

## PERBANDINGAN STABILITAS LERENG ANTARA METODE KESEIMBANGAN BATAS (LEM) DAN METODE ELEMEN HINGGA (*FEM*) Studi Kasus: Kereta Api Cepat Indonesia Cina (KCIC) Walini, Kabupaten Bandung Barat

Chandra Afriade Siregar<sup>1</sup>, Farhan Ali Syakir Ashidik<sup>2</sup>, Hendra Garnida<sup>3</sup>

Program Studi Teknik Sipil, Universitas Sangga Buana YPKP

Email [chandra.afriade@usbypkp.ac.id](mailto:chandra.afriade@usbypkp.ac.id); farhanalisyakirashidik@gmail.com

### ABSTRAK

Akhir- akhir ini kerap terjadi musibah tanah longsor yang berhubungan dengan datangnya masa hujan. Musibah tanah longsor banyak terjadi di Indonesia yang menyebabkan banyaknya bangunan roboh serta korban jiwa. Saat sebelum masa pc, kalkulator merupakan salah satunya metode buat menghitung aspek keamanan lereng. Tetapi, para insinyur dikala ini mempunyai banyak cara untuk analisis fitur lunak antara lain tata cara limit equilibrium serta tata cara *finite element*. Tujuan penelitian ini adalah untuk mempelajari bagaimana pengaruh metode limit equilibrium dan metode finite element terhadap faktor keamanan lereng, deformasi tanah dan faktor yang lain pada kedua metode tersebut. Penelitian stabilitas lereng ini menggunakan parameter tanah dan geometri yang sama dengan kemiringan lereng 60° pada lokasi proyek yang nyata pada bridge 97 lintasan kereta api cepat indonesia cina KCIC Walini kabupaten bandung barat. berdasarkan lereng existing dengan mempertimbangkan kasus beban seperti menjadikan kondisi lereng GWT maksimum, yang tercatat, beban tambahan seperti mobilisasi dan kondisi psedotatis dinamis gempa. Dari hasil penelitian ini faktor keamanan antara metode limit equilibrium dan finite element relatif sama namun terdapat kelebihan dan kekurangan masing-masing dalam output metode tersebut. Nilai faktor keamanan dari setiap metode relatif sama, tidak lebih dari 0,125.

**Kata Kunci:** *Slope Stability, Limit Equilibrium Method, Finite Element Method.*

### ABSTRACT

*Recently, there have been frequent landslides associated with the arrival of the rainy season. Many landslides (erosions) occur in Indonesia, causing many buildings to collapse and loss of life. Before the PC era, calculators were one of the methods for calculating slope safety aspects. However, engineers currently have many methods for software analysis, including the equilibrium limit method and the finite element method. The purpose of this research is to study how the influence of the limit equilibrium method and the finite element method on the slope safety factor, soil deformation and other factors in both methods. This slope stability study uses the same soil and geometry parameters with a slope of 60° at a real project site on bridge 97 of the Indonesia-China High-Speed Railway KCIC Walini, West Bandung Regency. based on existing slopes by considering load cases such as making the slope conditions of the maximum GWT recorded, additional loads such as mobilization and dynamic psedotatic conditions of the earthquake. From the results of this study, the safety factor between the limit equilibrium and finite element methods is relatively the same but there are advantages and disadvantages of each in the output of the method. The value of the safety factor for each method is relatively the same, not more than 0.125*

**Key words:**

### 1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ilmu pengetahuan serta teknologi saat ini sudah memasuki di seluruh bidang, demikian pula dengan ilmu metode sipil. Selaku contohnya dalam bidang metode konstruksi, hidrologi, transportasi, serta geoteknik. Bidang geoteknik ialah bidang ilmu tertentu serta menitikberatkan pada aplikasi metode sipil dalam masalah-masalah yang

berhubungan dengan sifat mekanis tanah serta batuan.

Akhir- akhir ini kerap terjadi musibah tanah longsor yang berhubungan dengan datangnya masa hujan. Musibah tanah longsor (*landslides*) banyak terjalin di Indonesia yang menyebabkan banyaknya bangunan roboh serta korban jiwa.

Ketidakstabilan merupakan kasus utama dalam ilmu rekayasa begitu pula dengan

rekayasa lereng, suatu tantangan besar buat para periset serta pakar. Ketidakstabilan bisa disebabkan curah hujan, peningkatan muka air tanah serta pergantian dalam kegiatan geologi semacam patahan, rekahan serta liniasi. Demikian pula, lereng natural yang sudah normal sepanjang bertahun-tahun seketika bisa jadi rusak sebab perubahan geometri, kekuatan eksternal serta kehabisan kekuatan geser. Tidak hanya itu, stabilitas jangka panjang pula berhubungan dengan pelapukan serta pengaruh kimia yang bisa merendahkan kekuatan geser serta menyebabkan shear strength tension cracks. Dalam kondisi semacam ini, penilaian keadaan stabilitas lereng jadi lumayan berarti.

Dikala massa tanah mempunyai permukaan miring, kemampuan lereng buat sliding dari tingkatan yang lebih besar ke tingkatan yang lebih rendah. sliding hendak terjadi bila tegangan geser terjadi di tanah melebihi kekuatan geser tanah yang cocok. Tetapi pertimbangan instan tertentu membuat analisis stabilitas lereng yang pas, dan susah dalam prakteknya.

Analisis lereng dilakukan untuk menganalisis rancangan yang aman dan ekonomis suatu lereng. Ini adalah penting karena bagian dasar dari studi teknik sipil adalah untuk merancang struktur paling aman kepada masyarakat dan juga ekonomis. Sebelum era pc, kalkulator dan hitungan manual adalah satu-satunya cara untuk menghitung faktor keamanan lereng. Namun, para geotechnical engineer saat ini memiliki banyak upaya untuk menggunakan analisis berbagai perangkat lunak diantaranya metode limit equilibrium dan metode finite element.

Metode Penyeimbang Batas (*Limit Equilibrium Method/ LEM*) merupakan sesuatu pendekatan yang banyak digunakan dalam menuntaskan bermacam permasalahan instan terpaut dengan analisis stabilitas lereng. Terlepas dari aplikasi yang berhasil dalam rekayasa geoteknik antara lereng tanah serta batuan terdapat sebagian kasus tata cara ini pula terkadang dikira selaku pendekatan empiris sebab dalam pelaksanaannya banyak aspek yang diasumsikan dalam menetapkan persamaan serta sebab perpindahan massa tanah tau batuan yang tidak cocok pada tata cara ini. Tidak hanya itu, tata cara tersebut lebih murah serta gampang digunakan sebab sudah sediakan angka keamanan yang timbul buat mewakili keadaan kegagalan di lapangan dalam banyak suasana.

Keterbatasan serta keunggulan yang ditawarkan oleh kedua tata cara membuat

sebagian tata cara dikira selaku tata cara yang sesuai buat diterapkan dalam praktek nyata. Oleh sebab itu sangat berarti buat mengenali keunggulan serta keterbatasan kedua tata cara saat sebelum memilah tata cara yang sesuai buat tujuan desain.

## 2. TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Umum

Kestabilan lereng bisa dibedakan atas lereng alam (*natural slopes*) serta lereng buatan (*man made slopes*). Lereng buatan bisa terjalin dengan pemotongan tebing (penggalian) ataupun pembangunan sesuatu embankment (lereng timbunan). Pada tiap berbagai lereng ini, mungkin terjadinya kelongsoran ataupun keruntuhan lereng selalu ada, sehingga buat mengantisipasi permasalahan ini dibutuhkan sesuatu analisis stabilitas lereng. Inti dari analisis kestabilan lereng merupakan mengkaji sesuatu tinjauan serta perencanaan lereng yang aman.

Terbentuknya peningkatan tegangan geser ataupun kurang kokohnya geser massa tanah, ialah antara lain akibat gravitasi serta gaya-gaya yang lain semacam aliran air, gempa bumi, kelebihan pembebanan, pergerakan lereng secara natural, serta sebagainya. Apabila telah terjalin keruntuhan di penampang lereng, berarti kekuatan geser tanah tersebut terlewat, maksudnya perlawanan geser pada permukaan runtuh tidak lumayan besar buat menahan gaya-gaya yang bekerja pada permukaan lereng tersebut. Oleh sebab itu, buat memastikan stabilitas sesuatu lereng butuh dikenal kekuatan geser tanah pada lereng tersebut.

### 2.2 Tanah

Batuan serta tanah merupakan material geologi ataupun material bumi yang utama dalam rekayasa geoteknik. Formasi tanah serta massa batuan memiliki keunikan tiap-tiap yang tidak cuma mendukung pengaruh sejarah geologinya, namun pula mengendalikan cerminan sifat pada pekerjaan rekayasa geoteknik. tersebut bisa dikenal dari identifikasi serta klasifikasi dengan melaksanakan pengujian serta pengamatan langsung untuk mendapatkan sifat-sifatnya. Ditaksir sifat-sifat ciri buat mendapatkan korelasi formasi tanah serta massa batuan, bisa diteliti bila identifikasi serta klasifikasi keduanya diteliti dengan layak. Formasi tanah serta batuan memiliki cerminan ciri yang menetapkan dasar-dasar buat interpretasi serta memastikan unsur-unsurnya,

yang pula ialah dasar-dasar buat mengestimasi sifat-sifat mekanisnya.

### 2.3 Tegangan Geser

Kuat geser pada tanah jenuh (*Saturated Soils*) dijabarkan dengan menggunakan kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dan konsep tegangan efektif dari Terzaghi (Terzaghi, 1936).

$$\tau = c' + (\sigma - u_w) \cdot \tan \phi' \quad \dots 1)$$

Dengan:

- $\tau$  = tegangan geser pada saat runtuh
- $c'$  = kohesi efektif
- $(\sigma - U_u)$  = tegangan normal efektif pada saat runtuh
- $\phi'$  = sudut geser dalam efektif
- $Q_{ih}$  = beban horizontal pada irisan i
- $d_i$  = lengan momen  $Q_{ih}$

Kuat geser tanah tidak jenuh dapat ditentukan seperti berikut ini:

$$\tau = c + (\sigma - u_w) \cdot \tan \phi' + (u_a - u_w) \cdot \tan \phi^b \quad \dots 2)$$

Dengan:

- $\tau$  = tegangan geser pada saat runtuh
- $c$  = kohesi
- $(\sigma - U_u)$  = tegangan normal pada saat runtuh
- $\phi'$  = *matric suction*
- $(U_u - U_w)$  = beban horizontal pada irisan i
- $\phi^b$  = sudut yang terjadi karena penambahan kuat geser akibat *matric suction*

### 2.4 Pola Keruntuhan Lereng

Terdapat sebagian tipe jenis keruntuhan dalam dunia metode sipil antara lain, kelongsoran rotasi (*rotational slip*) wujud permukaan runtuh/longsoran pada potongannya bisa berbentuk busur bundaran (*circular arc*) ataupun kurva bukan bundaran.

Pada biasanya kelongsoran berhubungan dengan keadaan tanah homogen serta kelongsoran bukan bundaran berhubungan dengan keadaan tanah tidak homogen.

Kelongsoran translasi (*translational slip*) serta kelongsoran gabungan (*compound slip*) terjalin apabila wujud permukaan runtuh dipengaruhi oleh terdapatnya kekuatan geser yang berbeda pada susunan tanah yang berbatasan. Kelongsoran translasi cenderung terjalin apabila susunan tanah yang berbatasan terletak dalam kedalaman yang relatif dangkal dibawah permukaan lereng dimana permukaan runtuhnya hendak berupa bidang serta nyaris sejajar dengan lereng. Kelongsoran gabungan umumnya terjalin apabila susunan tanah yang berbatasan terletak pada kedalaman yang lebih geser, serta permukaan runtuhnya terdiri dari

bagian- bagian lengkung serta bidang (Craig, 1989).

Infiltrasi air hujan terhadap lereng permukaan phreatic tercipta oleh aliran paralel ke rintangan drainase (*drainage barrier*). Untuk hujan yang intens, muka air tanah naik dengan kilat ke permukaan tanah sebab tanah kondisinya mendekati keadaan jenuh (*near-saturated condition*) dalam zona tidak jenuh. Keadaan ini menimbulkan peningkatan *pore pressure* secara seketika yang gilirannya hendak merendahkan tahanan geser tanah. Pada kesimpulannya aspek keamanan lereng menyusut serta menimbulkan keruntuhan permukaan (*surficial failures*). Mekanismenya infiltrasi air menyebabkan terbentuknya *negative pore pressure* pada *Unsaturated Soils*. Terjalin penyusutan tegangan efisien pada permukaan tanah potensial sehingga terjalin penyusutan kekuatan tanah hingga pada keadaan penyeimbang tidak bisa dipertahankan.

Kegagalan lereng dangkal kerap terjalin sepanjang ataupun setelah hujan yang lumayan intens. Sebab kesusahan memastikan *pore water pressure* pada saat kegagalan lereng air yang menyerap ke dalam tanah *embankment* yang menyebabkan peningkatan *pore water pressure* secara seketika serta dampak lanjutannya merupakan pegurangan kekuatan geser tanah. Menghindari masuknya air pada lereng ataupun *embankment* sangat berarti serta merupakan langkah awal dalam mengurangi kegagalan lereng.

### 2.5 Stabilitas Lereng

Aspek pemicu yang mempengaruhi terbentuknya longsoran ditetapkan oleh menyusutnya aspek keamanan kemantapan lereng sehingga jadi kurang dari batasan penyeimbang. Perihal yang butuh dipertimbangkan dalam penentuan kriteria aspek keamanan merupakan efek yang dialami, keadaan beban serta parameter yang digunakan dalam melaksanakan analisis kemantapan lereng

Efek yang dialami dipecah jadi 3, ialah: besar, menengah, serta rendah. Dalam analisis wajib dipertimbangkan keadaan beban yang menyangkut gempa serta tanpa gempa (wajar).

Dasar pemikiran umum batas keseimbangan adalah faktor keamanan (*FS*) lereng terhadap Keruntuhan (kelongsoran) tergantung pada angka perbandingan antara kuat geser tanah ( $M_{penahan}$ ) dan tegangan geser yang bekerja ( $M_{penggeser}$ ) yang dinyatakan dengan persamaan:

$$F_s = \frac{M_{penahan}}{M_{penggeser}}$$

Jika  
 FS < 1, maka Lereng tidak stabil  
 Fs = 1,0 maka Lereng dalam keadaan kritis artinya dengan sedikit gangguan atau tambahan momen penggerak maka lereng menjadi tidak stabil  
 Fs > 1,5, maka Lereng Stabil

Pada LEM penyederhanaan metode Bishop, diasumsikan slip surface berbentuk lingkaran dan dibagi menjadi beberapa slice. Slip surface dan gaya-gaya yang bekerja pada suatu slice Safety factor dihitung dengan persamaan:

$$SF = \frac{\sum_{i=1}^n \left[ \frac{c_i \cdot \Delta x_i + (W_i + Q_{iv} - u_i \cdot \Delta x_i)}{\cos \theta_i + \frac{\sin \theta_i \cdot \tan \phi_i}{SF}} \right]}{\sum_{i=1}^n (W_i + Q_{iv}) \sin \theta_i - \left( \frac{\sum_{i=1}^n Q_{ih} \cdot d_i}{r} \right) \left( \frac{\sum_{i=1}^n E_{\theta_i} \cdot v_i}{r \cdot SF} \right)} \quad \dots 3)$$

Dengan:

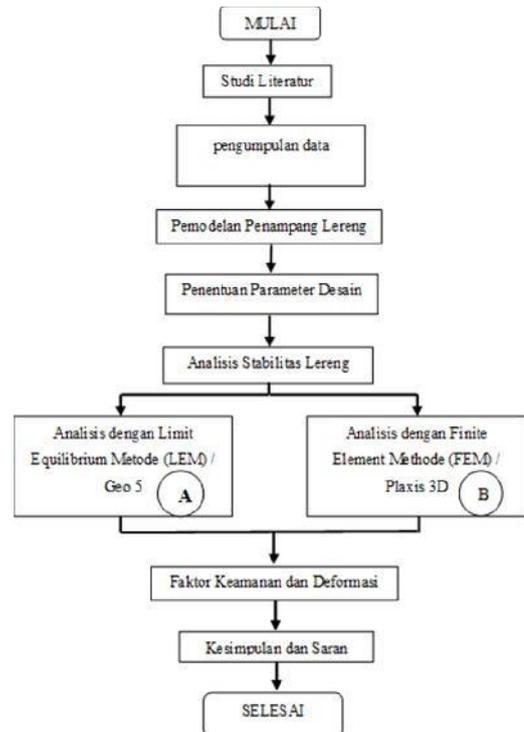
- W<sub>i</sub> = berat irisan/potongan ke-i
- Q<sub>iv</sub> = beban vertikal pada irisan
- U<sub>i</sub> = tekanan air pori pada dasar irisan i
- Δx<sub>i</sub> = lebar irisan
- Q<sub>ih</sub> = beban horizontal pada irisan i
- d<sub>i</sub> = lengan momen Q<sub>ih</sub>

Pada Analisis Stabilitas lereng FEM memakai model Mohr-Coulomb, sehingga bisa diprediksi skenario serta mekanisme keruntuhan yang terjadi. Buat analisis pergerakannya, tata cara elemen sampai dengan keadaan *plane strain* (regangan bidang) digunakan buat mendapatkan data tentang tegangan serta regangan pada lereng. Pada mekanika tanah umumnya digunakan 2 jenis perhitungan. Kala suatu elemen tanah dibebani, hingga saat sebelum air bisa mengalir ke dalam pori-pori tanah, pembebanan dikatakan *undrained*. Sebaliknya bila pembebanan dicoba dalam waktu yang lumayan lama sehingga tekanan pori akibat pembebanan menggapai angka nol, hingga pembebanan dikatakan selaku *undrained*.

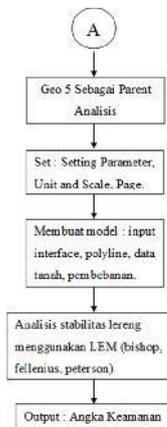
### 3. METODE PENELITIAN

#### 3.1 Diagram Alir Penelitian

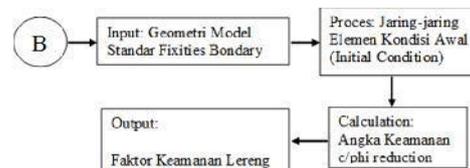
Adapun diagram alir penelitian pada Gambar 1.



Gambar 1 Diagram Alir



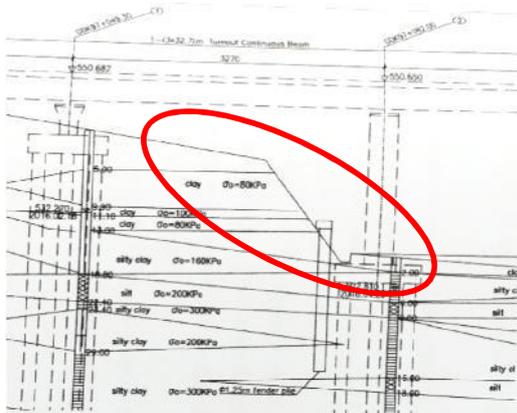
Gambar 2 Diagram Alir Stabilitas Lereng Menggunakan Geo 5



Gambar 3 Diagram Alir Stabilitas Lereng Menggunakan PLAXIS 3D

#### 3.2 Pemodelan Stabilitas Lereng

Berdasarkan informasi gambar rencana konstruksi dan nilai faktor keamanan, ditemukan titik lemah lereng diantara pilar 1 (satu) dan 2 (dua) dengan kode gambar zd-045 dan zd-046 pada gambar 4



**Gambar 4** Rencana konstruksi Abutment Bridge-97  
Sumber: Gambar kerja, 2020

### 3.3 Penentuan percepatan gempa

Percepatan gempa ditentukan berdasarkan SNI Gempa 03-1726-2002.



**Gambar 5** Peta percepatan gempa puncak (Peak Ground Acceleration/PGA)  
Sumber: RSA Indonesia, 2020

Kategori percepatan gempa tercantum pada web RSA Indonesia, untuk daerah Walini diperoleh nilai  $PGA = 0,4045$ , dan koefisien gempa horizontal  $0,5 \times 0,4045 = 0,20$ .

### 3.4 Parameter Masukan Program Geo-5

Parameter-parameter input/informasi yang dibutuhkan untuk menghitung angka stabilitas lereng dengan program bantu Geo 5 diperoleh dari hasil perhitungan sifat fisis mekanis tanah serta nanti dikenal gimana *safety factor* dari lereng serta gaya-gaya yang bekerja pula potongan kritis lereng tersebut. Ada pula parameter-parameter yang dibutuhkan merupakan: berat volume, indeks plastis, kohesi serta sudut geser dalam. Parameter yang digunakan buat program Geo 5 bisa dilihat pada Tabel 1.

**Tabel 1** Parameter-parameter untuk Perhitungan Geo 5

Jenis Tanah	$\gamma_{dry}$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	C	PL	LL
	$kN/m^3$	$kN/m^3$	Sudut geser dalam	Cohesi	Plastic limit (%)	Liquid limit (%)
Clay	164,359	27,889	$7,21^\circ$	0,321	39,63	52,04
Sandy Clay	16,95	29,40	$7,73^\circ$	0,378	39,92	53,10

### 3.5 Parameter Untuk Perhitungan Plaxis 3D

Parameter-parameter input/informasi yang dibutuhkan untuk menghitung angka stabilitas lereng dengan program bantu Plaxis didapat dari hasil perhitungan sifat fisis serta watak mekanis tanah. Ada pula parameter-parameter yang dibutuhkan merupakan: berat volume, indeks plastis, kohesi serta sudut geser dalam. Sebaliknya buat parameter-parameter yang lain semacam modulus elastisitas tanah serta angka poisson didapat dengan memakai rumus korelasi. Buat mesh Plaxis, digunakan jenis elemen segitiga plan strain dengan 15 node masing-masing elemen serta model Mohr-Coulomb.

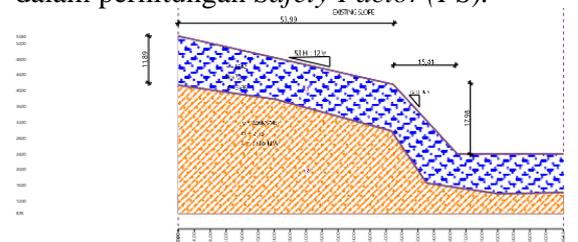
**Tabel 2** Parameter-parameter untuk Perhitungan PLAXIS

Jenis Tanah	$\gamma_{dry}$	$\gamma_{sat}$	$\phi$	C	PI	LL	$E_s = (15000 \cdot C) / PI$	V
	$kN/m^3$	$kN/m^3$	Sudut geser dalam	cohesi	Plastic Index (%)	Liquid limit (%)		Posion ratio
Clay	16,435	27,889	$7,21^\circ$	0,321	12,41	52,04	12000	0,107
Sandy clay	16,95	29,40	$7,73^\circ$	0,378	12,17		12000	0,107

## 4. PEMBAHASAN DAN HASIL

### 4.1 Permodelan Kasus

Model lereng ini dianalisis dengan tujuan untuk membandingkan antara metode keseimbangan batas (LEM) dan metode elemen hingga (FEM) beberapa parameter dipelajari untuk memahami kemungkinan perbedaan dalam perhitungan *Safety Factor (FS)*.



**Gambar 6** Pemodelan lereng  
Sumber: Analisis, 2020

Slope Stability yang akan dianalisa menggunakan 2 jenis kasus Mohr-Coulomb, yaitu:

- Analisa Tegangan Total
  - Kondisi lereng tanpa beban
  - Kondisi lereng menggunakan beban struktur mobilitas
  - Kondisi lereng menggunakan koefisien gempa *pseudostatik*  $K_h = 0,20$
- Analisa Tegangan Efektif
  - Kondisi lereng dengan muka air banjir normal tanpa beban
  - Kondisi lereng dengan muka air banjir normal

dengan beban struktur mobilitas

- Kondisi lereng dengan muka air banjir normal koefisien gempa pseudostatik  $K_h = 0,20$

#### 4.2 Hasil Analisa Kasus Geo 5 Slope Stability Menggunakan Metode LEM

Dari hasil penelitian yang dibuat dengan bantuan *software* tersebut, didapat output hasil analisa adalah faktor keamanan kelongsoran serta jenis busur kelongsoran yang terjadi. Nilai parameter tanah yang telah pada *soil parameter* yaitu penentuan warna dan jenis tanah yang akan ditampilkan di permodelan, dan memasukan parameter tanah antara lain Berat isi tanah ( $\gamma$ ), Kohesi ( $c$ ), dan Sudut Geser ( $\phi$ ).

Setelah tahapan *input* parameter tanah pada *Geo 5 Slope Stability*, dilanjutkan memasukan beban merata 12 Ton menjadi 147 kn. Dan L beban mobilitas dengan lebar permukaan 6 meter dan dimasukan pada setiap 30 meter arah sumbu x. Pada analisa tegangan efektif maka lereng dilanjutkan membuat garis muka air tanah pada titik (0,00;40,65), (49,10;30,91), (59,06;25,25), (69,48;21,85), (96,42;20,94). Permodelan gempa pseudostatik didapatkan dari nilai PGA walini zona 4 yaitu 0,4024 jadi nilai  $K_h$  adalah  $0,243 \times 0,5 = 0,20$

Pada *Geo 5 Slope stability LEM*, ada beberapa pilihan metode analisis yaitu Bishop, Fellenius/Peterson, Janbu, Spencer, Morgenstern - price. Maka penulis memilih semua metode analisis tersebut dengan memasukan 4 *stage* analisis pada metode masing-masing, dan menganalisis dengan tipe *optimization* agar analisis lebih detail setiap *slice*.

**Tabel 3** Hasil Faktor Keamanan pada LEM Geo 5 dengan Faktor yang Mempengaruhinya

NO	KONDISI	Bishop	Fellenius & Peterson	Spencer	Janbu	Morgenstern & Price
1	Existing	0,87	0,86	0,89	0,87	0,91
2	Beban Mobilitas	0,83	0,77	0,82	0,82	0,82
3	Beban Mobilitas dan Gempa	0,65	0,63	0,65	0,65	0,65
4	Existing dengan tegangan efektif	0,85	0,82	0,87	0,85	0,89
5	Beban mobilitas dengan tegangan efektif	0,76	0,73	0,78	0,78	0,78
6	Beban Mobilitas dan Gempa pada tegangan efektif	0,67	0,66	0,67	0,67	0,68

#### 4.3 Hasil Analisa Kasus Geo 5 Slope Stability Menggunakan Metode LEM

Pada analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM), program meminta *user* untuk membuat topologi sebagai parameter dan acuan pada *stage* berikutnya yang menghasilkan bentuk *mesh*, setelah itu pengguna baru menggunakan permodelan yang dikondisikan sesuai yang tujuan. Pada proses topologi ini program meminta parameter-parameter tanah tambahan seperti *poisson's ratio* ( $\nu$ ), *elastic modulus* (E), dan *dilation angle* ( $\psi$ ).

Pada tahap memasukan beban gempa di program FEM, program meminta untuk memasukan wilayah gempa berupa koordinat polygon 3 titik.

**Tabel 4** Hasil Faktor Keamanan pada FEM Geo 5 dengan Faktor yang Mempengaruhinya

NO	KONDISI	Hasil SF FEM Geo
		NILAI Msf
1	Existing	0,81
2	Beban Mobilitas	0,73
3	Beban Mobilitas dan Gempa	0,59
4	Existing dengan tegangan efektif	0,66
5	Beban mobilitas dengan tegangan efektif	0,53
6	Beban Mobilitas dan Gempa pada tegangan efektif	0,53

#### 4.4 Hasil Analisa Kasus Plaxis 3D Slope Stability Menggunakan Metode LEM

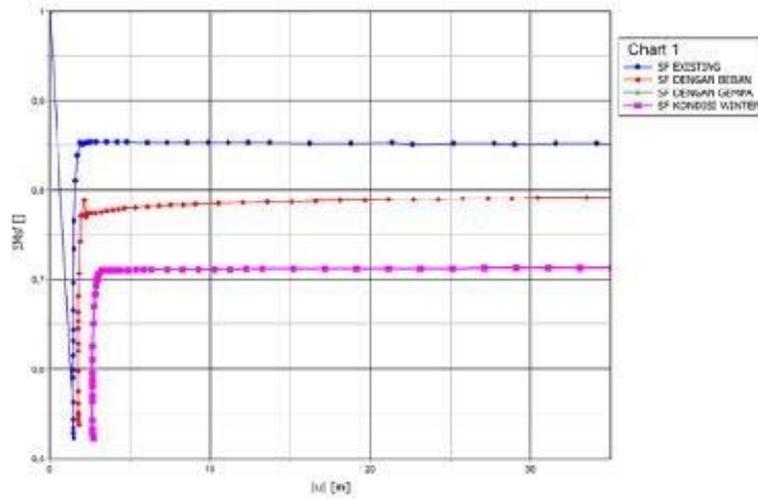
Hasil yang dimodelkan dengan bantuan *software* Plaxis 3D, didapatkan *output* hasil analisa adalah faktor keamanan terhadap kelongsoran serta bentuk deformasi yang terjadi. Pada analisis menggunakan metode elemen hingga (FEM) menggunakan program Plaxis 3D, sebelum analisis kita memodelkan Geometri lereng dengan koordinat sesuai titik tertentu juga memodelkan Bore Hole untuk memodelkan

lapisan tanah asli dan  Material Sets untuk memodelkan material yang telah ditentukan.

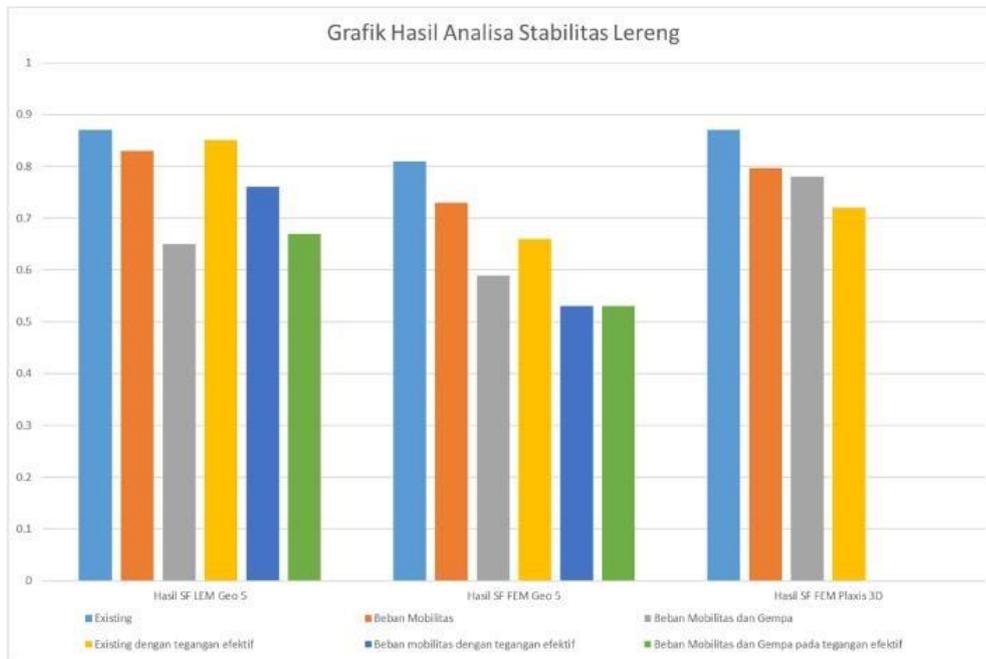
Untuk input nilai akselerasi gempa pada plaxis, angka PGA (*Peak Ground Acceleration*) dikonversi menjadi grafik harmonis dan di import ke *multipliers* pada *dynamic load*.

*Surface Load* yang diberikan beban merata 12 Ton menjadi 147 kN pada 30 meter di arah sumbu-x selebar 6 meter, dan memodelkan *dynamic surface* untuk memasukan beban dinamik yang sudah diolah dari nilai PGA (*Peak Ground Acceleration*).

Setelah tahapan Input geometri dan parameter pada Plaxis 3D selesai, dilanjutkan dengan tahap Running Mesh lalu ke tahap penentuan Water Level. Dan terakhir dilanjutkan pada tahap Stage construction yang mana akan dipakai 2 jenis running plaxis, jenis pertama initial phase yang menghitung plastic pada *stage construction* awal dan yang kedua menghitung *Safety Factor Msf* yang terjadi pada lereng.



**Gambar 7.** Hasil Faktor Keamanan pada FEM Plaxis 3D dengan Faktor yang Mempengaruhinya  
Sumber: Analisis, 2020.



**Gambar 8.** Rekapitulasi Perbandingan Hasil Faktor Keamanan  
Sumber: Analisis, 2020.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

Saat ini, dua pendekatan analisis stabilitas lereng dengan metode keseimbangan batas (LEM) dan berdasarkan prinsip elemen hingga (FEM) banyak digunakan dalam praktik di lapangan. Prinsip fisika mengenai hubungan *stress-strain* yang kurang dalam metode LEM telah dilengkapi dengan baik pada metode FEM. Akibatnya, perhitungan geoteknik dapat dengan mudah dilakukan. Selain itu, analisis FEM dapat mensimulasikan *stress* terkonsentrasi dan kompatibilitas deformasi, yang bermasalah pada metode LEM itu adalah kelebihan dari metode FEM.

Di sisi lain, metode analisis LEM telah diterapkan selama bertahun-tahun. Oleh karena itu, para engineer menguasai praktik pada metode ini yang memudahkan pengguna dan mendapatkan nilai Safety factor yang relatif baik untuk kasus tertentu yang menjadi kelebihan metode LEM.

Ruang lingkup penelitian ini adalah untuk membandingkan metode stabilitas tanah. oleh karena itu analisa ini membandingkan antara metode LEM dan FEM berdasarkan lereng existing dengan mempertimbangkan kasus beban seperti menjadikan kondisi lereng GWT maksimum, yang tercatat, beban tambahan seperti mobilisasi dan kondisi psedotatis dinamis gempa. Kedua metode tersebut menggunakan parameter-parameter yang sama dan pada lokasi proyek yang nyata pada bridge-97 lintasan KCIC Walini, kabupaten Bandung Barat.

Berdasarkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode LEM pada program Geo 5 dan metode FEM pada program Geo 5 FEM dan Plaxis 3D dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Dalam analisis *Finite Elemen Method (FEM)*, keruntuhan yang terjadi secara alami melalui zona pada masa tanah yang mana kekuatan geser tanah tidak mampu menahan tegangan geser yang diberikan, sehingga tidak perlu membuat asumsi tentang bentuk atau lokasi dari permukaan keruntuhan yang harus diasumsikan dalam metode (LEM)
2. Dalam metode LEM yang menggunakan teori irisan pengguna harus membuat asumsi tentang gaya sisi geser, dalam cara kerja FEM adalah mempertahankan keseimbangan keseluruhan sampai kegagalan tercapai walaupun pada zaman sekarang teknologi LEM ada mode

optimize analisis seperti pada aplikasi Geo 5.

3. Selama data kompresibilitas tanah tersedia, pada Program FEM akan memberikan hasil deformasi pada tingkat tegangan dan regangan tanah sedangkan metode LEM hanya mampu mensimulasikan angka keamanan pada setiap irisan lereng.
4. FEM mampu memeriksa kegagalan progressif, termasuk kegagalan geser.
5. Nilai *safety factor* pada metode LEM dengan kondisi secara berturut-turut 0,87; 0,83; 0,65; 0,85; 0,76; 0,67. Metode FEM program Geo 5 yaitu 0,81; 0,73; 0,59; 0,66; 0,53; 0,53. Dan metode FEM program Plaxis 3D yaitu 0,87; 0,796; 0,780; 0,720; structure collaps; structure collaps.
6. Nilai faktor keamanan dari setiap metode relatif sama, tidak lebih dari 0,125, hanya pada metode FEM program Plaxis 3D otomatis tidak melanjutkan karena kegagalan struktur tercapai sebelum semua komputasi selesai total dan menunjukkan pesan bahwa perhitungan tidak dapat diteruskan. Pada program Plaxis 3D perbedaan pada setiap kondisi tidak terlalu jauh pada pembebanan tertentu karena adanya reduksi nilai pada perhitungan elemen hingga secara otomatis dengan perbedaan *safety factor* tidak lebih dari 0,060 hal ini masih dalam range karena ada parameter yang kurang dari data survei lapangan.

### 5.2 Saran

Saran yang dapat diberikan terkait dengan penyusunan tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk melakukan analisis stabilitas lereng, diperlukan kegiatan pemetaan dilapangan, sehingga lebih memahami bagaimana kondisi sebenarnya, dan lebih mendetail dalam memodelkan lereng dalam program.
2. Selain memerlukan kegiatan pemetaan lapangan, disiapkan juga secara lengkap data pendukung seperti data bor, spt, dan laboratorium.
3. Untuk proses analisis stabilitas lereng menggunakan perangkat lunak, diharapkan untuk memahami cara pengoperasian, fasilitas yang disediakan, dan parameter standar dalam perhitungan yang akan digunakan agar data valid dan hasil desain benar.
4. Pada program Geo 5 LEM disarankan agar analisa menggunakan mode optimize

terlebih dahulu lalu menggunakan all method agar kita mengetahui range hasil perhitungan safety factor.

5. Pada input beban gempa Plaxis 3D pengguna harus menghitung data nilai PGA terlebih dahulu sehingga didapatkan grafik akselerasi gempa.
6. Perlu diperhatikan pada phase dan permodelan penampang struktur pada analisa menggunakan program FEM di Plaxis 3D agar urutan memenuhi standar perhitungan analisa sehingga tidak terjadi error dan kesalahan diskritasi yang besar.
7. Dari hasil stabilitas lereng pada tugas akhir ini, dapat disarankan agar bisa membedakan kapan analisis stabilitas lereng menggunakan metode *LEM* dan kapan menggunakan metode *FEM* berdasarkan kegunaan dan output yang diperlukan.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arief, I. (2016). Geoteknik Tambang: *Mewujudkan Produksi Tambang yang Berkelanjutan dengan Menjaga Kestabilan Lereng*. Jakarta: PT. Gramedia.
- Das, B.M., (1998), *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Terj. oleh: Mochtar, N. E. & Mochtar, I. B., Jakarta: Erlangga.
- ASTM. (1999). D2850 - Standard Test Method for Unconsolidated-Undrained Triaxial Compression Test on Cohesive Soils. Astm D2850, 4 (July 1995) *Economics and Management Science*, vol. 1, 2012.
- Vermeer, A. (1998). "PLAXIS Finite Element Code for Soil and Rock Analyses", A.A. Balkema, Rotterdam, Brookfield.
- Bishop, A.W. (1995) "The Use of the Slip Circle in the Stability Analysis of Slopes" *Geotechnical*, London, v.5, n., p.7-17,
- Bowles, J. E., (1991), Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah. Jakarta: Erlangga.
- Brinkgreve, R.B.J., dan P.
- Cernica, J. N. (1994). *Geotechnical Engineering: Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Dinni, K. & Siregar, C. A. (2019). *Analisis Stabilitas Lereng Pada Jembatan Bridge 97 Jalur Kereta Api Cepat Indonesia-cina di Walini, Kabupaten Bandung Barat Menggunakan Aplikasi Geo studio*. Bandung: Universitas Sangga Buana YPKP.
- Lambe, W. T., dan Whitman R. V. (1969), *Soil Mechanics*. New York: John Wiley & Sons.
- Pandiangan, A. M. T., Hosang, J. R. C., & Septanto, D. (2019). Upaya Penanganan Pasca Longsor Lintas Purwokerto – Kutoarjo (Studi Kasus KM 423+100 Stasiun Ijo-Tambak) *Jurnal Perkeretaapian Indonesia*, 3(2), 146–152.
- Rojudin, D., Lutfi, M., & Taqwa, F. M. L. (2020). Analisis Keamanan Lereng Galian Tanah Di Area Pertambangan Bauksit (Studi Kasus di Desa Pedalaman Kecamatan Tayan Hilir, Kabupaten Sanggau, Kalimantan Barat). *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium 2020*, 1(1), 251–257.
- Siregar, C. A. (1997). Analisa Penanggulangan Longsoran di Tepi Sungai Mahakam. Bandung: Institut Teknologi Nasional Bandung.
- Siregar, C. A. (2017). Mekanika Tanah II (Soil Mechanic II). Bandung: Universitas Sangga Buana YPKP.
- Taqwa, F. M. L., Kholik, M., & Syaiful, S. (2017). Perhitungan Faktor Keamanan dan Pemodelan Lereng Sanitary Landfill dengan Faktor Keamanan Optimum di Klapanunggal, Bogor. In *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Rekayasa*. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang. <http://research-report.umm.ac.id/index.php/sentra/article/view/1427>.