

## PENGGUNAAN *GEOCELL* UNTUK STABILISASI DAN PERLINDUNGAN EROSI PADA LERENG

Hendy Wijaya<sup>1</sup>, Gregorius Sandjaja Sentosa<sup>2</sup>, Tascia Adde Marcellia<sup>3</sup>, Aniek Prihatiningsih<sup>4</sup>, dan Ricky Putra<sup>5</sup>

<sup>1</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*hendyw@ft.untar.ac.id*

<sup>2</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*gregoriuss@ft.untar.ac.id*

<sup>3</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*tascia.325180032@stu.untar.ac.id*

<sup>4</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*aniekp@ft.untar.ac.id*

<sup>5</sup>Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia  
*ricky.325190071@stu.untar.ac.id*

Masuk: 14-11-2023, revisi: 21-11-2023, diterima untuk diterbitkan: 22-11-2023

### ABSTRACT

*The world of construction is experiencing continuous development, in its development, there are many methods of carrying out modern construction, one of which is about strengthening slopes to increase the safety factor of slope stability. Slopes are natural or man-made contours or reliefs that can occur because of construction projects. In its development, one method for increasing slope stability for modern construction is using geocells. Geocell is an artificial material that can protect a slope from erosion factors and add a safety factor for slope stabilization. Geocell was developed by the US Army Corps of Engineering (USACE) in 1970, made from high density polyethylene (HPDE), and there are two types of geocell, namely smooth and rough. This research uses a comparison of several studies to show or determine the effectiveness and usefulness of geocells on a slope. It was found that the use of geocells can increase the erosion resistance of a slope to external factors and increase the safety factor of slope stability. However, the increase in slope stability due to the installation of geocells is also influenced by many factors, such as the characteristics or size of the geocells, the depth of the geocell installation, the characteristics of the soil, and the number of geocell installations. Based on research, it was concluded that the installation of geocells, although proven to increase safety factors from 0.789 to 1.7054, also requires consideration of environmental conditions and slope conditions. For this reason, it is necessary to review or re-inspect the field conditions for the geocell installation location.*

*Keywords: Slope; slope stability; geocells; erosion; geocell installation*

### ABSTRAK

Dunia konstruksi mengalami perkembangan terus menerus, dalam perkembangannya, terdapat banyak cara metode pelaksanaan konstruksi modern, salah satu konstruksi adalah mengenai perkuatan lereng untuk meningkatkan faktor keamanan kestabilan suatu lereng. Lereng merupakan kontur atau relief alami maupun buatan manusia yang bisa terjadi akibat adanya proyek konstruksi, dalam perkembangannya, salah satu metode untuk meningkatkan kestabilan lereng untuk konstruksi modern adalah menggunakan *geocell*. *Geocell* merupakan material buatan yang dapat melindungi suatu lereng dari faktor erosi serta menambah faktor keamanan untuk stabilisasi lereng. *Geocell* dikembangkan oleh US Army Corps of Engineering (USACE) pada tahun 1970, terbuat dari bahan High Density Polyethylene (HPDE). Penelitian ini menggunakan perbandingan beberapa penelitian untuk menunjukkan atau menentukan efektifitas dan kegunaan *geocell* dalam suatu lereng. Ditemukan bahwa kegunaan *geocell* dapat meningkatkan ketahanan erosi suatu lereng terhadap faktor eksternal dan meningkatkan faktor keamanan stabilitas lereng. Akan tetapi, peningkatan stabilitas lereng akibat pemasangan *geocell* juga dipengaruhi oleh banyak faktor, seperti karakteristik atau ukuran *geocell*, kedalaman pemasangan *geocell*, karakteristik tanah, dan jumlah pemasangan *geocell*. Berdasarkan penelitian, ditemukan kesimpulan bahwa pemasangan *geocell*, walaupun terbukti meningkatkan faktor keamanan, yaitu peningkatan dari nilai 0,789 menjadi 1,7054, akan tetapi juga perlu dipertimbangkan kondisi

lingkungannya dan kondisi lereng eksisting. Untuk itu, diperlukan peninjauan atau inspeksi ulang terhadap kondisi lapangan untuk lokasi pemasangan *geocell*.

Kata kunci: Lereng; kestabilan lereng; *geocell*; erosi; pemasangan *geocell*

## 1. PENDAHULUAN

*Geocell* merupakan material, yang dalam metode pelaksanaan konstruksi, digunakan sebagai proteksi terhadap erosi, stabilisasi tanah, proteksi, saluran, dan dinding penahan tanah (DPT). *Cellular confinement system* atau *geocell* yang digunakan dan dikenal secara umum saat ini berupa lembaran geosintetik yang terbuat dari *high density polyethylene* (HPDE) yang membentuk struktur *honeycomb* atau sarang tawon yang diisi dengan pasir, tanah, batu, ataupun beton. Material pembentuk dan pengisi *geocell* ini kemudian diikat dengan cara *ultrasonic* untuk memperoleh konfigurasi yang kuat. Terdapat dua jenis *geocell* berdasarkan permukaannya, yaitu halus (*smooth*) dan kasar (*textured*).

*Cellular Confinement system* atau *geocell* seperti ini pertama kali dikembangkan oleh US Army Corps of Engineering (USACE) pada tahun 1970, yang berfungsi sebagai penahan lapisan tanah yang kuat karena digunakan untuk dilewati kendaraan militer. Pada awalnya, tercipta *welding material polyethelene* yang berbentuk struktur *cellular* atau *sand grid* untuk jalan yang diakses oleh militer. Penelitian awal membuktikan bahwa struktur *base course*, pada jalan, yang diperkuat dengan menggunakan *geocell* memiliki kekuatan setara dengan dua kali ketebalan struktur *base course* tanpa perkuatan. Sehingga diperoleh kesimpulan bahwa *geocell* lebih baik daripada perkuatan 2D (*single sheet*) karena dapat mengurangi penyebaran lateral pengisi secara lebih efektif (Bathurst & Jarret, 1988).

Proses konstruksi kemudian mengalami pengembangan dan *geocell* juga digunakan untuk mengurangi deformasi dari sebuah lereng dan dinding penahan tanah. Medhiphour et al. (2017) mengemukakan bahwa terjadi pengurangan deformasi lateral (*lateral deformation*) mengalami penurunan setelah dilakukan analisis menggunakan metode *strength reduction method* (SRM). Perkuatan *geocell* yang digunakan atau bekerja pada suatu lereng dapat dianggap seperti pelat atau balok yang dapat menahan suatu lereng dan mengurangi deformasi yang terjadi pada lereng. Dalam pemanfaatan dan penggunaannya, *geocell* juga bergantung pada penempatannya pada suatu lereng, jumlah lapisan *geocell* yang digunakan, dimensi dan karakteristik *geocell*, serta karakteristik lereng yang akan diletakkan *geocell*.

Penempatan *geocell* sendiri harus ditempatkan secara optimal dan cermat, agar menghindari celah kosong dalam peletakkannya. Diperlukan perencanaan pendahuluan sebelum melakukan penempatan *geocell* pada bidang yang dipilih dan agar terhindar *geocell* tidak mengalami pergeseran atau perpindahan, maka perlu dilakukan pengukuran permukaan tanah. Setelah pengukuran permukaan tanah selesai, *geocell* kemudian diletakkan dan diregangkan agar dapat menutupi seluruh area yang direncanakan pada tahap perencanaan. Setelah dapat menutupi semua area, barulah dilakukan proses *filling* untuk kemudian dipadatkan untuk terus ditambahkan sampai mencapai kepadatan sesuai dengan rencana, setelah semua persyaratan terpenuhi, barulah metode konstruksi *geocell* sampai pada tahap akhir, yaitu menutup *geocell* dan lapisan pengisinya.

Peran utama *geocell* adalah sebagai perkuatan dan perlindungan tanah dari kelongsoran akibat adanya beban dari atas lereng. Prinsip yang digunakan dalam penggunaan *geocell* adalah menahan gaya tarik tanah melalui mobilisasi resistensi gesekan antara *geocell* dan tanah. Bahan pengisi yang dapat digunakan untuk mengisi *geocell* adalah tanah, pasir, kerikil, *ready mix*, atau lainnya. Penambahan unsur estetika maupun penghijauan juga dapat menggunakan *geocell* yang diisi tanah dan ditambahkan rumput atau tanaman. Lapisan pada *geocell* membentuk kekakuan secara lateral dan dalam skala besar serta luas dapat memperkuat struktur tanah melalui kekuatan daya tarik menarik pada setiap jaringan.



Gambar 1. *Geocell* serta bahan pengisinya

*Geocell* pada umumnya digunakan untuk melakukan perkuatan pada tanah lunak untuk keperluan peningkatan daya dukung tanah dan kekuatan geser tanah pada tanah lunak. Penggunaan *geocell* pada konstruksi antara lain adalah untuk:

1. Konstruksi jalan, Emersleben dan Meyer (2008) mengemukakan bahwa penggunaan *geocell* pada lapisan dasar kerikil dapat mengurangi tekanan vertikal sebesar 30% dan meningkatkan modulus lapisan dasar kerikil.
2. Fondasi, meningkatkan daya dukung dan mengurangi penurunan tanah.
3. Timbunan, mengurangi penurunan dan peningkatan daya dukung.
4. Jalan kereta api, dapat mengurangi deformasi vertikal.
5. Dinding penahan tanah (DPT), peningkatan kekuatan geser dan mencegah kegagalan struktur.
6. Proteksi lereng dan mengontrol erosi, dapat melindungi sebuah tebing atau lereng dari pengikisan akibat gravitasi dan arus air.
7. Stabilisasi lereng, meningkatkan nilai faktor keamanan lereng setelah dipasangkan *geocell*.

### Kestabilan lereng

Lereng adalah suatu permukaan atau kontur pada permukaan tanah atau bumi yang membentuk suatu sudut kemiringan terhadap horizontal. Lereng dapat terbentuk hanya pada satu sisi, seperti pada gunung, bukit, atau tepi sungai, atau pada dua sisi seperti pada *embankment* atau galian akibat suatu aktivitas manusia seperti proyek konstruksi. Kemiringan suatu lereng ditentukan oleh suatu rasio perbandingan dalam bentuk presentase (%), dimana nilai kemiringan  $<70^\circ$  dapat dikategorikan sebagai lereng. Dikarenakan kemiringan suatu lereng, maka terdapat dua buah permukaan tanah yang berbeda ketinggian dan memiliki gaya-gaya yang mendorong atau menggulingkan tanah yang kedudukannya lebih tinggi ke arah ketinggian yang lebih rendah sehingga gerakkan kelongsoran atau penggulingan, akibat gerakkan atas ke bawah tanah, terjadi dan dapat menyebabkan longsor. Gaya-gaya lain yang dapat mempengaruhi penggulingan suatu lereng adalah gaya potensial gravitasi ataupun gaya eksternal lainnya seperti gempa, limpasan air, maupun kondisi air tanah. Lereng yang awalnya dalam kondisi *equilibrium* atau setimbang kemudian menerima gaya geser atau pengguling yang lebih besar dari gaya pasif tanah yang merupakan gaya penahan guling.

Faktor keamanan lereng merupakan suatu hasil analisis untuk menunjukkan indikasi keamanan suatu lereng terhadap bahaya longsor. Perolehan indikator berupa nilai faktor keamanan atau *factor of safety* dalam suatu perencanaan konstruksi adalah untuk memberikan hasil perhitungan kompetensi yang aman dan ekonomis. Dalam perhitungan faktor keamanan diperlukan adanya banyak asumsi dikarenakan lereng terbentuk akibat banyak faktor seperti nilai kuat geser yang perlu dilakukan reduksi, gaya-gaya yang bekerja pada lereng, dan karakteristik lereng seperti ketinggian dan kemiringan yang tidak sepenuhnya akurat seperti kondisi lapangan. Nilai faktor keamanan yang digunakan dapat dirujuk melalui SNI 8460:2017 seperti pada Tabel 1 atau merujuk Bowles (1989) seperti pada Tabel 2.

Tabel 1. Faktor keamanan lereng SNI 8460:2017

Biaya dan konsekuensi dari kegagalan lereng	Rendah*	Tinggi**
Biaya perbaikan sebanding dengan biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,25	1,5
Biaya perbaikan lebih besar dari biaya tambahan untuk merancang lereng yang lebih konservatif	1,5	2,0 atau lebih

\*Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan rendah, jika kondisi geologi dapat dipahami, kondisi tanah seragam, penyelidikan tanah konsisten, lengkap dan logis terhadap kondisi di lapangan.

\*\*Tingkat ketidakpastian kondisi analisis dikategorikan tinggi, jika kondisi geologi sangat kompleks, kondisi tanah bervariasi dan penyelidikan tanah tidak konsisten dan tidak dapat diandalkan.

Tabel 2. Hubungan faktor keamanan lereng dengan intensitas longsor (Bowles, 1989)

Nilai faktor keamanan	Kejadian/intensitas longsor	
$F < 1,07$	Longsor terjadi biasa/sering	Lereng stabil
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi	lereng kritis
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi	lereng relatif stabil

### Penggunaan *geocell* sebagai perkuatan lereng

*Geocell* dalam penggunaannya memiliki banyak keunggulan (Gambar 2), baik dalam proses pemasangan yang mudah, cepat, dan sederhana, serta beberapa contoh lainnya seperti:

1. Ketahanan terhadap sinar UV.

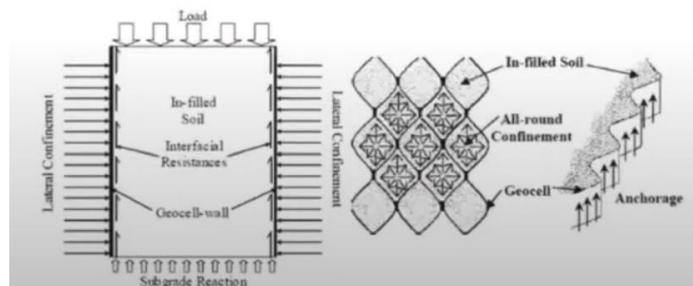
2. Mudah untuk dibawa menuju lokasi pemasangan.
3. Mudah untuk dibongkar dan digunakan kembali (*reusable*).
4. Ketahanan terhadap senyawa kimia dan mikro organisme tanah.
5. Ketahanan yang tinggi terhadap abrasi.
6. Struktur *perforated* yang cocok untuk daerah curah hujan tinggi.
7. Usia pemakaian lebih tahan lama.
8. Produksi lokal.
9. Harga ekonomis dan penghematan biaya kosntruksi agregat.



Gambar 2. Penerapan *geocell* sebagai perkuataan lereng

## 2. STUDI KASUS

Arsyad (2022) mengemukakan bahwa mekanisme perkuatan *geocell* (Gambar 3) perlu mempertimbangkan bentuk *geocell* yang memiliki tiga dimensi dimana *geocell* memberikan *lateral confinement* pada partikel tanah yang ada pada setiap *cell* dari *geocell*. Tekanan lateral atau *lateral confinement* dari tanah mengunci friksi isian tanah dengan dinding *geocell*. *Geocell* juga dapat berfungsi sebagai alas tanah di atasnya untuk menahan tanah keluar dari daerah pembebanan. *Confinement effect* terjadi pada *geocell* karena adanya tekanan tanah aktif yang terjadi didalam *geocell*, terkanan tanah pasif yang terjadi diluar *geocell*, dan *hoop stress* yang terjadi pada dinding *geocell*.



Gambar 3. Mekanisme *geocell*

Dalam penelitian ini *geocell* digunakan untuk melakukan stabilisasi pada lereng, sehingga dibutuhkan pembuktian efektifitas *geocell* pada lereng. Kemudian dibandingkan dua buah kondisi tanah yang diperoleh dari dua penelitian berbeda. Pada Tabel 3 dan Tabel 4 merupakan penelitian terdahulu oleh Marceilla dan Sentosa (2022), sedangkan data dari penelitian yang dilakukan oleh Mehdipour et al. (2017) ditunjukkan pada Tabel 5 dan Tabel 6.

Tabel 3. Data tanah untuk keperluan analisis

Lapisan	Kedalaman (m)	$\gamma_{dry}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\phi$	c (kN/m <sup>2</sup> )	E (kN/m <sup>2</sup> )
Lapisan 1	0 – 5	18	35	0	63,195
Lapisan 2	5 – 20	17	30	0	34,470

Tabel 4. Spesifikasi *geocell*

Indeks Properti	Ukuran
Lebar lubang	40 cm
Tinggi/Kedalaman lubang	15 cm
Lembaran	4 x 5 m

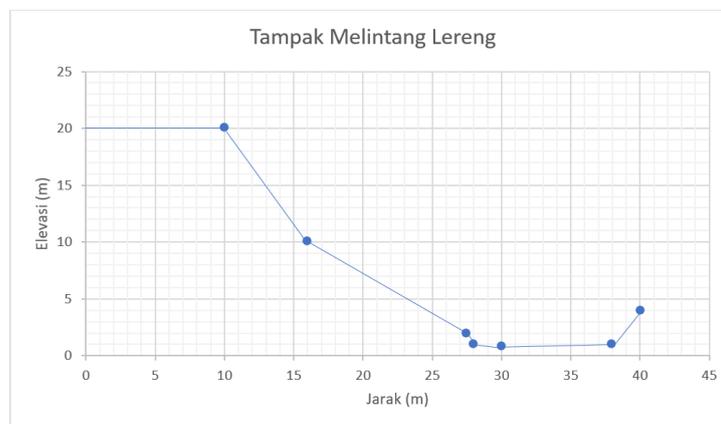
Tabel 5. Data tanah keperluan analisis (Mehdipur et al., 2017)

<i>Soil Properties</i>	
$\gamma$	20 kN/m <sup>3</sup>
$\phi$	30°
c	2 kPa
H	10 m
n	3
$\beta$	60 °

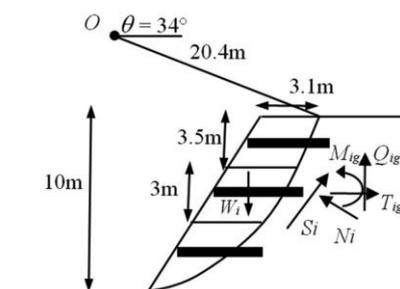
Tabel 6. Spesifikasi *geocell* (Mehdipur et al., 2017)

<i>Geocell Characteristic</i>	
$h_g$	200 mm
$d_g$	200 mm
$\epsilon_a$	2%
M	100 kN/m
$\phi$	20°
m	3

Lereng yang dijadikan objek penelitian oleh Marcellia dan Sentosa (2022) dapat digambarkan seperti pada Gambar 4 dan karakteristik lereng oleh Mehdipur et al. (2017) diilustrasikan seperti pada Gambar 5.



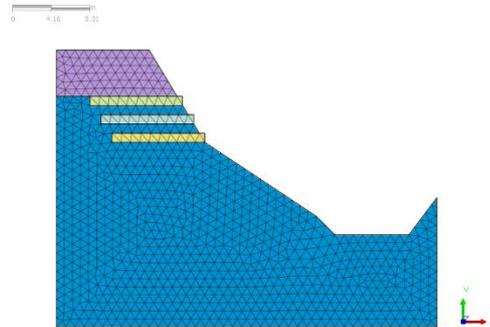
Gambar 4. Tampak melintang lereng



Gambar 5. Ilustrasi lereng untuk analisis (Mehdipur et al., 2017)

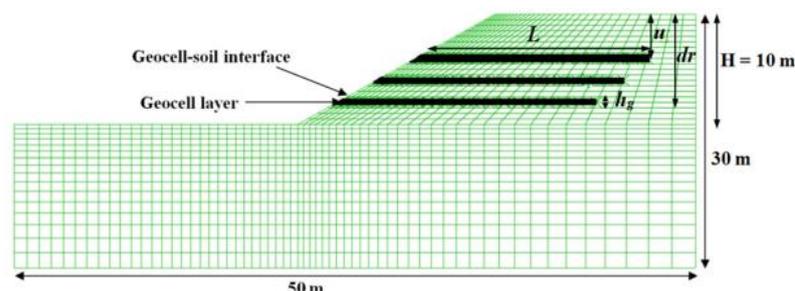
### 3. HASIL PENELITIAN

Berdasarkan hasil penelitian dan studi yang dilakukan berdasarkan penelitian pendahulu oleh Marcellia dan Sentosa (2022), diketahui bahwa nilai faktor keamanan atau *factor of safety* (FOS) dari sebuah lereng mengalami peningkatan dengan penggunaan atau pemasangan *geocell*, yang sebelumnya memiliki nilai FOS sebesar 0,789 menjadi 1,7054 untuk salah satu variasi pemasangan *geocell* yaitu pemasangan tiga lapis *geocell* dengan jarak *geocell* setinggi 2 m dengan asumsi kemiringan lereng hasil *cut* sebesar  $5^\circ$ , sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan *geocell* dapat meningkatkan keamanan dan kestabilan suatu lereng, seperti model yang diilustrasikan pada Gambar 6.



Gambar 6. Ilustrasi model pemasangan *geocell* pada lereng

Sementara itu, menurut Mehdipour et al. (2017), nilai faktor keamanan dalam penggunaan *geocell* untuk perkuataan atau stabilisasi lereng juga tergantung pada jumlah *geocell* yang digunakan, ukuran atau diameter kantung atau *cell* dari *geocell*, dan kedalaman pemasangan *geocell* pada lereng atau tebing. Ilustrasi penggunaan *geocell* pada lereng oleh Mehdipour et al. (2017) dapat ditinjau pada Gambar 7.



Gambar 7. Pemasangan *geocell* pada lereng (Mehdipour et al., 2017)

Tapi dalam proses pemasangan *geocell* tersebut, dibutuhkan persyaratan lereng yang landai dan cukup menggelar lapisan *geocell* pada permukaan lereng untuk metode pelaksanaannya. Bila diasumsikan dalam metode pelaksanaannya terdapat sebuah lereng alami dan perlu dilakukan penggalian untuk kedalaman dan ketinggian tertentu, dimana lereng yang sudah digali ini baru dapat dilakukan penggelaran terhadap *geocell*. *Geocell* kemudian dapat ditimbun kembali dengan tanah hasil *cut* atau penggalian lereng sebelumnya, sehingga berisi tanah pengisi, proses tersebut dilakukan berkali-kali sehingga menjadi tumpukkan *geocell*. Proses konstruksi ini tidak terlalu efektif karena memakan waktu yang lama dan biaya yang besar dalam proses pelaksanaan pengerjaannya. Terdapat juga potensi longsor pada bagian belakang lereng karena kemiringan yang terjal sehingga proses penggalian perlu memperhatikan kemiringan lereng hasil galian, yang harus landai atau memiliki sudut kemiringan yang rendah. Terdapat alternatif lainnya untuk kasus lereng ini, antara lain *soil nailing* ataupun *rock fall netting*. Sehingga penggunaan *geocell* harus disesuaikan dengan kondisi lapangan, sehingga diperlukan inspeksi lapangan lebih lanjut untuk pemasangan suatu *geocell*.

Proses instalasi dari *geocell* pada lereng sungai secara umum adalah sebagai berikut:

1. Pembersihan lapangan.
2. Pengukuran kembali sekaligus memasang patok.

3. Pembuatan galian tanah untuk pemasangan pondasi dengan batu kali yang dilengkapi dengan anker untuk pengikat *geocell*.
4. Pembentukan lereng tebing sesuai desain perencanaan dengan pekerjaan urugan yang dipadatkan maupun pekerjaan galian.
5. Bila tebing sudah terbentuk sesuai rencana, *geotextile* dihampar sebagai lapisan permukaan tanah, kemudian tanah dirugkan di atas *geotextile (non-woven)* setebal 15 cm lalu dipadatkan.
6. Pemasangan *geocell* pada lereng tebing yaitu *geocell* dibentangkan yang semula dimensi arah memanjang 8 cm menjadi 6,25 m, sedang arah melintang semula 3,33 m menjadi 2,70 m dan untuk mempertahankan bentuk *geocell* agar tidak berubah/tetap stabil digunakan anker yang terbuat dari besi tulangan dengan diameter 10 mm, panjang 1,00 m sedangkan sambungan antar lembar *geocell* digunakan kawat.
7. Setelah posisi *geocell* sesuai desain rencana dan cukup stabil maka *geocell* dapat diisi dengan beton dari bawah hingga jarak 1,00 m dari tepi atas selanjutnya bagian sisi atas selebar 1,00 m diisi dengan tanah yang diberi gebalan rumput.
8. Pembuatan saluran drainase di ujung hulu bangunan dan tangga dari pasangan batu kali di ujung hilir bangunan. Saluran drainase dapat berfungsi untuk mengalirkan air yang akan masuk ke sungai agar tidak langsung lewat puncak tebing, sedangkan tangga berfungsi untuk memenuhi kebutuhan masyarakat dalam memudahkan naik/turun tebing.

#### 4. KESIMPULAN

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diperoleh kesimpulan seperti berikut:

1. Penggunaan *geocell* pada daerah kritis berguna untuk meningkatkan faktor keamanan.
2. Nilai faktor keamanan ditentukan oleh karakteristik tanah, lereng, dan spesifikasi *geocell*.
3. Penggunaan *geocell* memang ekonomis akan tetapi bila dalam pelaksanaan metode konstruksi diperlukan penggalian atau syarat khusus untuk pemasangan *geocell*, maka diperlukan peninjauan ulang dan inspeksi lapangan lebih lanjut untuk menentukan metode yang sesuai untuk pelaksanaan konstruksi.

Adapun saran dari hasil penelitian ini, antara lain:

1. Geocell sebagai perkuatan memiliki keunggulan dalam proses pemasangan yang cepat, mudah dan sederhana tetapi proses tersebut dikhususkan untuk lereng yang landai dengan cukup menggelar lapisan geocell pada permukaan lereng.
2. Dikarenakan tinggi lereng setinggi 10 m dan 20 m, diperlukan biaya penggalian dan waktu yang cukup lama. Alternatif lain dari bahan geosintetik ataupun geocell adalah perkuatan dengan soil nailing atau bronjong yang disusun seperti terasering, ataupun rock fall netting untuk mencegah tanah longsor jatuh ke dasar lereng.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Arsyad, A. (2022). 2022 INA IGS 02 - Studi eksperimental geocell sebagai perkuatan lereng dan perkerasan jalan. *YouTube*. <https://www.youtube.com/watch?v=Hbm1ZgflFTU>
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). *Persyaratan perancangan geoteknik (SNI 8460:2017)*.
- Elshada, P. N. (2021, September 22). Blog-sejarah geocell. Diperoleh dari Petra Nusa Elshada: <https://www.petrane.co.id/blog/sejarah-geocell/>
- Emersleben, A., & Meyer, N. (2008). Bearing capacity improvement of gravel base layers in road constructions using geocell. *Proceedings of the 12<sup>th</sup> International Conference of International Association for Computer Methods and Advances in Geomechanics (IACMAG)*, India, 3538-3545. <https://www.prs-med.com/wp-content/uploads/2016/11/BearingCapacity2.pdf>
- Marcellia, T. A., dan Sentosa, G. S. (2022). Simulasi Penggunaan Geocell untuk Stabilisasi Lereng Curam. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*.
- Mehdipour, I., Ghazavi, M., & Moayed, R. Z. (2017). Stability analysis of geocell-reinforced slopes using the limit equilibrium horizontal slice method. *International Journal of Geomechanics*, 17(9), 06017007. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)GM.1943-5622.0000935](https://doi.org/10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0000935)
- Mulatsih, U. S., & Sundoro, G. H. (2012). Studi kasus kerusakan pelindung tebing sungai geocell di Kali Mungkung Desa Patihan Kabupaten Sragen. *Jurnal Teknik Hidraulik*, 3(2), 143-156. <https://doi.org/10.32679/jth.v3i2.268>

