

**Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Perkuatan *Geocell* dan
Angkur menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *GeoStudio*
(Studi Kasus: Lereng pada Ruas Jalan Padang-Painan Km 36
Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan)**

TUGAS AKHIR

*Tugas Akhir Ini Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar
Sarjana pada Program Studi S1 Teknik Sipil Fakultas Teknik
Universitas Negeri Padang*



Oleh:

DINDA SULISTIAWATI PRATIWI
22323149

**PROGRAM STUDI S1 TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
2026**

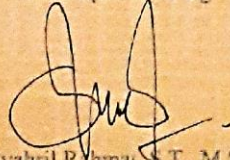
PERSETUJUAN TUGAS AKHIR

Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Perkuatan *Geocell* dan Angkur
menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *Geostudio*
(Studi Kasus: Lereng Pada Ruas Jalan Padang-Painan Km 36
Taratok Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan)

Nama : Dinda Sulistawati Pratiwi
NIM : 22323149
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : Teknik

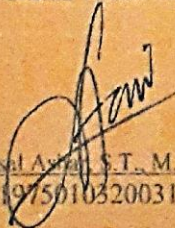
Padang, 7 Mei 2026

Disetujui Oleh
Dosen pembimbing



Syahril Rahman, S.T., M.Sc
NIP. 199601292023211013

Mengetahui
Kepala Departemen Teknik Sipil
Fakultas Teknik UNP



Ir. Faisal Asyraf, S.T., M.T., Ph.D
NIP. 197501032003121001

PENGESAHAN TUGAS AKHIR

Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Perkuatan *Geocell* dan Angkur
menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *Geostudio*
(Studi Kasus: Lereng Pada Ruas Jalan Padang-Painan Km 36
Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan)

Nama : Dinda Sulistiawati Pratiwi

NIM : 22323149

Program Studi : S1 Teknik Sipil

Departemen : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Telah berhasil dipertahankan dihadapan Tim Penguji dan dinyatakan Lulus sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Strata 1 pada Program Studi S1 Teknik Sipil Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang.

Padang, 7 Mei 2026

Tim Penguji

Nama

1. Ketua : Syahril Rahmat, S.T., M.Sc
2. Anggota : Dr. Eng. Ir. Nevy Sandra, M.Eng
3. Anggota : Dr. Ir. Oktaviani, S.T., M.T

Tanda Tangan

1. 
2. 
3. 



KEMENTERIAN PENDIDIKAN, KEBUDAYAAN, RISET DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS NEGERI PADANG
FAKULTAS TEKNIK
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
Jl Prof Dr. Hamka Kampus UNP Air Tawar Padang 25171
Telp (0751) 7059996, FT (0751) 7055644, 445118 Fax 7055644
E-mail info@ft.unp.ac.id

SURAT PERNYATAAN TIDAK PLAGIAT

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Dinda Sulistiawati Pratiwi
NIM/TM : 22323149 / 2022
Program Studi : S1 Teknik Sipil
Departemen : Teknik Sipil
Fakultas : FT UNP

Dengan ini menyatakan, bahwa Skripsi/Tugas Akhir/Proyek Akhir saya dengan judul Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Perkuatan Geocell dan Angkur menggunakan Software Plaxis 2D dan Geostudio (Studi kasus: Lereng pada ruas jalan Padang-Painan Km 36 Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan).

Adalah benar merupakan hasil karya saya dan bukan merupakan plagiat dari karya orang lain. Apabila suatu saat terbukti saya melakukan plagiat maka saya bersedia diproses dan menerima sanksi akademis maupun hukum sesuai dengan hukum dan ketentuan yang berlaku, baik di institusi UNP maupun di masyarakat dan negara.

Demikianlah pernyataan ini saya buat dengan penuh kesadaran dan rasa tanggung jawab sebagai anggota masyarakat ilmiah.

Diketahui oleh,
Kepala Departemen Teknik Sipil

Ir. Faisal Ashar, ST., MT., Ph.D.
NIP. 19750103 200312 1 001

Saya yang menyatakan,



Dinda Sulistiawati Pratiwi

BIODATA

A. Data diri

Nama : Dinda Sulistiawati Pratiwi
Tempat/tanggal lahir : Jambi, 6 Mei 2004
Agama : Islam
Jenis Kelamin : Perempuan
Golongan Darah : A
Anak Ke : 2
Jumlah Saudara : 1
Nama Ayah : Wartim
Nama Ibu : Jusi Narsiam
Alamat : Mendalo, Jambi
Email : dindasulistia0004@gmail.com



B. Riwayat pendidikan

SD : SDN 205 Kota Jambi
SMP : SMPN 7 Kota Jambi
SMA/SMK sederajat : SMAN 5 Kota Jambi

C. Tugas Akhir

Judul : Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode
Perkuatan *Geocell* dan Angkur menggunakan
Software Plaxis 2D dan *GeoStudio* (Studi Kasus:
Lereng Pada Ruas Jalan Padang-Painan Km 36
Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir
Selatan)
Tanggal Sidang : 7 Mei 2026

ABSTRAK

Dinda Sulistiawati Pratiwi, 2026. ANALISIS STABILITAS LERENG DENGAN METODE PERKUATAN *GEOCELL* DAN ANGKUR MENGGUNAKAN SOFTWARE *PLAXIS 2D* DAN *GEOSTUDIO*

Lereng pada ruas jalan nasional Padang–Painan di Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan mengalami longsor pada Januari 2023 dan Maret 2024 akibat kemiringan lereng yang curam dan tanah yang rentan terhadap pergerakan, sehingga diperlukan kajian stabilitas dan solusi perkuatan yang terukur. Penelitian ini bertujuan menganalisis stabilitas lereng eksisting, mengkaji pengaruh perkuatan *geocell* dan angkur terhadap peningkatan *safety factor* (SF), serta membandingkan metode *fellenius* dengan simulasi *Plaxis 2D* dan *GeoStudio*.

Data primer diperoleh melalui pengujian kadar air, berat isi tanah, dan *direct shear test* dengan hasil nilai kadar air 52,085%, kohesi (c) 13,53 kPa, sudut geser dalam (ϕ) 26,565°, berat isi tanah kering 15,29 kPa dan berat isi tanah jenuh 16,78 kN/m³. Data topografi diperoleh menggunakan *Unmanned Aerial Vehicle* (UAV) yang diolah dengan *Agisoft Metashape* dan *ArcGIS* untuk menghasilkan *Digital Elevation Model* (DEM) dan peta kontur sebagai input pemodelan. Analisis dilakukan menggunakan metode *Fellenius* secara manual serta simulasi *Plaxis 2D* dan *GeoStudio*.

Lereng eksisting menunjukkan nilai SF sebesar 1,013 (*Fellenius*), 0,987 (*Plaxis 2D*), dan 0,994 (*GeoStudio*), ketiganya di bawah batas minimum SNI 8460:2017 yaitu $SF \geq 1,25$, sehingga lereng dinyatakan tidak aman. Setelah penerapan perkuatan *geocell* dan angkur, nilai SF meningkat menjadi 1,423 (*Plaxis 2D*) dan 1,404 (*GeoStudio*), keduanya telah memenuhi syarat keamanan. Kesesuaian ketiga metode membuktikan keandalan parameter tanah sekaligus menunjukkan bahwa *Plaxis 2D* dan *GeoStudio* dapat saling melengkapi dalam analisis kestabilan lereng.

Kata kunci: Stabilitas Lereng, *Geocell*, *Fellenius*, *Plaxis 2D*, *GeoStudio*, *Safety Factor*

ABSTRACT

Dinda Sulistiawati Pratiwi, 2026. SLOPE STABILITY ANALYSIS USING GEOCELL AND ANCHOR REINFORCEMENT METHODS WITH PLAXIS 2D AND GEOSTUDIO SOFTWARE

The slope along the Padang–Painan national road at Taratak Sungai Lundang, Pesisir Selatan Regency, experienced landslides in January 2023 and March 2024 due to steep slope inclination and soil susceptible to mass movement, necessitating a systematic stability assessment and measurable reinforcement solution. This study aims to analyze the stability of the existing slope, examine the effect of Geocell and anchor reinforcement on the improvement of the Safety Factor (SF), and compare the Fellenius method with numerical simulations using Plaxis 2D and GeoStudio.

Primary data were obtained through water content testing, unit weight measurement, and direct shear tests, yielding a water content of 52.085%, cohesion (c) of 13.53 kPa, internal friction angle (ϕ) of 26.565°, dry unit weight of 15.29 kN/m³, and saturated unit weight of 16.78 kN/m³. Topographic data were acquired using an Unmanned Aerial Vehicle (UAV) and subsequently processed with Agisoft Metashape and ArcGIS to produce a Digital Elevation Model (DEM) and contour map as modeling inputs. Stability analysis was performed using the Fellenius method manually, as well as through numerical simulation with Plaxis 2D and GeoStudio.

The existing slope yielded SF values of 1.013 (Fellenius), 0.987 (Plaxis 2D), and 0.994 (GeoStudio), all of which fall below the minimum threshold of $SF \geq 1.25$ stipulated by SNI 8460:2017, indicating that the slope is in an unsafe condition. Following the application of combined Geocell and anchor reinforcement, the SF increased to 1.423 (Plaxis 2D) and 1.404 (GeoStudio), both satisfying the required safety criteria. The consistency among the three methods validates the reliability of the soil parameters used and demonstrates that Plaxis 2D and GeoStudio are complementary tools for comprehensive slope stability analysis.

Keywords: Slope Stability, Geocell, Fellenius, Plaxis 2D, GeoStudio, Safety Factor

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan mengucapkan syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya, Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Perjalanan menyelesaikannya tidak pernah benar-benar berjalan sendiri, selalu ada doa, dukungan, dan kehadiran orang-orang istimewa yang menyertai setiap prosesnya. Dengan penuh ketulusan hati, Tugas Akhir ini dipersembahkan kepada:

1. Untuk Mama, yang selalu hadir dengan doa yang tak pernah putus, kasih sayang yang tak terhingga, dan kesediaan untuk selalu mendengarkan setiap keluhan kesah tanpa menghakimi. Terima kasih atas pengertian dan setiap saran yang selalu menjadi arah di saat penulis merasa kehilangan jalan. Untuk Papa, yang dengan kerja keras dan pengorbanannya telah mengantarkan penulis hingga sampai pada tahap ini. Terima kasih atas doa, kasih sayang, dan motivasi yang selalu menjadi kekuatan terbesar dalam setiap langkah perjalanan ini.
2. Untuk Mas, yang selalu hadir sebagai sosok yang mendukung dan mendorong untuk terus melangkah meski jarang terucap secara langsung. Terima kasih atas kasih sayang, motivasi, dan kepercayaan yang diberikan, menjadi contoh bahwa setiap proses yang dijalani dengan sungguh-sungguh pasti akan membuahkan hasil. Untuk Kakak, terima kasih atas kasih sayang, dukungan, dan doa yang turut mengiringi perjalanan ini. Terima kasih telah menjadi bagian dari keluarga yang selalu hadir dan memberikan semangat hingga Tugas Akhir ini dapat terselesaikan.
3. Terima kasih kepada delapan orang terdekat dan istimewa yang menjadi bagian dari perjalanan ini, yang selalu hadir berbagi cerita, tawa, dan saling menguatkan di tengah tekanan yang tidak sedikit.
4. Terima kasih kepada sahabat-sahabat kecil yang tetap hadir meski terpisah jarak, yang terus memberi dukungan dan semangat di setiap keadaan, menjadi pengingat untuk tetap kuat dalam menjalani proses ini.
5. Untuk 22323081, yang telah menemani, menguatkan, dan memahami di setiap proses dalam perjalanan yang tidak selalu mudah. Terima kasih atas kehadiran dan ketulusan yang memberi arti, hingga menjadi salah satu alasan untuk tetap kuat dan menyelesaikan Tugas Akhir ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji bagi Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang diberikan, karena tanpa-Nya tidak ada satu langkah pun yang bisa penulis selesaikan. Shalawat dan salam selalu tercurah kepada Rasulullah Muhammad SAW. Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, dengan judul "Analisis Stabilitas Lereng dengan Metode Perkuatan *Geocell* menggunakan *Software Plaxis 2D* dan *GeoStudio* (Studi Kasus: Lereng pada Ruas Jalan Padang-Painan Km 36 Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan)".

Perjalanan menyelesaikan tugas akhir ini tidak selalu mudah, dan penulis menyadari bahwa sampai di titik ini bukan karena usaha sendiri. Banyak tangan yang membantu, banyak doa yang mengiringi. Untuk itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang tulus kepada:

1. Bapak Syahril Rahmat, S.T., M.Sc. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Dr. Eng. Ir. Nevy Sandra, M.Eng dan Ibu Dr. Ir. Oktaviani, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji yang telah memberikan masukan dan saran yang sangat berharga demi kesempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Ir. Faisal Ashar, S.T., M.T., Ph.D selaku Kepala Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang.
4. Ibu Windry Novalia Jufri, S. Pd., M. Pd. selaku Dosen Pembimbing Akademik Penulis.
5. Bapak Fajri Yusmar, S.T., M.T. selaku Kepala Laboratorium Mekanika Tanah yang telah mengizinkan penulis melakukan pengujian.
6. Bapak Ilham Wahyudi, S.T. dan Bapak Akhyar Jamil, S.T., M.T. selaku Teknisi Laboratorium Tanah Teknik Sipil yang telah mengizinkan dan membantu selama proses pengujian berlangsung.
7. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah hadir dengan berbagai bentuk dukungan, bantuan, serta berkontribusi dalam penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, sehingga kritik dan saran yang membangun sangat diharapkan. Semoga karya ini dapat memberikan manfaat serta menjadi tambahan wawasan bagi pembaca, dan menjadi langkah awal bagi pengembangan yang lebih baik di masa yang akan datang.

Padang, 27 April 2026

Penulis

DAFTAR ISI

PERSETUJUAN TUGAS AKHIR	i
PENGESAHAN TUGAS AKHIR	ii
SURAT KETERANGAN PLAGIAT	iii
BIODATA.....	iv
ABSTRAK	v
HALAMAN PERSEMBAHAN.....	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
BAB I PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Identifikasi Masalah.....	7
C. Batasan Masalah.....	7
D. Rumusan Masalah	8
E. Tujuan Penelitian	8
F. Manfaat Penelitian	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	10
A. Tanah.....	10
B. Lereng	17
C. Metode Stabilitas Lereng	21
D. <i>Software</i> untuk Analisis Stabilitas Lereng	23
E. <i>Geocell</i>	27
F. Angkur.....	30
G. Pemetaan Topografi dengan UAV	32
H. Penelitian Relevan.....	34
BAB III METODE PENELITIAN.....	36

A. Jenis Penelitian.....	36
B. Tempat dan Waktu Penelitian	36
C. Teknik dan Instrumen Pengumpulan Data	36
D. Teknik Analisis Data.....	41
E. Diagram Alir	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	53
A. Hasil	53
B. Pembahasan.....	78
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	80
A. Kesimpulan	80
B. Saran.....	81
DAFTAR PUSTAKA	83
LAMPIRAN.....	87

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Tanah berdasarkan AASHTO	12
Tabel 2.2	Klasifikasi Tanah berdasarkan USCS	13
Tabel 2.3	Hubungan Sudut Geser Dalam dengan Jenis Tanah	14
Tabel 2.4	Nilai Koefisien Permeabilitas Tanah	14
Tabel 2.5	Hubungan Antara Angka Poisson dengan Jenis Tanah	15
Tabel 2.6	Nilai Modulus Elastisitas Tanah	16
Tabel 2.7	Hubungan Antara Angka Pori, Kelembapan, dan Berat Volume Tanah Kering.....	17
Tabel 2.8	Nilai Faktor Keamanan Untuk Lereng Tanah.....	20
Tabel 2.9	Parameter Tanah untuk Input Plaxis 2D	25
Tabel 2.10	Parameter Tanah untuk Input GeoStudio	27
Tabel 2.11	Parameter Geocell	30
Tabel 4.1	Kadar Air.....	53
Tabel 4.2	Berat Isi Tanah Asli Titik 1.....	54
Tabel 4.3	Berat Isi Tanah Asli Titik 2.....	54
Tabel 4.4	Berat Isi Tanah Jenuh Titik 1	54
Tabel 4.5	Berat Isi Tanah Jenuh Titik 2	55
Tabel 4.6	Direct Shear.....	56
Tabel 4.7	Nilai Parameter Tanah Hasil Pengujian Laboratorium	57
Tabel 4.8	Metode Fellenius.....	59
Tabel 4.9	Material Tanah	60
Tabel 4.10	Nilai Parameter Geocell pada Plaxis 2D	64
Tabel 4.11	Nilai Parameter Angkur pada Plaxis 2D	64
Tabel 4.12	Nilai Input Geocell pada GeoStudio	75
Tabel 4.13	Nilai Input Angkur pada GeoStudio	75
Tabel 4.14	Rekapitulasi Hasil Analisis Stabilitas Lereng.....	77

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1	Bencana Longsor di Sungai Lundang.....	3
Gambar 1.2	Lereng yang ditinjau pada Taratak Sungai Lundang	4
Gambar 2.1	Gaya yang Bekerja pada Irisan Vertikal	22
Gambar 2.2	Contoh <i>output Plaxis 2D</i>	26
Gambar 2.3	Contoh <i>output GeoStudio</i>	27
Gambar 2.4	<i>Geocell</i>	28
Gambar 2.5	Bagian-bagian <i>Geocell</i>	29
Gambar 2.6	Angkur Tipe <i>Free Length and Fixed Length in Tieback</i>	31
Gambar 3.1	<i>Title Project</i>	43
Gambar 3.2	<i>Model Project Properties</i>	44
Gambar 3.3	<i>Input Meterial</i>	45
Gambar 3.4	<i>General</i> tab pada <i>soil material</i>	46
Gambar 3.5	<i>Parameters</i> tab pada <i>soil material</i>	46
Gambar 3.6	Permodelan Lereng yang Akan Ditinjau	47
Gambar 3.7	<i>Generate Mesh</i>	47
Gambar 3.8	<i>Create Water Level</i>	48
Gambar 3.9	<i>Staged Construction</i>	49
Gambar 3.10	<i>Define Material</i> pada <i>GeoStudio</i>	51
Gambar 3.11	<i>Entry and Exit Slip Surface</i>	51
Gambar 3.12	Diagram Alir Penelitian	52
Gambar 4.1	Grafik Hubungan Tegangan Normal dan Tegangan Geser Maksimum.....	57
Gambar 4.2	Potongan Melintang Lereng.....	58
Gambar 4.3	Permodelan Bidang Longsor	59
Gambar 4.4	Nilai SF Lereng tanpa Perkuatan pada <i>Plaxis 2D</i>	61
Gambar 4.5	<i>Deformed Mesh</i> Lereng tanpa Perkuatan.....	61
Gambar 4.6	<i>Total Displacement</i> Lereng tanpa Perkuatan	62
Gambar 4.7	<i>Incremental Displacement</i> Lereng tanpa Perkuatan	63
Gambar 4.8	<i>Plastic Point</i> Lereng tanpa Perkuatan.....	63

Gambar 4.9	Permodelan Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D	65
Gambar 4.10	Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D	66
Gambar 4.11	<i>Deformed mesh</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D	67
Gambar 4.12	<i>Total Displacement</i> Lereng Perkuatan menggunakan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D	67
Gambar 4.13	<i>Incremental displacement</i> Lereng Perkuatan menggunakan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D	68
Gambar 4.14	<i>Plastic Point</i> Lereng Perkuatan menggunakan <i>Geocell</i> dan Angkur pada <i>Plaxis</i> 2D.....	69
Gambar 4.15	Permodelan Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D.....	69
Gambar 4.16	Nilai <i>Safety Factor</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D	70
Gambar 4. 17	<i>Deformed Mesh</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D	71
Gambar 4.18	<i>Total Displacements</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D	71
Gambar 4.19	<i>Incremental Displacement</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D.....	72
Gambar 4.20	<i>Plastic Point</i> Lereng menggunakan Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>Plaxis</i> 2D.....	73
Gambar 4.21	Nilai SF Lereng Eksisting pada <i>GeoStudio</i>	74
Gambar 4.22	<i>Output</i> Lereng Setelah Perkuatan <i>Geocell</i> Dan Angkur pada <i>GeoStudio</i>	76
Gambar 4.23	<i>Output</i> Lereng Setelah Perkuatan <i>Geocell</i> pada <i>GeoStudio</i>	77

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing.....	87
Lampiran 2. Surat Izin Pengambilan Data	88
Lampiran 3. Surat Pernyataan menggunakan Laboratorium Mekanika Tanah...	89
Lampiran 4. Surat Izin Praktikum di Laboratorium Geomekanika Tambang	90
Lampiran 5. Catatan Konsultasi Dengan Dosen Pembimbing.....	91
Lampiran 6. Pengambilan Sampel <i>Undisturbed</i>	96
Lampiran 7. Pemotongan Sampel Berat Isi dan <i>Direct Shear</i>	96
Lampiran 8. Pengujian Kadar Air	97
Lampiran 9. Pengujian Berat Isi.....	97
Lampiran 10. Sampel <i>Direct Shear</i>	98
Lampiran 11. Pengujian <i>direct shear</i>	98
Lampiran 12. Pemetaan Lokasi Penelitian menggunakan <i>Drone</i>	99
Lampiran 13. Peta Kontur Elevasi	100

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Tanah longsor merupakan gerakan massa tanah atau batuan yang bergerak menuruni lereng akibat terganggunya kestabilan lereng. Hardiyatmo (2013) menjelaskan bahwa longsoran terjadi akibat keruntuhan geser pada satu atau lebih bidang longsor sehingga material penyusun lereng bergerak mengikuti bidang gelincir tertentu. Kejadian longsor dapat mengakibatkan kerusakan infrastruktur, kerugian material, terganggunya aktivitas masyarakat, hingga menimbulkan korban jiwa.

Indonesia merupakan negara dengan kondisi topografi yang didominasi oleh wilayah perbukitan dan pegunungan sehingga memiliki tingkat kerawanan longsor yang cukup tinggi. Tingginya intensitas curah hujan serta aktivitas tektonik yang masih aktif di berbagai wilayah turut meningkatkan potensi terjadinya longsor. Salah satu daerah yang memiliki tingkat kerawanan longsor tinggi adalah Provinsi Sumatera Barat, karena berada pada zona patahan aktif dan memiliki topografi bergelombang hingga lereng curam. Selain itu, sejumlah permukiman, fasilitas umum, dan jalur transportasi di provinsi ini berada pada kawasan lereng, sehingga pergerakan tanah dapat secara langsung mengganggu aktivitas masyarakat dan transportasi. Salah satu wilayah yang rawan mengalami longsor di Sumatera Barat adalah Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan, yang berada pada ruas jalan nasional penghubung Padang–Painan.

Taratak Sungai Lundang di Kabupaten Pesisir Selatan merupakan salah satu wilayah yang memiliki kondisi topografi berupa perbukitan dan lereng dengan kemiringan yang cukup curam. Kondisi geografis tersebut menyebabkan kawasan ini memiliki tingkat kerawanan longsor yang cukup tinggi, terutama pada musim hujan. Selain itu, struktur tanah pada lereng cenderung mudah tererosi dan mengalami penurunan kestabilan ketika terjadi peningkatan kadar air akibat curah hujan yang tinggi. Kawasan ini juga berada pada ruas jalan nasional yang menjadi jalur utama penghubung

Padang–Painan, sehingga apabila terjadi longsor dapat mengganggu aktivitas masyarakat, distribusi barang, serta mobilitas transportasi antarwilayah. Oleh karena itu, kondisi lereng di kawasan Taratak Sungai Lundang perlu mendapatkan perhatian dalam upaya mitigasi dan penanganan longsor.

Curah hujan merupakan salah satu faktor pemicu terjadinya longsor karena dapat meningkatkan kejenuhan tanah dan menurunkan kuat geser tanah pada lereng (Naryanto dkk., 2019). Tingginya intensitas hujan pada daerah dengan topografi curam dapat menyebabkan lereng menjadi lebih rentan mengalami pergerakan tanah. Data curah hujan dan jumlah hari hujan di Kabupaten Pesisir Selatan dapat dilihat pada Tabel 1.1.

Tabel 1.1 Curah Hujan dan Hari Hujan Menurut Bulan di Kabupaten Pesisir Selatan, 2023

Bulan	Jumlah Curah Hujan (mm/bulan)	Jumlah Hari Hujan (hari)
Januari	427,70	19
Februari	240,00	15
Maret	478,90	24
April	308,70	20
Mei	348,60	17
Juni	414,80	20
Juli	679,90	20
Agustus	552,70	17
September	103,80	9
Oktober	41,70	21
November	245,70	22
Desember	157,30	18

Sumber: Badan Pusat Statistik Kabupaten Pesisir Selatan, 2024

Berdasarkan data pada Tabel 1.1, Kabupaten Pesisir Selatan memiliki curah hujan yang relatif tinggi pada beberapa bulan tertentu, seperti bulan Juli sebesar 679,90 mm/bulan dan Agustus sebesar 552,70 mm/bulan. Tingginya curah hujan tersebut dapat meningkatkan potensi terjadinya longsor pada lereng. Kondisi ini terbukti dengan terjadinya longsor di Nagari Taratak Sungai Lundang pada 23 Januari 2023 yang menyebabkan akses jalan tertutup material longsor. Berdasarkan informasi dari Pesisirselatankab.go.id, longsor kembali terjadi pada 7–8 Maret 2024 yang

mengakibatkan terputusnya jalur transportasi Padang–Painan serta menimbulkan kerugian yang cukup besar.

Tingginya curah hujan di Kabupaten Pesisir Selatan menyebabkan kawasan Taratak Sungai Lundang beberapa kali mengalami longsor yang mengganggu aktivitas masyarakat dan transportasi. Longsor terjadi pada 23 Januari 2023 yang menyebabkan akses jalan tertutup material longsor sehingga mobilitas masyarakat terganggu. Berdasarkan informasi dari Pesisirselatankab.go.id, longsor kembali terjadi pada 7–8 Maret 2024 yang mengakibatkan terputusnya jalur transportasi Padang–Painan serta menimbulkan kerugian yang cukup besar. Kejadian tersebut menunjukkan bahwa kondisi lereng di kawasan Taratak Sungai Lundang memiliki tingkat kerawanan longsor yang tinggi dan memerlukan penanganan yang tepat untuk mengurangi risiko longsor di masa mendatang. Sebagai bentuk visualisasi kondisi lapangan, Gambar 1.1 menunjukkan kejadian longsor di Taratak Sungai Lundang, sedangkan Gambar 1.2 memperlihatkan kondisi lereng pada lokasi penelitian berdasarkan hasil survei lapangan.



Gambar 1.1 Bencana Longsor di Sungai Lundang
Sumber: Berita.pesisirselatankab.go.id, 23 Januari 2023



Gambar 1.2 Lereng yang ditinjau pada Taratak Sungai Lundang
Sumber: Dokumen Lapangan, 7 September 2025

Kondisi lereng yang rawan mengalami longsor menunjukkan pentingnya analisis stabilitas lereng untuk mengetahui tingkat keamanan lereng terhadap potensi kelongsoran. Analisis stabilitas lereng dilakukan dengan menentukan nilai faktor keamanan atau *safety factor* (SF), yaitu perbandingan antara gaya penahan terhadap gaya penggerak longsor (SNI 8460:2017). Berdasarkan standar tersebut, lereng dinyatakan aman apabila memiliki nilai SF lebih besar dari 1,25. Oleh karena itu, analisis stabilitas lereng menjadi tahapan penting dalam upaya mitigasi longsor dan perencanaan sistem perkuatan lereng.

Untuk meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi potensi longsor, diperlukan metode perkuatan lereng yang efektif. Salah satu metode yang banyak digunakan adalah geocell, yaitu material geosintetik berbentuk struktur tiga dimensi menyerupai sarang lebah (*honeycomb*) yang dapat diisi dengan tanah, pasir, batu, maupun beton (Hardiyatmo dalam Rahayu B.T.S., 2023). Struktur geocell mampu memberikan efek pengekangan lateral terhadap material pengisi sehingga dapat meningkatkan stabilitas lereng. Dibandingkan dengan jenis geosintetik lainnya, geocell memiliki keunggulan dalam memberikan distribusi beban yang lebih merata dan meningkatkan kapasitas dukung tanah pada lereng. Selain itu, pemasangannya relatif mudah serta dapat memanfaatkan material lokal sebagai bahan pengisi, sehingga lebih efisien secara teknis maupun

ekonomis. Oleh karena itu, geocell dipilih sebagai metode perkuatan dalam penelitian ini.

Selain menggunakan geocell, penelitian ini juga menerapkan sistem angkur sebagai elemen tambahan perkuatan lereng. Angkur berfungsi untuk meningkatkan daya tahan lereng terhadap gaya geser dan membantu menahan pergerakan tanah pada lereng yang berpotensi longsor. Kombinasi geocell dan angkur diharapkan mampu memberikan sistem perkuatan yang lebih efektif dalam meningkatkan stabilitas lereng, khususnya pada kondisi lereng curam dengan curah hujan tinggi seperti di kawasan Taratak Sungai Lundang.

Untuk mengetahui tingkat stabilitas lereng pada kondisi eksisting maupun setelah dilakukan perkuatan, diperlukan analisis stabilitas lereng menggunakan beberapa metode perhitungan. Pada penelitian ini, analisis dilakukan menggunakan metode *fellenius* serta bantuan perangkat lunak *Plaxis 2D* dan *GeoStudio*. Metode *fellenius* digunakan untuk menghitung faktor keamanan lereng berdasarkan metode keseimbangan batas secara manual, sedangkan *Plaxis 2D* digunakan untuk menganalisis perilaku tanah menggunakan pendekatan elemen hingga. Selain itu, *GeoStudio* digunakan untuk mengevaluasi stabilitas lereng dan memperoleh nilai faktor keamanan melalui metode keseimbangan batas. Penggunaan ketiga metode tersebut diharapkan dapat memberikan hasil analisis yang lebih komprehensif terhadap kondisi lereng serta efektivitas perkuatan geocell dan angkur yang diterapkan.

Beberapa penelitian terdahulu telah dilakukan terkait analisis stabilitas lereng menggunakan berbagai metode dan jenis perkuatan. Asih (2023) melakukan analisis stabilitas lereng menggunakan *Plaxis 2D* dan *GeoStudio* serta menunjukkan adanya konsistensi hasil SF pada kedua metode tersebut. A'yuni (2025) meneliti penggunaan shotcrete sebagai perkuatan lereng pada daerah rawan longsor dan menunjukkan adanya peningkatan faktor keamanan lereng. Selain itu, Muwaffaq dan Arsyadani (2023) menggunakan metode *fellenius* dan *Plaxis 2D* dengan perkuatan *sheet pile*,

sedangkan Sari (2024) dan Dhaneswara (2024) meneliti penggunaan geotekstil sebagai material perkuatan lereng menggunakan perangkat lunak *Plaxis* dan *GeoStudio*. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan sistem perkuatan mampu meningkatkan stabilitas lereng dan mengurangi potensi longsor.

Meskipun berbagai penelitian terkait stabilitas lereng telah dilakukan, kajian mengenai penggunaan geocell dan angkur sebagai sistem perkuatan pada lereng alami di kawasan rawan longsor Taratak Sungai Lundang masih terbatas. Selain itu, penelitian yang membandingkan hasil analisis stabilitas lereng menggunakan metode *fellenius*, *Plaxis* 2D, dan *GeoStudio* pada kondisi lereng dengan curah hujan tinggi juga masih jarang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini dilakukan untuk menganalisis efektivitas perkuatan geocell dan angkur terhadap peningkatan stabilitas lereng pada ruas jalan Padang–Painan Km 36 Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan.

Oleh karena itu, penelitian mengenai analisis stabilitas lereng dengan perkuatan geocell dan angkur pada kawasan Taratak Sungai Lundang menjadi penting untuk dilakukan. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam upaya mitigasi bencana longsor, khususnya pada ruas jalan Padang–Painan yang rawan mengalami pergerakan tanah. Hasil analisis perbandingan antara kondisi eksisting dan kondisi setelah perkuatan juga diharapkan dapat memberikan kontribusi signifikan dalam perencanaan mitigasi bencana longsor (Isadono N.S., 2020), serta menjadi bahan pertimbangan dalam perencanaan sistem perkuatan lereng dan pengembangan kajian stabilitas lereng menggunakan metode *Fellenius*, *Plaxis* 2D, dan *GeoStudio*. Berdasarkan uraian tersebut, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan judul “Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Geocell* dan Angkur menggunakan Software *Plaxis* 2D dan *GeoStudio* (Studi Kasus: Lereng pada Ruas Jalan Padang–Painan Km 36 Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan)”.

B. Identifikasi Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah diuraikan, dapat diidentifikasi beberapa permasalahan yang berkaitan dengan ketidakstabilan lereng di Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan, sebagai berikut:

1. Kondisi topografi kawasan Taratak Sungai Lundang yang didominasi lereng curam dengan kemiringan tinggi menjadikan wilayah ini sangat rentan terhadap pergerakan massa tanah.
2. Tingginya intensitas curah hujan di wilayah Pesisir Selatan menyebabkan peningkatan tekanan air pori dalam tanah yang dapat menurunkan kekuatan geser tanah dan memperburuk stabilitas lereng.
3. Lereng pada ruas jalan Padang–Painan Km 36 belum memiliki sistem perkuatan yang memadai, sehingga tidak mampu menahan gaya longsor yang bekerja, yang ditunjukkan oleh nilai *Safety Factor* eksisting di bawah batas aman.
4. Belum adanya kajian teknis yang komprehensif mengenai efektivitas penggunaan *Geocell* dan Angkur sebagai sistem perkuatan lereng pada lokasi tersebut, padahal metode ini berpotensi menjadi alternatif yang efektif secara teknis maupun ekonomis.

C. Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat dilaksanakan secara terarah dan terfokus, maka ditetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini hanya dilakukan pada lereng yang berada di kawasan Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan.
2. Parameter sifat mekanis tanah yang digunakan dalam analisis diperoleh dari pengujian laboratorium menggunakan metode *direct shear test* untuk menentukan parameter kuat geser tanah.
3. Analisis stabilitas lereng pada kondisi eksisting dilakukan dengan menghitung nilai *Safety Factor* menggunakan dua pendekatan, yaitu perhitungan analitis berdasarkan Metode *Fellenius* serta simulasi menggunakan perangkat lunak *Plaxis 2D* dan *GeoStudio*.

4. Analisis dilanjutkan pada kondisi lereng dengan perkuatan *Geocell* dan angkur untuk mengevaluasi peningkatan stabilitas lereng menggunakan pemodelan pada *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*.
5. Analisis dalam penelitian ini hanya mempertimbangkan kondisi pembebanan statis tanpa memperhitungkan pengaruh beban dinamis seperti gaya gempa.

D. Rumusan Masalah

Berdasarkan batasan masalah yang telah ditetapkan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana parameter kuat geser tanah pada lereng Taratak Sungai Lundang berdasarkan hasil pengujian laboratorium?
2. Bagaimana tingkat kestabilan lereng eksisting berdasarkan nilai *safety factor* yang diperoleh dari metode *fellenius*, *Plaxis* 2D, dan *GeoStudio*?
3. Bagaimana pengaruh perkuatan *geocell* dan angkur terhadap peningkatan nilai *safety factor* lereng berdasarkan simulasi *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*?
4. Bagaimana perbandingan nilai *safety factor* lereng eksisting antara hasil perhitungan metode *fellenius* dengan hasil simulasi *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*?
5. Bagaimana perbandingan nilai *safety factor* lereng setelah perkuatan antara hasil simulasi *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*?

E. Tujuan Penelitian

Berikut tujuan dari penelitian ini:

1. Menganalisis sifat mekanik tanah (*soil properties*) pada lereng di Taratak, Sungai Lundang berdasarkan hasil pengujian laboratorium.
2. Mengevaluasi tingkat kestabilan lereng eksisting berdasarkan nilai *safety factor* yang diperoleh dari metode *fellenius*, *Plaxis* 2D, dan *GeoStudio*.
3. Menganalisis pengaruh perkuatan *geocell* dan angkur terhadap peningkatan stabilitas lereng menggunakan *software Plaxis* 2D dan *GeoStudio*.

4. Membandingkan nilai *safety factor* lereng eksisting antara hasil perhitungan metode *fellenius* dengan hasil simulasi *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*.
5. Membandingkan nilai *safety factor* lereng setelah perkuatan antara hasil simulasi *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*.

F. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi berbagai pihak, antara lain sebagai berikut:

1. Bagi pemerintah daerah, instansi kebencanaan, perencana, dan kontraktor, penelitian ini dapat menjadi bahan pertimbangan dalam upaya mitigasi dan penanganan lereng rawan longsor, serta sebagai referensi penerapan perkuatan lereng menggunakan geocell dan angkur yang efektif dan ekonomis.
2. Bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan institusi pendidikan, penelitian ini dapat menjadi referensi ilmiah dan bahan kajian di bidang geoteknik, khususnya terkait analisis stabilitas lereng serta penggunaan *geocell* dan angkur serta penerapan analisis menggunakan *Plaxis* 2D dan *GeoStudio*.
3. Bagi konsultan perencana, *engineer* geoteknik, dan pemilik proyek, penelitian ini dapat memberikan informasi teknis serta pertimbangan dalam pemilihan dan perancangan sistem perkuatan lereng menggunakan *geocell* dan angkur berdasarkan karakteristik tanah dan hasil analisis faktor keamanan.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan mengenai stabilitas lereng dengan perkuatan *Geocell* pada studi kasus lereng Taratak Sungai Lundang, Kabupaten Pesisir Selatan, dapat ditarik simpulan sebagai berikut:

1. Tanah dasar lereng bersifat kohesif-lempung dengan nilai kohesi (c) sebesar 13,53 kPa, sudut geser dalam (ϕ) sebesar $26,565^\circ$, berat isi tanah jenuh $1,711 \text{ gr/cm}^3$, dan kadar air rata-rata 52,085%, yang mengindikasikan kekuatan geser tanah yang relatif rendah dan kerentanan tinggi terhadap kelongsoran pada kondisi jenuh air.
2. Lereng eksisting berada dalam kondisi tidak aman dengan nilai SF di bawah batas minimum SNI 8460:2017 ($SF \geq 1,25$) pada ketiga metode analisis, yaitu *Fellenius* sebesar 1,013, *Plaxis 2D* sebesar 0,987, dan *GeoStudio* sebesar 0,994, yang konsisten dengan kejadian longsor di lapangan pada Januari 2023 dan Maret 2024.
3. Penerapan perkuatan *Geocell* meningkatkan nilai SF menjadi 1,328 pada *Plaxis 2D* dan 1,252 pada *GeoStudio*, sedangkan kombinasi *Geocell* dan angkur menghasilkan peningkatan lebih lanjut dengan nilai SF sebesar 1,423 pada *Plaxis 2D* dan 1,404 pada *GeoStudio*. Kedua skenario perkuatan telah memenuhi persyaratan minimum SNI 8460:2017, dengan angkur memberikan kontribusi tambahan melalui penyaluran gaya tarik ke lapisan tanah yang lebih stabil di belakang bidang longsor.
4. Perbandingan nilai SF pada kondisi eksisting antara metode *Fellenius*, *Plaxis 2D*, dan *GeoStudio* menunjukkan selisih yang wajar akibat perbedaan pendekatan analisis, yakni metode kesetimbangan batas (LEM) pada *Fellenius* dan *GeoStudio* serta metode elemen hingga (FEM) pada *Plaxis 2D*. Meskipun terdapat perbedaan nilai, ketiga

metode menghasilkan kesimpulan yang konsisten mengenai kondisi ketidakstabilan lereng eksisting.

5. Perbandingan nilai SF setelah perkuatan antara *Plaxis* 2D dan *GeoStudio* pada seluruh skenario menunjukkan hasil yang konsisten. Perbedaan nilai yang terjadi bersifat wajar dan dapat dijelaskan melalui perbedaan pendekatan FEM dan LEM, sehingga kedua perangkat lunak dapat digunakan secara bersama-sama untuk menghasilkan analisis stabilitas lereng yang lebih komprehensif.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan simpulan yang telah dirumuskan, beberapa saran disampaikan untuk perbaikan dan pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Bagi pemerintah daerah, instansi kebencanaan, perencana, dan kontraktor, disarankan agar Pemerintah Kabupaten Pesisir Selatan segera melakukan mitigasi pada lereng Taratak, Sungai Lundang mengingat nilai SF eksisting berada di bawah batas minimum keamanan, serta mempertimbangkan penerapan kombinasi Geocell dan angkur sebagai solusi perkuatan yang terbukti efektif dan ekonomis. Selain itu, perlu dilakukan pemantauan (monitoring) secara berkala setelah pemasangan sistem perkuatan di lapangan guna mengevaluasi performa aktual terhadap pengaruh cuaca dan musim hujan di wilayah Pesisir Selatan.
2. Bagi mahasiswa, dosen, peneliti, dan institusi pendidikan, disarankan untuk melakukan pengujian laboratorium yang lebih lengkap pada penelitian selanjutnya, seperti uji triaksial dan konsolidasi, guna memperoleh parameter tanah yang lebih komprehensif sebagai data input analisis. Analisis juga perlu dikembangkan dengan mempertimbangkan kondisi pembebanan dinamis seperti beban gempa dan beban lalu lintas kendaraan berat, mengingat lokasi penelitian berada pada jalur jalan nasional yang aktif.

3. Bagi konsultan perencanaan, engineer geoteknik, dan pemilik proyek, disarankan untuk mengkaji variasi konfigurasi perkuatan Geocell pada penelitian lanjutan, seperti variasi ketebalan lapisan, jarak spasi angkur, dan kedalaman pemasangan, guna menemukan konfigurasi yang paling optimal dari segi teknis maupun ekonomis sebagai acuan perancangan sistem perkuatan lereng di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. (1993). Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing (17th ed.). American Association of State Highway and Transportation Officials.
- Asih, R. S. (2023). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Program *Plaxis 2D* dan *GeoStudio-W* (Studi Kasus Ruas Jalan Cisomang – Padalarang Sta 30+500).
- ASTM. (1971). ASTM D2216-71: Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock. American Society for Testing and Materials.
- ASTM. (1982). ASTM D3080-82: Standard Test Method for Direct Shear Test of Soils Under Consolidated Drained Conditions. American Society for Testing and Materials.
- ASTM International. (2015). ASTM D6693-15: Standard Test Method for Determining Tensile Properties of Nonreinforced Polyethylene and Nonreinforced Flexible Polypropylene Geomembranes. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D6693-15>
- ASTM International. (2018). ASTM A722/A722M-18: Standard specification for uncoated high-strength steel bars for prestressing concrete. ASTM International.
- ASTM International. (2022). ASTM D638-22: Standard test method for tensile properties of plastics. ASTM International. <https://doi.org/10.1520/D0638-22>
- A'yuni, A. Q. (2025). Evaluasi Efektivitas Perkuatan Lereng Menggunakan Shotcrete Di Area Rawan Longsor (Studi Kasus: Sitinjau Lauik, Kota Padang).
- Badan Standardisasi Nasional. (1994). SNI 03-3637-1994: Cara uji berat isi tanah dalam keadaan asli dengan tabung. BSN.
- Badan Standardisasi Nasional. (2017). SNI 8460:2017: Persyaratan perancangan geoteknik. BSN.
- Berg, R. R., Christopher, B. R., & Samtani, N. C. (2009). Design and construction of mechanically stabilized earth walls and reinforced soil slopes (Vol. I). Federal Highway Administration (FHWA).

- Bishop, A. W. (1955). The use of the slip circle in the stability analysis of slopes. *Géotechnique*, 5(1), 7–17. <https://doi.org/10.1680/geot.1955.5.1.7>
- Craig, R. F. (1991). *Soil Mechanics* (Budi Susilo Soepandji, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- Colomina, I., & Molina, P. (2014). Unmanned aerial systems for photogrammetry and remote sensing: A review. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 92, 79–97. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2014.02.013>
- Das, B.M. (1993). *Mekanika Tanah Jilid 2*. Penerbit Erlangga, Jakarta.
- Das, B. M. (1995). *Principles of Geotechnical Engineering* (4th ed.). Boston: PWS Publishing Company.
- Das, B. M. (2010). *Principles of Foundation Engineering* (7th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M., & Sobhan, K. (2014). *Principles of Geotechnical Engineering* (8th ed.). Cengage Learning.
- Das, B. M. (2018). *Principles of geotechnical engineering* (9th ed.). Cengage Learning.
- Dhaneswara, R. (2024). Analisis stabilitas lereng ramp jalan tol dengan perkuatan geotekstil menggunakan *GeoStudio* (Studi kasus: Lereng ramp jalan tol Cakung, Jakarta Timur). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Duncan, J. M., & Wright, S. G. (2005). *Soil strength and slope stability*. John Wiley & Sons.
- Elite-Indus Manufacturing Co., Ltd. (2024). Reinforced HDPE *Geocell* cellular confinement system for slope protection [Product datasheet]. Elite-Indus. <https://www.elite-indus.com/sale-10188252-reinforced-hdpe-Geocell-cellular-confinement-system-for-slope-protection.html>
- Engineering Civil. (n.d.). Angkur Tipe Free Length and Fixed Length in Tieback. Diakses pada 18 November 2025, dari <https://www.engineeringcivil.com>
- Federal Highway Administration. (1999). *Geotechnical engineering circular No. 4: Ground anchors and anchored systems* (FHWA-IF-99-015). U.S. Department of Transportation.
- Fitriani, E.N., & Ashadi, R.F. (2023). Penanggulangan Longsoran dengan Menggunakan *Geocell*. *Jurnal Konstruksia*, Volume 15 Nomor 1, 137–144.

- Fitriansyah, M., Kurniawan, K., Anggarini, E., & Muzaidi, I. (2024). Analisis stabilitas lereng pada tanah lempung lunak Kabupaten Kapuas dengan perkuatan *Geocell* menggunakan program *Plaxis 2D* dan metode *Fellenius*. Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Firdaus, Y., Sarie, F., & Hendri, O. (2022). Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan Metode *Fellenius* Studi Kasus: Proyek Pekerjaan Drainase Gedung PPIIG di Universitas Palangka Raya. *Jurnal Teknik*, Vol. 5, No. 2, April 2022, 1–9.
- Giordan, D., Adams, M. S., Aicardi, I., Alicandro, M., Allasia, P., Baldo, M., ... & Troilo, F. (2018). The use of unmanned aerial vehicles (UAVs) for natural hazard monitoring and management. *Natural Hazards and Earth System Sciences*, 20(8), 2075–2093. <https://doi.org/10.5194/nhess-20-2075-2020>
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Mekanika Tanah I*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H. C. (2012). *Mekanika Tanah I (Edisi Kelima)*. Gadjah Mada University Press. Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C. (2018). *Mekanika tanah 2*. Gadjah Mada *University Press*.
- Hibbeler, R. C. (2017). *Mechanics of materials* (10th ed.). Pearson.
- Huda, M. (2017). Analisis Stabilitas Lereng dengan Perkuatan *Geocell* dan Anchor Menggunakan Program Geoslope/W. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 1(1), 16–21.
- Iftikhar, A. A. (2024). Analisis stabilitas lereng dengan perkuatan soil nailing menggunakan program *Plaxis 2D V20* (Studi Kasus: Tebing Cibeureum, Kabupaten Cianjur) (Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta).
- Isadono, N. S. (2020). Analisis stabilitas timbunan tanah menggunakan perkuatan geotekstil dengan program *PLAXIS 2D 8.6* serta metode *Fellenius*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.
- KTG Indonesia. (n.d.). *Geocell sebagai Sistem Perkuatan Lereng*. Diakses pada 31 Mei 2025, dari <https://www.ktgindonesia.com/geocell>
- Krishna, A., & Latha, G. M. (2023). *Evolution of Geocells as sustainable support to transportation infrastructure*.

- Muwaffaq, M. A., & Arsyadani, M. H. (2023). Analisis Stabilitas Lereng untuk Mengatasi Kerawanan Longsor Menggunakan Metode Fellenius dan Program Plaxis V20 (Studi Kasus: Proyek The Startup Hotel Island Karimunjawa). Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Islam Sultan Agung.
- Naryanto, H. S., Soewandita, H., Ganesha, D., Prawiradisastra, F., & Kristijono, A. (2019). Analisis Penyebab Kejadian dan Evaluasi Bencana Tanah Longsor di Desa Banaran, Kecamatan Pulung, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur Tanggal 1 April 2017. *Jurnal Ilmu Lingkungan*, 17(2), 272.
- Nex, F., & Remondino, F. (2014). UAV for 3D mapping applications: A review. *Applied Geomatics*, 6(1), 1–15. <https://doi.org/10.1007/s12518-013-0120-x>
- Pradhana, R. (2018). Analisis Stabilitas Lereng Dengan Perkuatan Geotekstil (Studi Kasus: Bantaran Sungai Code, Kecamatan Jetis, Daerah Istimewa Yogyakarta).
- Rahayu, B. T. S., Hoesain, I. M., & Sulistyowati, T. (2023). Perencanaan perkuatan geosintetik sebagai alternatif dinding penahan tanah pada STA 10+150 Ruas Jalan ByPass BIL–Mandalika. *Artikel Ilmiah, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Mataram*.
- Sabatini, P. J., Pass, D. G., & Bachus, R. C. (1999). Ground anchors and anchored systems (Geotechnical Engineering Circular No. 4, FHWA-IF-99-015). Federal Highway Administration (FHWA).
- Sari, S. D. A. (2024). Analisis stabilitas lereng timbunan pada badan jalan dengan perkuatan geotekstil menggunakan program *Plaxis 2D 22* (Studi kasus: Proyek Jalan Tol Cibitung–Cilincing Sta. 7+500). Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
- Wardana, I. G. N. (2011). Pengaruh perubahan muka air tanah dan terasering terhadap perubahan kestabilan lereng. *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 15(1), 83–92.
- Wijaya, H. (2023). Analisis penggunaan *Geocell* untuk stabilisasi lereng timbunan jalan. *Jurnal Mitra Teknik Sipil (JMTS)*, 6(2), 105–112.
- Westoby, M. J., Brasington, J., Glasser, N. F., Hambrey, M. J., & Reynolds, J. M. (2012). 'Structure-from-Motion' photogrammetry: A low-cost, effective tool for geoscience applications. *Geomorphology*, 179, 300–314. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2012.08.021>