan tanah			
		Maksimum		Residual	
		Teliti	Kurang teliti	Teliti	Kurang teliti
Tinggi	Dengan gempa	1,50	1,75	1,35	1,50
	Tanpa gempa	1,80	2,00	1,60	1,80
Menengah	Dengan gempa	1,30	1,60	1,20	1,40
	Tanpa gempa	1,50	1,80	1,35	1,50
Rendah	Dengan gempa	1,10	1,25	1,00	1,10
	Tanpa gempa	1,25	1,40	1,10	1,20

Keterangan:

- 1) Risiko tinggi bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup besar dan atau bangunan yang sangat mahal/penting.
- 2) Risiko menengah bila ada konsekuensi terhadap manusia cukup sedikit dan atau bangunan tidak begitu mahal/penting.
- 3) Risiko rendah bila tidak ada konsekuensi terhadap manusia dan terhadap bangunan sangat murah).

Pembebanan di atas lereng

Pembebanan di atas puncak lereng akibat pembangunan perumahan dan jalan adalah keadaan yang biasa terjadi. Apabila beban yang bekerja melampaui kapasitas dukung tanah, maka akan memicu terjadinya kelongsoran lereng. Faktor aman pada analisis stabilitas lereng adalah perbandingan jumlah momen yang menahan dan jumlah momen yang menggerakkan, sedangkan beban bangunan berada pada bidang kelongsoran akan menambah besar momen yang menggerakkan lereng [5].

Beban fondasi pada lereng akan mempengaruhi stabilitas lereng jika sudut lereng lebih besar dari pada $\frac{1}{2}\phi'$. Penggalian untuk konstruksi fondasi pada lereng atau yang berdekatan dengan lereng dan beban lateral pada fondasi dalam dapat menyebabkan pergerakan tanah (*ground movement*) [2].

Stabilitas lereng

Stabilitas lereng (*slope stability*) sangat erat kaitannya dengan kelongsoran dan merupakan salah satu faktor penting dalam perencanaan konstruksi bangunan sipil, seperti: timbunan untuk jalan raya, galian lereng, konstruksi tubuh bendungan dan lain-lain. Analisis stabilitas lereng umumnya didasarkan pada konsep keseimbangan batas plastis (*limit plastic equilibrium*) [5]. Tujuan dari analisis stabilitas lereng adalah:

- 1) Untuk menentukan kondisi kestabilan dan tingkat kerawanan suatu lereng.

- 2) Memperkirakan bentuk keruntuhan kritis yang mungkin terjadi.
- 3) Menganalisis penyebab terjadinya longsoran.
- 4) Mempelajari pengaruh gaya-gaya luar pada kestabilan lereng.
- 5) Merancang suatu desain lereng galian atau timbunan yang optimal dan memenuhi kriteria keamanan dan kelayakan ekonomis.
- 6) Memperkirakan kestabilan lereng, selama konstruksi dilakukan maupun dalam jangka waktu yang panjang.
- 7) Merupakan dasar bagi rancangan ulang lereng setelah mengalami longsoran.
- 8) Menentukan metode perkuatan atau perbaikan lereng yang sesuai.

Analisa stabilitas lereng dengan program ABAQUS Student Edition (SE)

Program ABAQUS merupakan salah satu program berbasis metode elemen hingga yang dapat menyelesaikan permasalahan suatu struktur baik secara linier maupun nonlinier. ABAQUS dapat memodelkan geometri hampir semua struktur apapun seperti dalam bidang teknik mesin, teknik sipil, *bioengineering* dan lain lain. ABAQUS juga dapat mensimulasikan perilaku sebagian besar bahan teknik seperti baja, komposit, beton bertulang, tanah, batuan, kayu dan lain lain. Pada tahun 2019, telah dirilis edisi khusus ABAQUS Student Edition (ABAQUS SE) yang tersedia tanpa bayar/gratis bagi siswa/mahasiswa, pendidik/dosen, dan peneliti, untuk penggunaan secara pribadi dan pendidikan. ABAQUS SE hanya tersedia di platform Windows dan mendukung model struktural hingga 1000 node [1].

Analisa stabilitas lereng dengan program ABAQUS SE dilakukan berdasarkan metode *Shear Strength Reduction-Finite Element Method* yaitu perhitungan faktor keamanan dengan mereduksi parameter-parameter yang mempengaruhi kuat geser tanah yaitu nilai kohesi dan sudut geser tanah. Dalam metode ini, parameter kekuatan geser tanah

yang didapat dari hasil perhitungan dengan parameter tanah asli akan direduksi secara otomatis hingga garis keruntuhan bersinggungan dengan beban yang ada sehingga kelongsoran terjadi.

Dalam metode elemen hingga *Shear Strength Reduction* (SSR), kekuatan elasto-plastik diasumsikan untuk material lereng. Faktor keamanan (*Factor of Safety/FOS*) diterapkan untuk mengurangi kekuatan tanah hingga terjadi keruntuhan. Untuk kekuatan geser material Mohr-Coulomb dikurangi dengan faktor keamanan (FOS) dapat ditentukan dari persamaan [4] :

$$\frac{\tau}{FOS} = \frac{c'}{FOS} + \frac{\tan \phi'}{FOS} \quad (1)$$

Persamaan (1) dapat juga ditulis sebagai berikut,

$$\frac{\tau}{FS} = c^* + \tan \phi^* \quad (2)$$

dimana :

$$c^* = \frac{c'}{FOS} \quad (3)$$

$$\phi^* = \arctan \left(\frac{\tan \phi'}{FOS} \right) \quad (4)$$

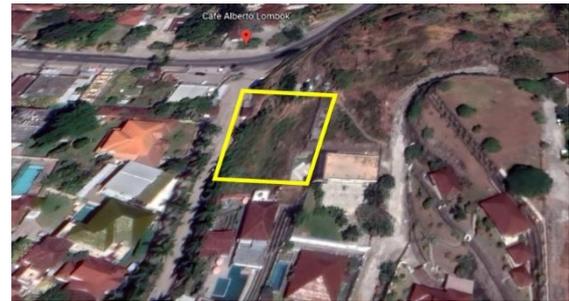
Persamaan (3) dan (4) adalah parameter kekuatan geser Mohr-Coulomb yang direduksi, dan nilai-nilai ini dapat dimasukkan ke dalam ABAQUS SE dan kemudian dianalisis. Ada tiga jenis kriteria untuk menentukan kegagalan lereng yaitu: non konvergensi iterasi numerik, perubahan secara tiba-tiba dalam perpindahan bagian karakteristik, regangan plastik umum atau penetrasi regangan plastik yang setara.

Dalam proses perhitungan dengan program ABAQUS SE, variabel *field* berubah sesuai dengan bertambahnya tahapan waktu. Proses berkurangnya kekuatan material, diikuti dengan perubahan parameter-parameter material untuk disesuaikan dengan variabel *field*. Karena perubahan waktu (t) bertahap dalam *software ABAQUS SE* bersifat otomatis, modifikasi manual tidak lagi diperlukan, dan kekuatannya dapat dikurangi secara otomatis. Akhirnya, berdasarkan kriteria kegagalan tertentu, waktu langkah tambahan yang sesuai ditemukan, dan kemudian faktor keamanan (FOS) dan permukaan bidang geser dapat diperoleh.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian lapangan dan eksperimental di laboratorium. Lokasi penelitian adalah salah satu lereng di kawasan Senggigi yaitu Villa Senggigi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1.

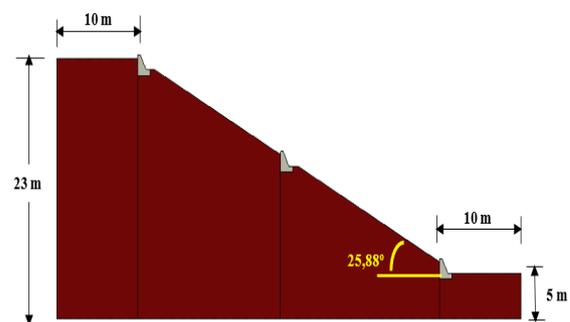


Gambar 1. Lereng Villa Senggigi

(Sumber: www.googleearth.com)

Geometri lereng

Berdasarkan hasil survey lokasi dan pengukuran dengan Theodolit, diketahui bahwa pada permukaan lereng terdapat 3 (tiga) buah dinding penahan tanah. Adapun geometri lereng memiliki tinggi 23 m, lebar bagian puncak 10 m dan kemiringan lereng 25,88°, secara lebih lengkap dapat dilihat pada Gambar 2. berikut ini.



Gambar 2. Geometri Lereng Villa Senggigi

Material properties

Pada penelitian ini material tanah diasumsikan homogen, dimana tanah dimodel berdasarkan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb *elastis-plastic*. Dari hasil

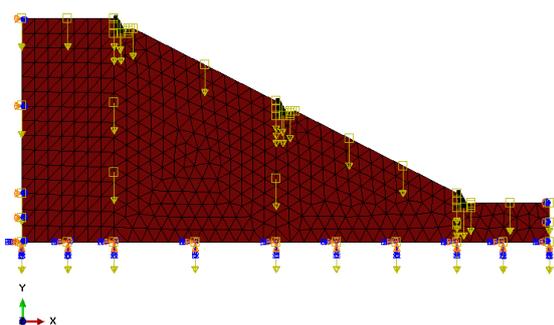
pengujian laborarorium material tanah pada lereng Villa Sengigi adalah pasir berlanau yang padat, dengan data-data parameter tanah adalah modulus elastisitas (E) = 50000 kN/m², poisson rasio (ν) = 0,3, kohesi (c) = 2,4 kN/m², sudut geser dalam (ϕ) = 34.58° dan berat volume (γ) = 16 kN/m³.

Sedangkan material batu kali untuk dinding penahan diasumsikan berperilaku *elastic* dengan data-data *material properties*: modulus elastisitas (E) = 2.000.000 kN/m², *Poisson rasio* (ν) = 0,2 dan berat volume (γ) = 20 kN/m³.

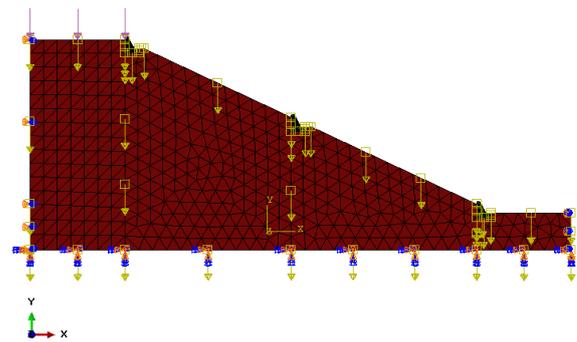
Meshing, boundary condition dan loading

Software ABAQUS SE memiliki keterbatasan, maka teknik 2D FEM diadopsi untuk menyelesaikan model pembebanan untuk stabilitas lereng pada penelitian ini. Pada proses *meshing* terdapat 783 elemen tipe CPE3 (3-node linear plane strain triangle) yang digunakan untuk tanah. Kondisi batas (*Boundary Condition*) di kedua sisi ditetapkan sebagai rol yang diijinkan mengalami deformasi pada arah vertikal (Y), dan jepit digunakan untuk bagian bawah.

Meshing, dan *boundary condition* untuk analisa stabilitas lereng tanpa pembebanan dan dengan pembebanan dapat dilihat pada Gambar 3 dan Gambar 4.



Gambar 3. Meshing dan Boundary Condition untuk Lereng Tanpa Pembebanan

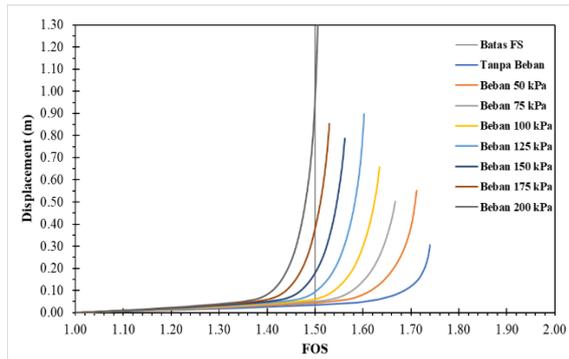


Gambar 4. Meshing dan Boundary Condition untuk Lereng dengan Pembebanan (50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 125 kPa, 150 kPa, 175 kPa, 200 kPa)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Faktor Keamanan (FOS)

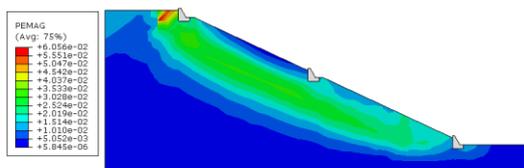
Analisis stabilitas lereng berdasarkan SSR dilakukan dengan menggunakan *software ABAQUS SE*, faktor keamanan (FOS) dilakukan dengan iterasi numerik berdasarkan kriteria *non-convergence*, perubahan secara tiba-tiba dari *node displacement* dikontrol pada bagian puncak model lereng. Simulasi pembebanan dilakukan dengan kondisi tanpa pembebanan (0 kPa) dan dengan variasi pembebanan: 50 kPa, 75 kPa, 100 kPa, 125 kPa, 150 kPa, 175 kPa, 200 kPa. Grafik hubungan antara *displacement* dan faktor aman (FOS) stabilitas lereng dengan variasi pembebanan ditunjukkan pada Gambar 5. Batas faktor keamanan minimum yang diijinkan adalah 1.5. Berdasarkan Gambar 5. terlihat bahwa perubahan *displacement* terbesar adalah 1.297 m dengan faktor aman (FOS) = 1.5 untuk lereng dengan pembebanan 200 kPa. Sedangkan lereng tanpa pembebanan mempunyai angka keamanan terbesar FOS = 1.74 dengan *displacement* terkecil yaitu 0.305 m.



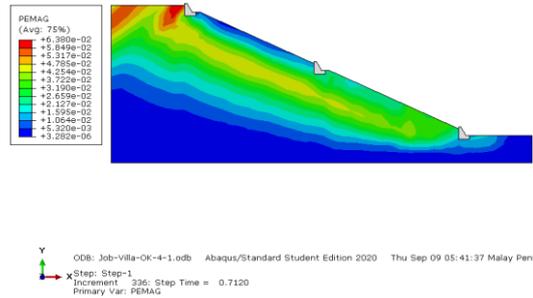
Gambar 5. Grafik Hubungan Faktor Keamanan Lereng dan Displacement dengan Berbagai Variasi Pembebanan

Keruntuhan lereng (*the equivalent plastic strain, PEMAG*)

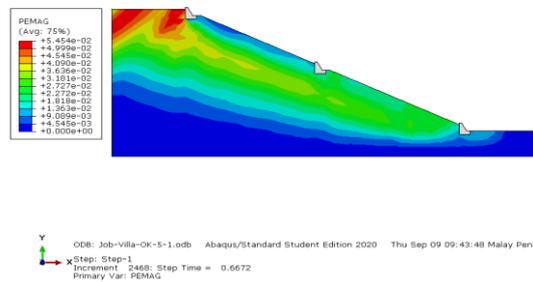
Pembebanan diatas puncak lereng dapat mempengaruhi perubahan mekanisme tegangan-regangan dan keruntuhan pada lereng. Gambar 6 sampai dengan Gambar 13 menunjukkan regangan plastis ekivalen (PEMAG) pada lereng dengan berbagai variasi pembebanan. Pada gambar-gambar tersebut, kontur menunjukkan lokasi potensi keruntuhan lereng. Kontur yang berbeda yang ditunjukkan pada gambar menunjukkan lokasi di mana keruntuhan lereng dimulai.



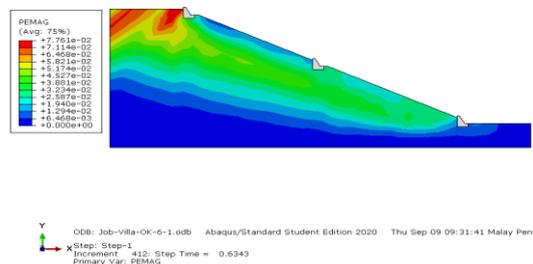
Gambar 6. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi tanpa Pembebanan



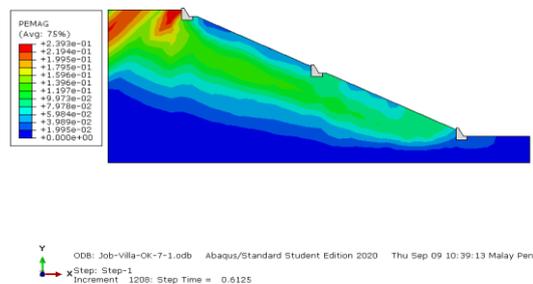
Gambar 7. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 50 kPa



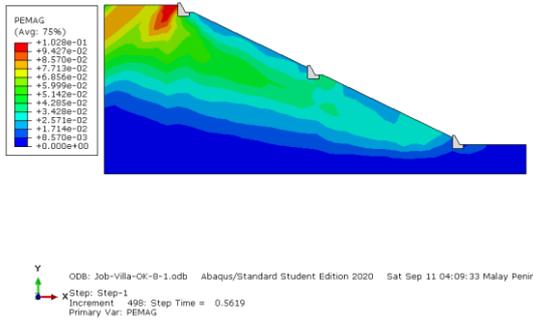
Gambar 8. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 75 kPa



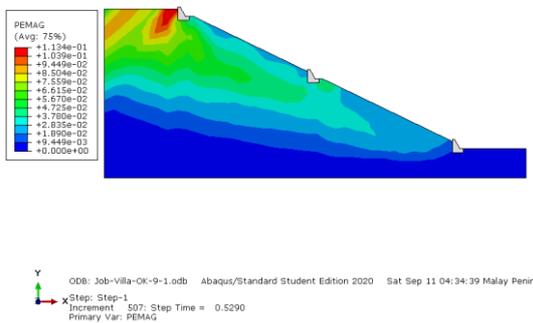
Gambar 9. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 100 kPa



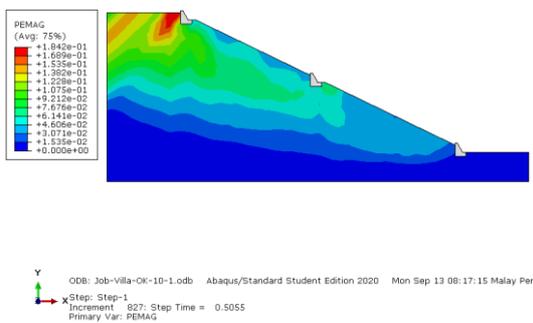
Gambar 10. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 125 kPa



Gambar 11. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 150 kPa



Gambar 12. Regangan Plastis Ekivalen (PEMAG) Keruntuhan Lereng dengan Kondisi Pembebanan 175 kPa



Gambar 13. Regangan plastis ekivalen (PEMAG) keruntuhan lereng dengan kondisi pembebanan 200 kPa

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil simulasi pembebanan terhadap stabilitas lereng disalah satu kawasan Senggigi (Villa Senggigi) dengan menggunakan program *ABAQUS SE* dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Simulasi pembebanan di atas puncak lereng dilakukan dengan beban sebesar: 0 kPa (tanpa beban), 50 kPa, 75 kPa, 100

kPa, 125 kPa, 150 kPa, 175 kPa, dan 200 kPa

2. Faktor keamanan tergantung dari besarnya pembebanan. Semakin besar beban yang diterapkan, maka *displacement* yang terjadi semakin besar dan faktor keamanan (FOS) semakin menurun.
3. Pada kondisi tanpa tanpa pembebanan, hasil analisa stabilitas lereng mempunyai angka keamanan terbesar FOS = 1.74 dan *displacement* terkecil. Sedangkan pada kondisi dengan pembebanan 200 kPa mengakibatkan perubahan *displacement* terbesar yaitu 1.297 m, dengan faktor aman (FOS) mencapai batas yang diijinkan yaitu FOS = 1.5.
4. Akibat beban luar yang bekerja (beban bangunan) diatas puncak lereng, maka diperkirakan beban maksimum yang mampu ditahan oleh lereng Senggigi adalah 200 kPa dengan faktor keamanan FOS = 1.5 dan *displacement* = 1.297 m

DAFTAR PUSTAKA

- [1] ABAQUS Student Version (2019). Abaqus/CAE User's Manual. Pawtucket. Rhode Island. USA.
- [2] Abramson, LW., Lee, TS, Sharma, S., dan Boyce, GM. (1995). Slope Stabilization and Stabilization Methode. John Wiley & Sons Inc. Canada.
- [3] Fernandez, GJW. dan Saptadi, B. (1998). "Analisa Kemantapan Lereng dan Permasalahannya, Studi Kasus Longsoran Jalan yang mungkin Terjadi di Pulau Lombok". Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan PU. Jakarta.
- [4] Hardiyatmo, HC. (2010). Mekanika Tanah II. Gajah Mada University Press. Yogyakarta.
- [5] Hardiyatmo, HC. (2006). Penanggulangan Tanah Longsor dan Erosi, Gajah Mada University Press, Yogyakarta.

- [6] Muntohar, AS. (2010). Tanah Longsor: Analisis, Prediksi, Mitigasi. LP3M Universitas Muhammadiyah Yogyakarta, Yogyakarta.
- [7] Suryolelono, K.B. (1999). "Penanggulangan Kelongsoran Lereng di Kawasan Perumahan Ramayana Kota Balikpapan Kalimantan Timur". Prosiding Seminar Nasional Geoteknik. 1999. Yogyakarta. Hal. 66-71.

