

Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan Geocell Menggunakan Metode Elemen Hingga (PLAXIS 2D)

ARZUNNITA PRAMULANDANI, INDRA NOER HAMDHAN

Jurusan Teknik Sipil, Institut Teknologi Nasional Bandung
Email: arzunnitapramulandani@gmail.com

ABSTRAK

Lereng adalah permukaan bumi yang membentuk sudut kemiringan tertentu dengan bidang horizontal. Salah satu tindakan penanganan bencana longsor pada lereng melakukan perkuatan lereng menggunakan bahan geosintetik seperti geocell. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh geocell terhadap kestabilan lereng, sehingga dapat diketahui karakteristik pemasangan geocell yang dapat meningkatkan faktor keamanan suatu lereng. Penelitian ini melakukan variasi jarak antar vertikal geocell dengan spesifikasi geocell dan data tanah yang telah didapatkan untuk dilakukannya tahap pemodelan dengan perkuatan geocell sampai mendapatkan nilai faktor keamanan lebih besar dari nilai faktor keamanan minimum. Pemodelan dilakukan menggunakan program PLAXIS 2D. Perkuatan dengan geocell efektif digunakan pada tanah lempung, sehingga pemasangan jarak vertikal geocell yang paling efektif terdapat pada jarak 1 meter berdasarkan panjang geocell 6 m, dengan kemiringan lereng 1:1, kuat tarik 14,5 MPa dan didapatkan nilai SF lebih besar dari /batas minimum, semakin rapat pemasangan geocell mampu meningkatkan nilai faktor keamanan dengan rata-rata sebesar 7%.

Kata kunci: faktor keamanan, geocell, stabilitas lereng, timbunan

ABSTRACT

Slope is the surface of the earth that forms a certain angle of inclination with a horizontal plane. One of the prevention to overcome landslides on slopes is to strengthen slopes using geosynthetic materials such as Geocells. This study aims to analyze the effect of geocells on slope stability, so that the characteristics of geocell installation can be known which can increase the safety factor of a slope. This study varies the distance between vertical geocells with geocell specifications and soil data that has been obtained for the modeling phase with geocell reinforcement to obtain the safety factor value greater than the minimum safety factor value. Modeling is done using 2D PLAXIS program. Reinforcement with geocells is effectively used on clay soils, so that the most effective vertical geocell spacing is at a distance of 1 meter based on the geocell length of 6 m, with a slope of 1: 1, tensile strength 14.5 MPa and the SF value is greater than / minimum limit, the denser the geocell installation can increase the value of the safety factor by an average of 7%.

Keywords: safety factor, geocell, slope stability, embankment

1. PENDAHULUAN

Perkuatan lereng menggunakan geosintetik mempunyai umur rencana yang cukup lama, mendukung beban yang besar dan memiliki fungsi sebagai separator, filter, proteksi, dan perkuatan (Rahardjo, P. P., 2002). Penelitian ini menganalisis stabilitas lereng yang diperkuat *geocell* dengan memvariasikan jarak vertikal *geocell* untuk mengetahui nilai faktor keamanan. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis kestabilan lereng yang diperkuat *geocell* dengan adanya pengaruh jarak vertikal pemasangan *geocell*. Pemodelan dilakukan menggunakan *software* PLAXIS 2D yang berbasis elemen hingga. Mehdi-pour, I., Ghazavi, M. & Moayed, R. Z. (2013), melakukan studi numerik tentang analisis stabilitas lereng yang diperkuat *geocell* dengan mempertimbangkan efek lentur dan Dash, S. K., Krishnaswamy, R. N. & Karpurapu, R. (2001), melakukan variasi jumlah lapisan *geocell* sangat berpengaruh terhadap nilai faktor keamanan, semakin banyak lapisan *geocell* yang digunakan maka makin berpengaruh terhadap besarnya faktor keamanan. *Geocell* mampu meningkatkan nilai faktor keamanan dan mengurangi deformasi pada lereng jika adanya beban gempa yang terjadi pada lereng.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Geocell* sebagai Perkuatan Tanah

Upaya yang digunakan untuk perkuatan struktur lereng yaitu menggunakan geosintetik dengan tipe *geocell* yang sengaja dibuat oleh manusia yang terbuat dari bahan *polymer* (sejenis plastik). *Geocell* ini digunakan dalam teknik perkuatan tanah sebagai dinding penahan tanah dan stabilitas lereng. Analisis pada penelitian ini memilih menggunakan *geocell* sebagai bahan perkuatan pada lereng dengan memvariasikan pemasangan jarak antar vertikal *geocell*. Aplikasi *geocell* untuk perkuatan yaitu dapat untuk timbunan, konstruksi jalan, pondasi, jalan kereta api, dinding penahan tanah, dan proteksi lereng dan erosi kontrol (Departemen Pekerjaan Umum, 2009). Diperkirakan *geocell* ini cukup efektif untuk perkuatan lereng dan mengurangi deformasi pada lereng yang lemah terjadi longsor, sehingga jarak vertikal *geocell* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan pada lereng. *Geocell* merupakan produk tiga dimensi yang berbentuk seperti sarang lebah yang terbuat dari bahan polimer (PT. Pandu Equator Prima Geosynthetics Engineering, 2020). *Geocell* memiliki bentuk dengan diameter dan tinggi yang berbeda-beda. *Geocell* adalah panel tiga dimensi yang ringan dan *flexible* (PT. Pandu Equator Prima Geosynthetics Engineering, 2020). Material utamanya adalah *High-Density Polyethylene* (HDPE) strip yang diikat dengan cara ultrasonik sehingga didapatkan konfigurasi yang kuat (PT. Pandu Equator Prima Geosynthetics Engineering, 2020). Berdasarkan permukaannya terdapat dua tipe *Geocell* yaitu halus (*smooth*) dan kasar (*textured*). Pemodelan dengan pemasangan *geocell* yang ditimbun dalam tanah dan dihamparkan secara horizontal memotong pada bidang gelincir yang kritis maka *geocell* akan meningkatkan gaya yang menahan longsor pada lereng. Jarak pemasangan *geocell* dapat diatur sesuai kebutuhan dan tingkatan kritisnya suatu lereng.

2.2 Analisis Stabilitas Lereng

Analisis stabilitas lereng yaitu menentukan faktor keamanan dari bidang longsor. Faktor keamanan (FK) didefinisikan sebagai nilai perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang menggerakkan (SNI 8460:2017). Nilai-nilai faktor keamanan (FK) atau *safety factor* (SF) untuk menilai kestabilan suatu lereng mengacu pada SNI 8460:2017 kondisi lereng dikatakan aman jika $FK > 1,25$ dengan satu jenis tanah yang menunjukkan lereng stabil. Pemodelan tersebut akan menghasilkan nilai faktor keamanan dengan menggunakan metode *shear strength reduction* (*phi-c reduction*) yaitu suatu metode yang dimanfaatkan untuk menentukan suatu nilai SF dan umumnya pada pendekatan-pendekatan elemen hingga. Pendekatan yang utama dari elemen hingga adalah *stress* = matriks kekakuan (*stiffness matrix*) dikalikan

dengan regangan (*strains*) (Cook, R. D., 1990). Dengan *c* atau ϕ (*phi*) (*shear strength*) tanah di-*reduce* akan mempengaruhi *input* dan *output* dari matriks-matriks tersebut sehingga dengan suatu pendekatan tertentu akan menghasilkan suatu nilai *safety factor* yang akan konvergen pada suatu batasan tertentu (galat/jumlah interaksi maksimum).

Nilai SF yang dihasilkan akan berhubungan dengan berbagai macam variable yaitu *steps* atau langkah *iterasi*, *time*, *displacement*, *water pressure* (Brinkgreve, R. B. J., 2016). Dengan persamaan yang digunakan untuk mendapatkan nilai SF yaitu ditunjukkan pada **Persamaan 1**. Pemodelan ini juga menganalisis stabilitas jangka pendek (*short term*) atau selesai konstruksi biasanya menggunakan tegangan total analisis (TSA), atau disebut juga dengan kondisi *undrained*. Kondisi ini terjadi karena waktu pembebanan kecepatannya lebih cepat dari keluarnya air pori. Dengan parameter yang digunakan (*c*) kohesi dan (ϕ) phi untuk menghasilkan nilai SF. Sedangkan pada kondisi jangka panjang (*long term*) atau kondisi *drained* analisis yang digunakan tegangan efektif stress (ESA).

Pada tegangan efektif analisis pembebanannya lebih lama dari keluarnya air pori. Sehingga dalam waktu jangka lama tekanan air pori tereduksi yang menyebabkan kuat geser tanah dan faktor keamanan meningkat. Parameter yang digunakan dalam tegangan efektif (*c'*) dan (ϕ') yang ditentukan dari analisis stabilitas jangka pendek (*short term*) dengan derajat konsolidasi pada saat tertentu dimana *U* antara (0-100)% yang bermaksud untuk mengetahui penurunannya dalam waktu tertentu, dengan *U* = 90% dan menggunakan persamaan ditunjukkan pada **Persamaan 2**. Analisis gempa yang digunakan untuk merencanakan bangunan tahan gempa, menggunakan metode *Pseudo Statik* adalah merubah gaya yang timbul akibat beban gempa yang berbentuk dinamik menjadi statik dengan menerapkan gaya lateral yang bekerja melalui pusat massa, bertindak ke arah luar lereng dan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak dari permukaan (*PGA*) dengan penentuan kelas situs pada lokasi tanah tersebut (SNI 8460:2017).

$$\Sigma M_{SF} = \frac{\tan \phi_{available}}{\tan \phi_{failure}} = \frac{C_{available}}{C_{failure}} \quad \dots (1)$$

halmana:

- ΣM_{SF} = faktor keamanan,
- $\phi_{available}$ = sudut geser dalam tanah [$^{\circ}$],
- $\phi_{failure}$ = sudut geser dalam tanah tereduksi [$^{\circ}$],
- $C_{available}$ = kohesi tanah [kPa],
- $C_{failure}$ = kohesi tanah tereduksi [kPa].

$$t_{90} = \frac{0,848 \times H}{C_v} \quad \dots (2)$$

halmana:

- t_{90} = waktu penurunan sampai 90% [detik],
- H* = tinggi rata-rata sampel [m],
- C_v = koefisien konsolidasi [m²/detik].

3. METODOLOGI PENELITIAN

Tanah yang digunakan pada pemodelan ini adalah tanah lempung yang berlokasi di Tanah Merah, Desa Penaga, Kec. Teluk Bintan, Tanjung Pinang. Setelah didapatkan data tanah maka dilakukan pemodelan lereng tanpa perkuatan *geocell* menggunakan *Software* PLAXIS 2D yang menghasilkan faktor keamanan yang kritis. Parameter tersebut dapat dilihat pada **Tabel 1**

yang digunakan sebagai parameter tanah untuk pemodelan analisis stabilitas jangka pendek (*short term*), jangka panjang (*long term*) dan gempa, pada parameter *long term* yaitu menggunakan (c') dan (ϕ') yang didapatkan dari analisis jangka pendek (*short term*) setelah dikonsolidasikan 90% pada pemodelan di *Software* PLAXIS 2D.

Tabel 1. Data Parameter Tanah (*short term*)

Jenis Tanah	γ_{unsat} [kN/m ³]	γ_{sat} [kN/m ³]	E [kN/m ²]	c [kN/m ²]	ϕ [°]	ψ [°]	Model Material
Lempung	16,279	10,915	10.000	7,5	7,750	0	M-C

Geocell saat digunakan sebagai bahan perkuatan bekerja mengandalkan kuat tarik. Pada saat *geocell* tersebut tertarik, maka akan berdeformasi dan mengalami perpanjangan (elongasi). Pemodelan yang dilakukan menggunakan *Software* PLAXIS 2D membutuhkan nilai kuat tarik dari material *geocell* tersebut. Data spesifikasi *geocell* yang digunakan membentuk seperti sarang lebah dan memiliki parameter seperti pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Data Parameter *Geocell*

Keterangan	Kemiringan Lereng	Kuat Tarik [MPa]	Elongasi [%]
HDPE <i>Geocell</i>	1V:1H, 1V:1,5H, dan 1V:2H	33	10

Geocell merupakan elastic material serta memiliki data spesifikasi yang harus di-*input* pada *Software* PLAXIS 2D yaitu nilai EA (*normal stiffness*) yang dihasilkan dari kuat tarik izin *geocell* (P_{izin}) dibagi dengan nilai elongasi (ϵ). Nilai kuat tarik izin yang digunakan yaitu 33 MPa, sedangkan nilai elongasi yang digunakan yaitu sebesar 10% yang diambil berdasarkan brosur produk *geocell* (Anhui Elite Industrial Co.,ltd., 2020). Nilai EA dapat dihitung dengan cara membagi nilai kuat tarik izin dengan nilai elongasi, sehingga didapatkan nilai EA adalah sebesar 330 MPa.

Lokasi data tanah yang diambil yaitu Tanah Merah; Desa Penaga; Kec. Teluk Bintan, Kab. Bintan dengan koordinat lokasi yaitu latitude 0,5427 dan longitude 104,272. Diperoleh nilai percepatan puncak dipermukaan (PGA) 0,0379g; nilai PGA didapatkan dari desain spektra Indonesia atau *response spectrum* Puskim. Dengan faktor keamanan > 1,1. Nilai koefisien situs untuk percepatan puncak mengacu pada klasifikasi situs (F_{PGA}) yang berada di SNI 8460:2017, dengan jenis tanah lempung nilai F_{PGA} yang digunakan yaitu 2,4. Nilai koefisien seismik (k_h) dapat dihitung menggunakan **Persamaan 3** dan untuk koefisien gempa (a) dapat dihitung menggunakan **Persamaan 4**.

$$k_h = 0,5 \times PGA \quad \dots (3)$$

halmana:

k_h = koefisien seismik,
 PGA = percepatan puncak dipermukaan [g].

$$a = k_h \times F_{PGA} \quad \dots (4)$$

halmana:

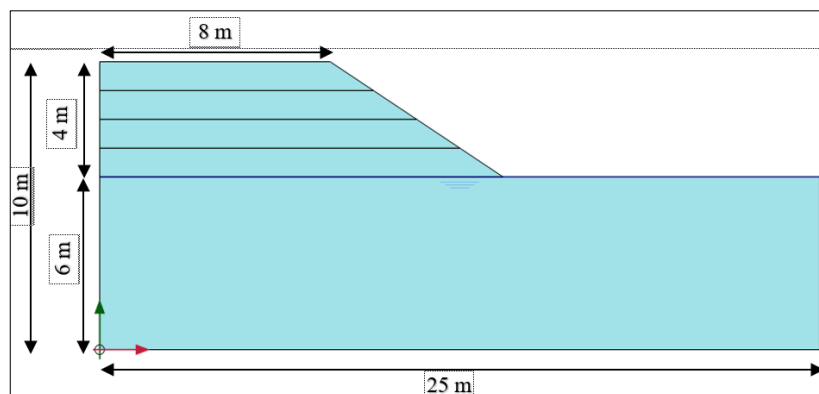
a = koefisien gempa [g],
 F_{PGA} = jenis tanah.

Berdasarkan dari **Persamaan 3** dan **Persamaan 4** di atas, maka data yang di-*input* pada PLAXIS 2D untuk beban gempa pada pemodelan ini yaitu sebesar $0,0455g$ arah horizontal yang dititik beratkan pada kondisi yang lemah terhadap beban gempa. Data yang telah didapatkan akan di-*input* pada *software* PLAXIS 2D sebagai parameter *geocell* dan parameter tanah. Pada pemodelan ini juga dilakukan jenis *mesh* dan melakukan pemodelan tanpa perkuatan terlebih dahulu untuk mendapatkan nilai SF di bawah nilai minimal dari Standar Nasional Indonesia (SNI) lalu dilakukannya pemodelan dengan variasi jarak vertikal dan dilakukannya pembahasan setelah mendapatkan nilai SF yang telah diperkuat.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemodelan Geometri Lereng

Lereng yang dimodelkan pada *software* PLAXIS 2D merupakan lereng yang dilakukan penimbunan hingga ketinggian mencapai 10 meter, tinggi timbunan lereng 4 meter, lebar pada kaki lereng 25 meter dan lebar pada bagian atas lereng 8 meter, serta kedalaman tanah dari kaki lereng setinggi 6 meter. Pemodelan ini dilakukan dengan jenis tanah lempung. Pada pemodelan ini pemasangan *geocell* dipasang secara horizontal yang divariasikan jarak vertikal *geocell*-nya dengan maksud untuk mengetahui pengaruh jarak pemasangan *geocell* pada kenaikan faktor keamanan lereng. Jarak yang dilakukan pada pemodelan ini dari mulai paling rapat, sedang dan renggang, yaitu 0,2 meter; 0,5 meter; dan 1 meter. Pemodelan geometri lereng yang telah dilakukan pada PLAXIS 2D dapat dilihat pada **Gambar 1**.



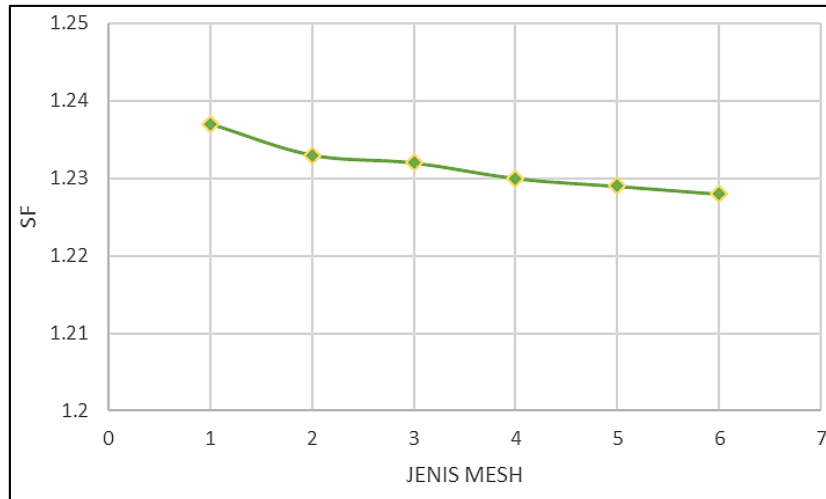
Gambar 1. Model geometri lereng

4.2 Penentuan Jenis *Mesh*

Penentuan jenis *mesh* pada *software* PLAXIS 2D menentukan kehalusan pembagian jaringan-jaringan elemen yang menghubungkan *node-node* pada model yang ditinjau, serta ketelitian dari hasil analisis, semakin rapat jaringan elemen dan halus *mesh* maka hasil perhitungan akan semakin akurat. Pemodelan dilakukan percobaan di setiap jenis *mesh* apabila nilai faktor keamanan > 1 maka jenis *mesh* tersebut akan digunakan untuk pemodelan selanjutnya.

Setelah semua jenis *mesh* dilakukan maka nilai SF pada setiap jenis *mesh* akan menentukan jenis *mesh* yang akan digunakan pada penelitian pemodelan. Berikut adalah grafik perbandingan antara jenis *mesh* dengan nilai faktor keamanan yang disajikan pada **Gambar 2** dan pada **Tabel 4** jenis *mesh* dan nilai SF.

Berdasarkan pada **Gambar 2** perbandingan jenis *mesh* terhadap nilai faktor keamanan, nilai SF pada *refine global* hasilnya mendekati nilai SF *mesh very fine*, maka jenis *mesh* yang digunakan pada penelitian pemodelan ini menggunakan jenis *mesh very fine* dan berlaku untuk pemodelan berikutnya.



Gambar 2. Grafik perbandingan antara jenis *mesh* dengan nilai faktor keamanan

Tabel 4. Nilai SF Berdasarkan Jenis *Mesh*

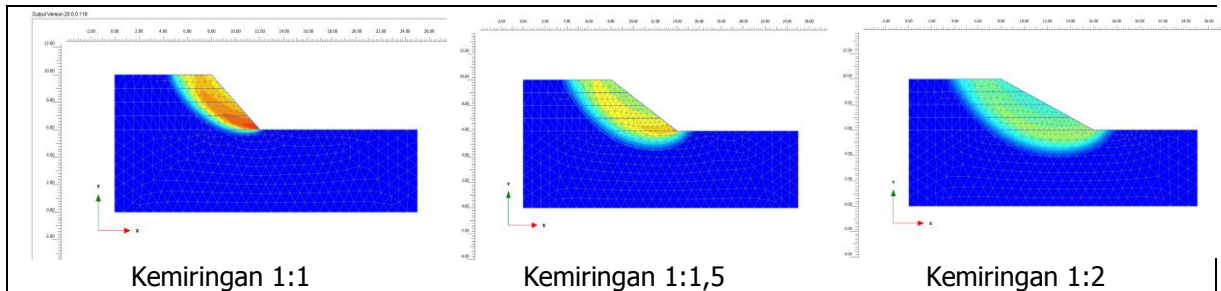
Jenis <i>Mesh</i>	Faktor Keamanan
<i>Very Coarse</i>	1,237
<i>Coarse</i>	1,233
<i>Medium</i>	1,232
<i>Fine</i>	1,230
<i>Very Fine</i>	1,229
<i>Refined Very Fine</i>	1,228

4.3 Analisis Stabilitas Lereng dan Pembahasan

Analisis stabilitas lereng timbunan yang dilakukan pada penelitian ini, memodelkan dengan kondisi lereng tanpa perkuatan dan lereng setelah diperkuat. Pemodelan tersebut dilakukan untuk mengetahui nilai faktor keamanan dan bidang gelincir yang terjadi.

Analisis pemodelan lereng sebelum dilakukannya perkuatan yaitu untuk mengetahui nilai SF awal, sehingga dapat diketahui kondisi lereng yang memiliki bagian paling kritis untuk menentukan bagian mana yang tepat untuk diperkuat dan menghasilkan nilai faktor keamanan yang stabil. Mengacu pada SNI 8460:2017 kondisi lereng dapat dikatakan aman jika memiliki nilai faktor keamanan $\geq 1,25$ dengan satu jenis tanah. Hasil pemodelan lereng pada kondisi eksisting menggunakan Program PLAXIS 2D didapatkan nilai faktor keamanan kurang dari faktor keamanan izin, sehingga dibutuhkan perkuatan untuk menstabilkan lereng yang ditinjau. Berikut adalah hasil bidang gelincir yang dihasilkan dengan perbedaan kemiringan, dapat dilihat pada **Gambar 3**.

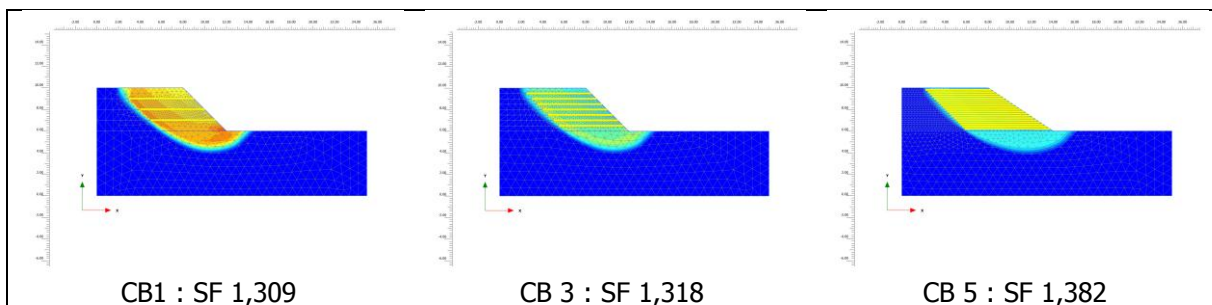
Berdasarkan **Gambar 3** hasil analisis lereng sebelum diberikan perkuatan dengan kemiringan 1:1 dihasilkan nilai SF 1,229; kemiringan 1:1,5 nilai SF 1,234 dan kemiringan 1:2 menghasilkan nilai SF sebesar 1,235; ketiga jenis kemiringan yang dilakukan menggunakan *mesh very fine*. Pengaruhnya tiga kemiringan yang dilakukan terjadi pada nilai faktor keamanannya yang berbeda. Kemiringan yang landai akan memiliki nilai faktor keamanan lebih aman, dan pada kemiringan yang curam besar kemungkinannya akan terjadi longsor serta nilai faktor keamanannya lebih kecil dari pada kemiringan yang landai.



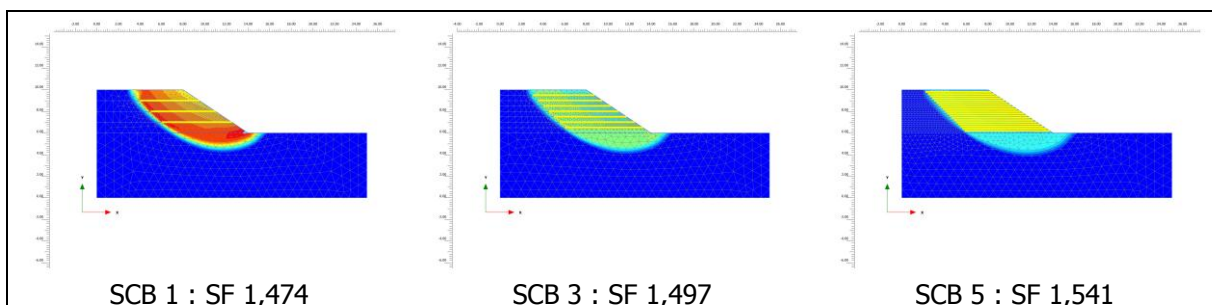
Gambar 3. Bidang gelincir tanpa perkuatan

Pemodelan *geocell* sebagai perkuatan divariasikan dengan cara pemasangan atau konfigurasi *geocell* dan jarak spasi antar vertikalnya. Panjang *geocell* yang akan digunakan sebagai perkuatan yaitu sepanjang 6 meter karena sudah memotong bidang lemah pada bidang gelincirnya sebelum diperkuat sehingga ditambahkan panjang *geocell*nya mengasilkan nilai SF yang sudah tidak berpengaruh kembali terhadap kenaikan nilai SF pada lereng dan dipasang *geocell* tepat pada bidang yang lemah atau rawan terjadinya runtuh sebelum diperkuat. Perkuatan menggunakan *geocell* dipasang dan dihamparkan pada lereng yang rawan terhadap longsor dengan mempertimbangkan pemasangan jarak vertikal *geocell* sebelum dilakukan penimbunan.

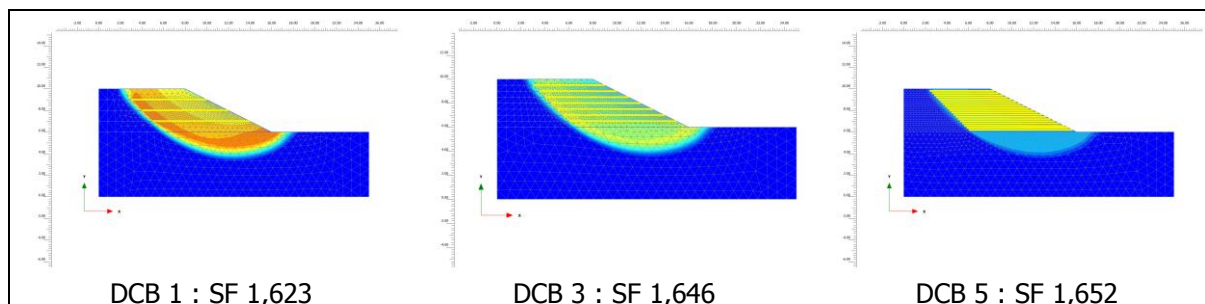
Jarak vertikal *geocell* yang digunakan sebagai variasi pada pemodelan penelitian ini terdapat tiga macam jarak, yaitu 0,2 m; 0,5 m; dan 1 m. Analisis yang dilakukan adalah mengetahui pengaruh jarak vertikal antar *geocell* terhadap nilai faktor keamanan. Grafik dan model geometri lereng dengan perkuatan *geocell* disajikan pada **Gambar 4** yaitu kondisi lereng setelah diperkuat menggunakan *geocell* dengan variasi jarak vertikal *geocell*.



Gambar 4. Kemiringan 1:1 perkuatan dengan *geocell* dan variasi jarak vertikal 1 meter; 0,5 meter; dan 0,2 meter



Gambar 5 Kemiringan 1:1,5 perkuatan dengan *geocell* dan variasi jarak vertikal 1 meter; 0,5 meter; dan 0,2 meter



Gambar 6. Kemiringan 1:2 perkuatan dengan *geocell* dan variasi jarak vertikal 1 meter; 0,5 meter; dan 0,2 meter

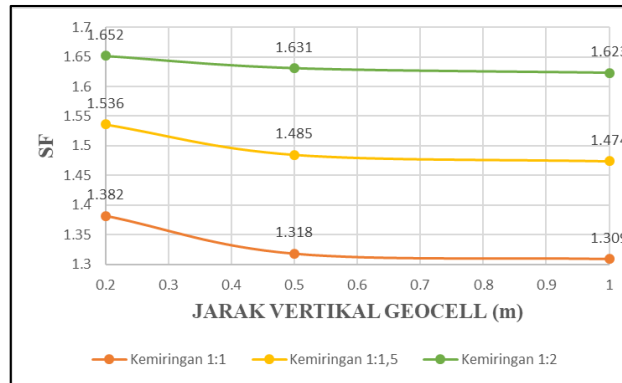
Berdasarkan gambar yang telah disajikan **Gambar 4**, **Gambar 5** dan **Gambar 6** menunjukkan bahwa kemiringan lereng mempengaruhi besarnya faktor keamanan. Jarak pemasangan *geocell* menjadi salah satu variasi pada penelitian ini dikarenakan untuk mengetahui pengaruh pemasangan *geocell* terhadap peningkatan nilai faktor keamanan yang terjadi. Semakin jauh pemasangan antara *geocell* satu dengan yang lainnya maka akan mengakibatkan keadaan yang kritis pada lereng, namun apabila *geocell* dipasang semakin rapat kenaikan terhadap besarnya nilai faktor keamanan dapat meningkat sebesar 7% dan *geocell* akan memberikan perkuatan dan kestabilan pada lereng tersebut.

Pemasangan jarak vertikal *geocell* ini mempengaruhi terhadap bidang gelincir, dengan pemasangan *geocell* yang renggang atau dikatakan jauh antara jarak *geocell* satu dengan yang berikutnya akan menghasilkan bidang gelincir yang memiliki warna merah seperti pada **Gambar 4**, **Gambar 5** dan **Gambar 6** yang dihasilkan di model CB 1, SCB1, dan DCB 1, yang artinya tanah tersebut masih mengalami pergeseran dan memiliki nilai *displacement* terbesar, pada pemasangan *geocell* semakin rapat akan mengasilkan tanah yang padat atau mengurangi adanya pergeseran pada tanah seperti yang dihasilkan di model CB 5, SCB 5 dan DCB 5, biasanya hasil yang terdapat pada gambar bidang gelincir ditandai dengan warna biru. Dengan kemiringan yang berbeda dan pemasangan jarak vertikal *geocell* yang berbeda juga terjadi perubahan warna pada bidang gelincirnya secara signifikan, maka pemasangan *geocell* dengan mempertimbangkan jaraknya sangat berpengaruh pada nilai SF-nya dan juga mempengaruhi bidang gelincirnya.

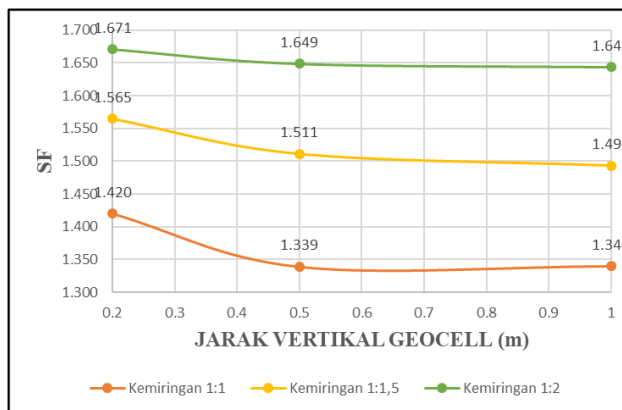
Pemasangan *geocell* yang rapat mampu menstabilkan lereng yang rawan akan terjadinya longsor sehingga menjadi lereng yang aman, nilai faktor kemannya pun termasuk kriteria lereng yang aman dengan mengacu pada nilai faktor keamanan minimal yang telah ditetapkan oleh SNI 8460:2017. **Gambar 7** dan **Gambar 8** menunjukkan perbandingan antara jarak vertikal *geocell* dengan nilai SF berdasarkan kuat tarik dan konfigurasi *geocell*. Masing-masing gambar yang memiliki tiga garis grafik dengan warna garis yang berbeda menunjukkan perbedaan kemiringan dan jarak vertikal *geocell* yang menyatakan bahwa semakin rapat *geocell* dipasang maka akan sangat berpengaruh pada kenaikan nilai SF atau kestabilan keamanan lereng, sehingga jarak paling rapat sangat efektif untuk digunakan jika ditinjau dalam segi hal keamanan pada penelitian model ini. Kenaikan nilai SF pada grafik tersebut dipengaruhi oleh adanya pemasangan *geocell* dengan memvariasikan jarak vertikalnya sehingga kerapatan *geocell* dapat berperan penting terhadap kestabilan lereng yang mengakibatkan nilai SF-nya meningkat.

Hasil analisis perkuatan lereng dengan variasi jarak tersebut diketahui bahwa semakin besar spasi vertikal antar *geocell* nilai faktor keamanan yang dihasilkan akan semakin kecil dan keadaan lereng akan semakin kritis. Hal tersebut terjadi karena pada saat spasi vertikal antar *geocell* semakin besar, maka tegangan tarik untuk menahan gaya longsor semakin kecil.

Semakin kecil spasi vertikal antar *geocell* menghasilkan nilai SF yang lebih besar. Pemasangan *geocell* ini sangat cepat, fleksibel dan sederhana dalam aplikasi pemasangan di lapangan sehingga memangkas waktu kerja.



Gambar 7. Grafik pengaruh jarak vertikal *geocell* terhadap kenaikan SF dengan konfigurasi horizontal dan kuat tarik 33 kN/m

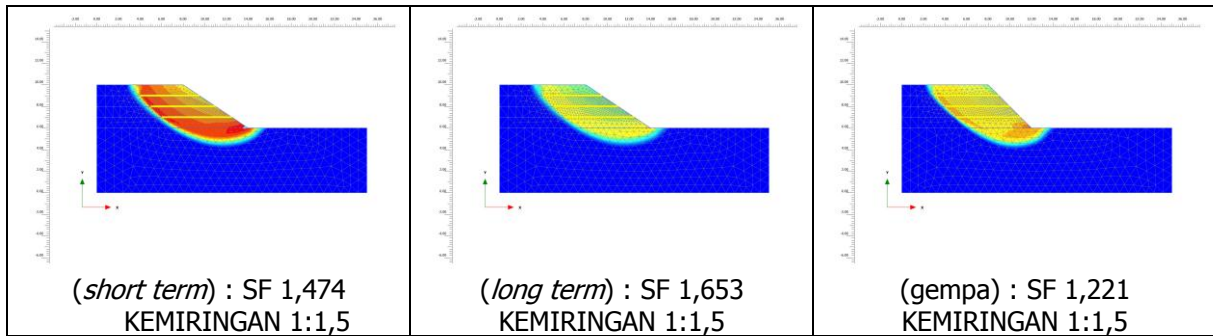


Gambar 8. Grafik pengaruh jarak vertikal *geocell* terhadap kenaikan SF dengan konfigurasi kombinasi dan kuat tarik 33 kN/m

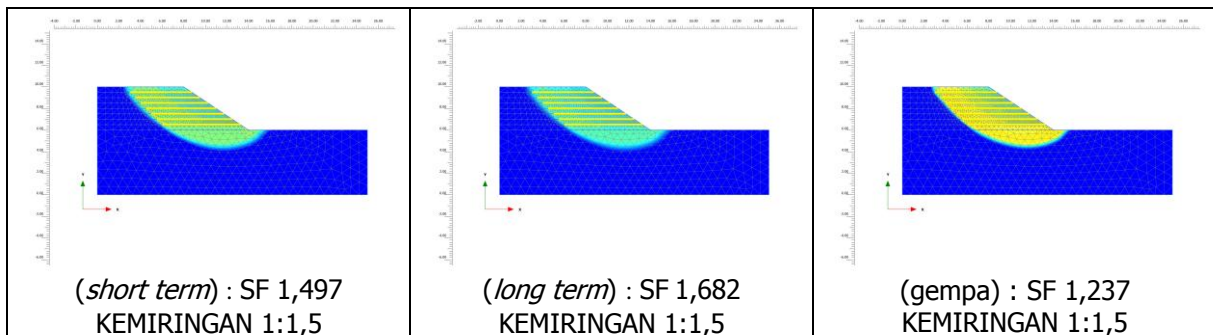
Penelitian pemodelan dengan memvariasikan jarak vertikal *geocell*, juga melakukan analisis pada kondisi *short term* atau jangka pendek, *long term* atau jangka panjang, dan getaran yang diakibatkan oleh adanya gempa. Kondisi *short term* pada *software* PLAXIS 2D menggunakan *calculation type plastic* dengan kondisi *undrained*. Kondisi ini terjadi karena waktu pembebanan kecepatannya lebih cepat dari keluarnya air pori. Kasus *undrained* terjadi pada tanah lempung, proses keluarnya air pori pada tanah lempung sangat lama jika dibandingkan dengan tanah pasir. Sedangkan pada kondisi *long term* atau jangka panjang, menggunakan *calculation type consolidation* dengan kondisi *drained*. Pada kondisi ini pembebanannya lebih lama dari keluarnya air pori. Biasanya menggunakan analisis tegangan efektif yang dimana parameter didapatkan pada uji *triaxial test*. Pengaruh pemodelan dengan mengecek pada kondisi *long term* dapat meningkatkan nilai faktor keamanan pada lereng, sehingga tanah timbunan pada lereng dapat lebih padat dengan sedikitnya air pori, dan menghasilkan nilai SF lebih besar dari pada kondisi *short term* dikarenakan pemodelan dilakukan konsolidasi dengan jangka waktu selama tiga hari, dengan maksud agar tanah timbunan menjadi lebih padat dan menghasilkan nilai kestabilan pada lereng yang aman.

Beban gempa yang terjadi pada pemodelan ini diberikan pada titik lemah lereng. Yang akan menimbulkan getaran sehingga memberikan kemungkinan akan terjadi longsor. Pada analisis ini seberapa kuat lereng yang perkuatan menggunakan *geocell* mampu menahan getaran

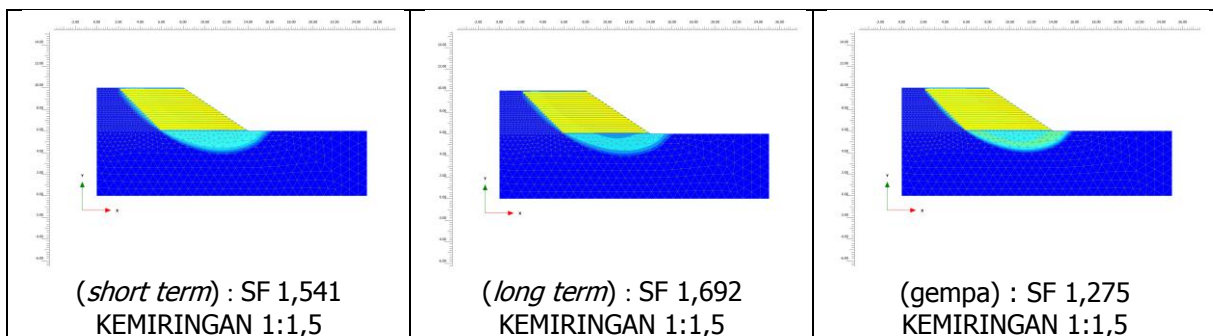
gempa. Sehingga kekutan pada *geocell* ini dapat dibuktikan. Geometri lereng disajikan pada **Gambar 9**.



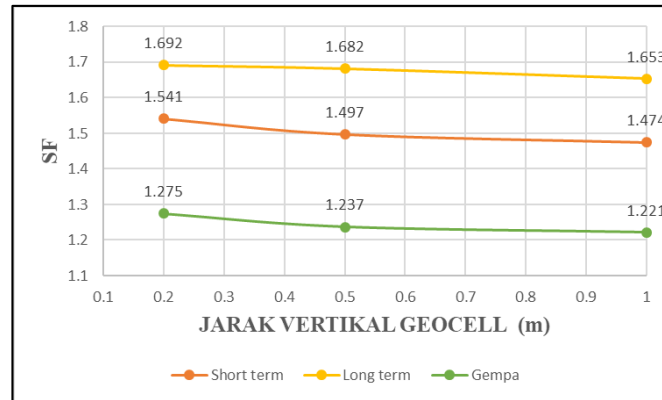
Gambar 9. Pengaruh kondisi *short term*, *long term* dan beban gempa pada kemiringan 1:1,5 dengan jarak vertikal *geocell* 1 meter



Gambar 10. Pengaruh kondisi *short term*, *long term* dan beban gempa pada kemiringan 1:1,5 dengan jarak vertikal *geocell* 0,5 meter



Gambar 11. Pengaruh kondisi *short term*, *long term* dan beban gempa pada kemiringan 1:1,5 dengan jarak vertikal *geocell* 0,2 meter



Gambar 12. Grafik pengaruh jarak vertikal terhadap nilai SF dalam kondisi *long term* dengan konfigurasi horizontal pada kemiringan 1:1,5

Berdasarkan pada **Gambar 9**, **Gambar 10** dan **Gambar 11** terjadi perubahan warna pada bidang gelincir dan kenaikan nilai SF pada kondisi *long term*, serta penurunan nilai SF pada kondisi gempa. Didapatkan nilai faktor keamanan pada kondisi *short term* atau jangka pendek, sudah dikategorikan aman dikarenakan nilai SF yang didapat $> 1,25$. Pada kondisi *short term* dihasilkan bidang gelincir yang masih mengalami pergeseran tanah sedangkan pada kondisi *long term* dengan kondisi tanah yang dikonsolidasikan terlebih dahulu atau adanya jarak waktu ketika penimbunan lapis tanah berikutnya mengubah bidang gelincir menjadi lebih aman yaitu mengurangnya pergeseran pada tanah. Pada kondisi *long term* mengalami kenaikan nilai SF dengan rata-rata meningkat 15% dari kondisi *short term*. Kondisi gempa dilakukan setelah penimbunan telah selesai dilakukan, beban gempa ditempatkan pada titik lereng yang memiliki lemah mengalami longsor. Data tanah yang berlokasi di Tanah Merah ini dapat dikatakan aman terhadap adanya getaran atau beban gempa, dikarenakan nilai faktor keamanan memenuhi syarat minimum yaitu nilai SF-nya $> 1,1$ dengan menggunakan model *pseudostatik* dan menggunakan koefisien seismik yang didapatkan dari percepatan puncak dari permukaan (*PGA*) dengan penentuan kelas situs pada lokasi tanah tersebut.

Analisis yang dilakukan pengecekan terhadap tiga kondisi pada pemodelan ini adalah mengetahui perbedaan kenaikan faktor keamanan pada kondisi *short term*, *long term* dan gempa, sehingga mengetahui kenaikan pada kondisi *long term* dan mengetahui penurunan pada kondisi gempa dengan rata-rata penurunan sebesar 20% dari kondisi *short term*. Berdasarkan **Gambar 12** kenaikan nilai faktor keamanan pada kondisi *long term* diakibatkan adanya konsolidasi pada tanah timbunan yang dimana tanah tersebut sudah dalam kondisi yang terdisipasi atau konsolidasi tersebut dapat memperkuat kondisi tanah timbunan sehingga semakin padat dan kokoh sehingga lereng pada kondisi *long term* akan mengalami kenaikan nilai faktor keamanannya dan menanggulangi pergeseran pada tanah. Penurunan nilai faktor keamanan yang terjadi pada kondisi gempa, ditunjukkan pada grafik tersebut menghasilkan garis pada grafik berada di bawah nilai faktor keamanan kondisi *short term* yang diakibatkan adanya getaran dari beban gempa sehingga tanah timbunan pada lereng terjadi pergerakan dan membuat faktor keamanannya menurun, tetapi nilai faktor keamanan yang didapatkan telah memenuhi kriteria minimum faktor keamanan akibat gempa yang telah ditetapkan pada SNI 8460:2017.

5. KESIMPULAN

Setelah dilakukan analisis stabilitas lereng yang diperkuat menggunakan *geocell* pada tiga jenis kemiringan dengan satu jenis model tanah yaitu tanah lempung, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai SF terbesar dari ketiga jarak vertikal *geocell* yang digunakan rata-rata terdapat pada jarak yang paling rapat yaitu jarak 0,2 meter; dikarenakan jarak yang semakin rapat akan menanggulangi kondisi yang kritis pada lereng agar semakin aman dan jarak yang semakin rapat juga dapat menaikkan nilai SF dengan rata-rata sebesar 7%.
2. Adanya perkuatan *geocell* dengan masing-masing nilai kuat tarik yang dilakukan dalam pemodelan meningkatkan nilai SF lereng dengan rata-rata 30%. Ini menunjukkan bahwa perkuatan lereng menggunakan *geocell* sangat efektif jika ditinjau dari faktor keamanan stabilitas global. Nilai faktor keamanan yang paling efektif dan efisien didapat pada pemodelan kuat tarik 14,5 MPa; panjang *geocell* 6 meter; dan jarak vertikal *geocell* 1 meter dikombinasikan pemasangan *geocell*; menghasilkan nilai SF yang aman dan lebih besar dari batas minimum SF-nya.
3. Nilai faktor keamanan pada kondisi gempa terjadi penurunan rata-rata sebesar 20% dari kondisi *short term*, namun nilai SF yang diperoleh terdapat pada nilai yang aman untuk lereng yang mengalami gempa.
4. Pemilihan jenis tanah pada penelitian stabilitas lereng dengan jenis tanah lempung cocok digunakan perkuatan menggunakan *geocell* yang dimana ketika uji ketahanan gempa pada *software* PLAXIS 2D mampu menahan gaya horizontal dari beban gempa tersebut.

DAFTAR RUJUKAN

- Anhui Elite Industrial Co.,ltd. (2020, Oktober 15). *Plastic HDPE Geocell*. Retrieved Oktober 15, 2020, from ELiTE-iNDUS: <https://www.ahelite.com/Plastic-HDPE-Geocell-pd403734.html>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *SNI 8460:2017 tentang Persyaratan Perancangan Geoteknik*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Brinkgreve, R. B. (2016). *PLAXIS 2016*. Netherlands: PLAXIS.
- Cook, R. D. (1990). *Konsep dan Aplikasi Metode Elemen Hingga*. (B. Suryoatmono, Trans.) Bandung: PT Eresco.
- Dash, S. K., Krishnaswamy, R. N. & Karpurapu, R. (2001). Bearing capacity of strip footings supported on geocell-reinforced sand. *Geotextiles and Geomembranes*, 19(4), 235-256.
- Departemen Pekerjaan Umum. (2009). *Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 003/BM/2009 tentang Perencanaan dan Pelaksanaan Perkuatan Tanah dengan Geosintetik*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Mehdipour, I., Ghazavi, M. & Moayed, R. Z. (2013). Numerical study on stability analysis of geocell reinforced slopes by considering the bending effect. *Geotextiles and Geomembranes*, 37, 23–34.
- PT. Pandu Equator Prima Geosynthetics Engineering. (2020, Oktober 15). *Geocell*. Retrieved Oktober 15, 2020, from Pandu Equator: <https://pandu-equator.com/geocell/>
- Rahardjo, P. P. (2002). *Manual Kestabilan Lereng*. Bandung: GEC: Universitas Katolik Parahyangan.