

**SIMULASI NUMERIS PERBAIKAN TANAH RESIDUAL
TROPIS DENGAN *ADDITIVE* XANTHAN GUM**



TUGAS AKHIR

*Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar
Sarjana Teknik pada Program Studi S1 - Teknik Sipil*

Oleh:

Salim Abdul Hakim

2102317

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PENDIDIKAN TEKNIK DAN INDUSTRI
UNIVERSITAS PENDIDIKAN INDONESIA**

2025

SIMULASI NUMERIS PERBAIKAN TANAH RESIDUAL TROPIS DENGAN ADDITIVE XANTHAN GUM

Oleh

Salim Abdul Hakim

Sebuah Tugas Akhir yang diajukan untuk memenuhi salah satu syarat
memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Teknik Sipil

© Salim Abdul Hakim 2025

Universitas Pendidikan Indonesia

2025

Hak Cipta dilindungi oleh undang-undang

Tugas Akhir ini tidak boleh diperbanyak seluruhnya atau sebagian, dengan
dicetak ulang, difotokopi, atau cara lainnya tanpa izin dari penulis.

LEMBAR PENGESAHAN**SALIM ABDUL HAKIM****SIMULASI NUMERIS PERBAIKAN TANAH RESIDUAL
TROPIS DENGAN ADDITIVE XANTHAN GUM**

Disetujui dan Disahkan Oleh Pembimbing:

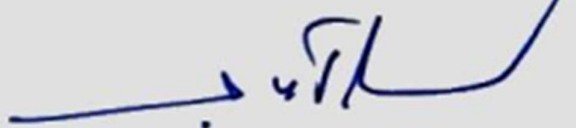
Pembimbing I**Dr. Ir. Herwan Dermawan, S.T., M.T., ASEAN Eng**

NIP. 19800128 200812 1 001

Pembimbing II**Drs. Ir. Rakhmat Yusuf, MT., MCE., IPM., C.PM., ASEAN Eng.**

NIP. 19640424 199101 1 001

Mengetahui,

Ketua Program Studi Teknik Sipil**Dr. Ir. Juang Akbardin, S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**

NIP. 19770307 200812 1 001

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Salim Abdul Hakim
NIM : 2102317
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Karya : Simulasi Numeris Perbaikan Tanah Residual
Tropis dengan Additive Xanthan Gum

Dengan ini menyatakan bahwa karya tulis ini merupakan hasil kerja saya sendiri. Saya menjamin bahwa seluruh isi karya ini, baik sebagian maupun keseluruhan, bukan merupakan plagiarisme dari karya orang lain, kecuali pada bagian yang telah dinyatakan dan disebutkan sumbernya dengan jelas.

Jika di kemudian hari ditemukan pelanggaran terhadap etika akademik atau unsur plagiarisme, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku di Universitas Pendidikan Indonesia.

Bandung, 10 September 2025

Penulis

Salim Abdul Hakim

NIM. 2102317

SIMULASI NUMERIS PERBAIKAN TANAH RESIDUAL TROPIS DENGAN *ADDITIVE* XANTHAN GUM

Salim Abdul Hakim¹, Herwan Dermawan², Rakhmat Yusuf³

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Pendidikan Teknik dan Industri

Universitas Pendidikan Indonesia

Email: abdulhakimsalim45@gmail.com

ABSTRAK

Stabilitas lereng merupakan aspek krusial dalam rekayasa geoteknik, terutama pada konstruksi timbunan di atas tanah lempung lunak yang memiliki daya dukung rendah serta potensi deformasi besar. Kegagalan lereng tidak hanya menimbulkan kerugian ekonomi, tetapi juga membahayakan keselamatan, sehingga analisis yang komprehensif diperlukan untuk meminimalkan risiko tersebut. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi kinerja lereng dengan meninjau faktor keamanan dan deformasi baik pada kondisi jangka pendek (short-term) maupun jangka panjang (long-term). Metode penelitian dilakukan melalui dua tahap utama. Pertama, pengujian laboratorium dilakukan untuk memperoleh parameter sifat fisik dan mekanik tanah, meliputi uji UCT, Triaxial UU, serta uji Permeabilitas. Data hasil laboratorium ini kemudian digunakan sebagai dasar input dalam tahap kedua, yaitu analisis numerik menggunakan perangkat lunak Plaxis 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi short-term, lereng mengalami deformasi yang relatif besar dan nilai faktor keamanan berada pada kondisi yang lebih rendah. Sementara itu, pada kondisi long-term, deformasi berangsur menurun dan faktor keamanan mengalami peningkatan seiring dengan redistribusi tegangan dalam tanah. Kesimpulan utama dari penelitian ini adalah bahwa perencanaan lereng pada tanah lunak tidak dapat hanya mengandalkan analisis jangka pendek, tetapi harus memperhitungkan hasil uji laboratorium, tahapan konstruksi, serta perilaku jangka panjang untuk memperoleh desain yang stabil dan aman.

Kata Kunci: Tanah residual tropis, biopolimer, xanthan gum, stabilitas lereng, deformasi, faktor keamanan.

NUMERICAL SIMULATION OF TROPICAL RESIDUAL SOIL IMPROVEMENT USING XANTHAN GUM ADDITIVE

Salim Abdul Hakim¹, Herwan Dermawan², Rakhmat Yusuf³

*Civil Engineering Study Program, Faculty of Engineering and
Industrial Education, Universitas Pendidikan Indonesia*

Email: abdulhakimsalim45@gmail.com

ABSTRACT

Slope stability is a crucial aspect of geotechnical engineering, particularly in embankment construction on soft clay soils that have low bearing capacity and high deformation potential. Slope failure not only causes economic losses but also poses safety hazards, making comprehensive analysis essential to minimize such risks. This study aims to evaluate slope performance by examining safety factors and deformations under both short-term and long-term conditions. The research method was carried out in two main stages. First, laboratory testing was conducted to obtain the physical and mechanical properties of the soil, including Unconfined Compression Test (UCT), Unconsolidated Undrained Triaxial Test (UU), and permeability tests. The laboratory results were then used as the basis for the second stage, namely numerical analysis using Plaxis 2D software. The results indicate that under short-term conditions, the slope undergoes relatively large deformations and exhibits lower safety factor values. In contrast, under long-term conditions, deformations gradually decrease and the safety factor improves due to stress redistribution within the soil. The main conclusion of this study is that slope design on soft clay soils cannot rely solely on short-term analysis, but must also consider laboratory test results, construction stages, and long-term behavior to achieve a stable and safe design.

Kata Kunci: Tropical residual soil, biopolymer, xanthan gum, slope stability, deformation, safety factor.

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kehadiran Tuhan Yang Maha Esa atas segala limpahan rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyusun tugas akhir yang berjudul **“Simulasi Numeris Perbaikan Tanah Residual Tropis Dengan Additive Xanthan Gum”** ini dengan tepat waktu. Proses pelaksanaan penelitian ini memberikan berbagai tantangan dan peluang yang menjadi bagian penting dalam perjalanan akademik penulis selama menempuh pendidikan di program studi ini.

Dalam penyusunan tugas akhir ini, penulis menyadari bahwa tidak lepas dari bantuan, bimbingan, dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan rasa terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapa Dr. Ir. Herwan Dermawan, M.T. IPM selaku dosen pembimbing 1, atas bimbingan, arahan, dan dukungannya selama penyusunan tugas akhir.
2. Bapa Ir. Drs. Rakhmat Yusuf, MT., IPM. Selaku dosen pembimbing 2, yang telah membimbing.
3. Keluarga tercinta, yang selalu memberikan doa, dukungan, serta motivasi tanpa henti selama proses penyusunan tugas akhir ini.

Penulis menyadari bahwa tugas akhir ini masih jauh dari kesempurnaan. penulis juga memahami bahwa masih terdapat kekurangan, baik dalam aspek penulisan maupun tata bahasa yang digunakan dalam penelitian ini. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan untuk perbaikan dan penyempurnaan tugas akhir ini.

Bandung, 10 September 2025

Penulis

Salim Abdul Hakim

2102317

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	i
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	ii
ABSTRAK	iii
<i>ABSTRACT</i>	iv
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vi
DAFTAR GAMBAR.....	viii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
 BAB I PENDAHULUAN.....	 1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	3
1.4. Manfaat Penelitian	3
1.5. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
 BAB II KAJIAN TEORI	 5
2.1. Tanah Residual	5
2.2. Stabilisasi Tanah.....	7
2.3. Parameter Tanah	12
2.4. Pengujian Laboratorium.....	18
2.5. Stabilitas Lereng.....	31
2.6. Penelitian Terdahulu.....	34
 BAB III METODOLOGI	 37
3.1. Desain Penelitian.....	37

3.2.	Lokasi Penelitian.....	37
3.3.	Prosedur Penelitian.....	38
3.3.1.	Uji Laboaratorium.....	40
3.3.2.	Simulasi Numeris	47
3.4.	Populasi dan Sampel	53
3.5.	Teknik Analisis Data	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		55
4.1.	Hasil	55
4.1.1.	Hasil Uji Laboratorium Sifat Fisik Tanah.....	55
4.1.2.	Hasil Uji Laboratorium Sifat Mekanik Tanah.....	61
4.1.3.	Hasil Simulasi Numeris Plaxis 2D	69
4.2.	Pembahasan.....	87
4.2.1.	Sifat Fisik Tanah Laterit.....	87
4.2.2.	Pengaruh Xanthan Gum terhadap Sifat Mekanik Tanah.....	89
4.2.3.	Evaluasi Faktor Keamanan Stabilitas Lereng	91
4.2.4.	Evaluasi Besar Deformasi	94
4.2.5.	Evaluasi Ketebalan Efektif Perbaikan Tanah Timbunan.....	98
BAB V SIMPULAN DAN SARAN		102
5.1.	Kesimpulan	102
5.2.	Saran.....	103
DAFTAR PUSTAKA.....		104
LAMPIRAN.....		109

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1. Formasi tanah residual	5
Gambar 2. 2. Karakteristik Geoteknik Tanah Laterit	7
Gambar 2. 3. Perbandingan kuat tekan tanah yang diolah dengan biopolimer.....	8
Gambar 2. 4. Struktur kimia Xanthan Gum	9
Gambar 2. 5. Interaksi antar partikel tanah dengan Xanthan Gum	10
Gambar 2. 6. Ikatan Kimia Xanthan Gum dengan Partikel Tanah Residual.....	10
Gambar 2. 7. Trend harga xanthan gum dunia.	11
Gambar 2. 8. LCA Biopolimer.....	12
Gambar 2. 9. Klasifikasi Tanah USCS	23
Gambar 2. 10. Alat uji kuat tekan	29
Gambar 2. 11. Lingkaran Mohr-Coulomb TX UU	30
Gambar 2. 12. Alat uji Triaxial.....	30
Gambar 2. 13. Geometri dan mesh FEM pada stabilitas lereng.....	32
Gambar 3. 1. Lokasi penelitian	37
Gambar 3. 2. Diagram alir penelitian.....	39
Gambar 3. 3. Project properties	49
Gambar 3. 4. Material sets	50
Gambar 3. 5. Create borehole	51
Gambar 3. 6. Generate geometry	51
Gambar 3. 7. Generate mesh.....	52
Gambar 3. 8. Flow condition	52
Gambar 3. 9. Stage construction	53
Gambar 4. 1. Pengujian berat jenis butiran menggunakan piknometer	56
Gambar 4. 2. Proses pengujian distribusi ukuran butir tanah	57
Gambar 4. 3. Distribusi ukuran partikel.....	57
Gambar 4. 4. Proses pengujian batas cair	58
Gambar 4. 5. Grafik pengujian batas cair	58
Gambar 4. 6. Jenis tanah berdasarkan grafik Casagrande.....	59
Gambar 4. 7. Proses pemadatan standard proctor.....	60
Gambar 4. 8. Grafik nilai ZAVC dan hasil pengujian kompaksi	61
Gambar 4. 9. Pengujian kuat tekan bebas	62

Gambar 4. 10. Trend hasil uji kuat tekan bebas	63
Gambar 4. 11. Pengujian triaksial UU	64
Gambar 4. 12. Mohr envelope hasil pengujian triaxial UU	65
Gambar 4. 13. Trend Cu dari uji triaksial UU	66
Gambar 4. 14. Uji falling head.....	67
Gambar 4. 15. Trend penurunan koefisien permeabilitas	68
Gambar 4. 16. Geometri lereng timbunan.....	69
Gambar 4. 17. Drilling logs tanah dasar Jalan Tol Trans Sumatra Ruas Sigli – Banda Aceh	70
Gambar 4. 18. Stratifikasi tanah.....	73
Gambar 4. 19. Perbandingan dsitribusi ukuran butir tanah laterit	87
Gambar 4. 20. Perbandingan nilai kohesi pada beberapa penelitian lain.....	89
Gambar 4. 21. Perbandingan koefisien permeabilitas.....	90
Gambar 4. 22. Rerata nilai faktor keamanan (Short Term).....	92
Gambar 4. 23. Rerata nilai faktor keamanan (Long Term)	93
Gambar 4. 24. Persentase penurunan deformasi vertikal (Short Term)	95
Gambar 4. 25. . Persentase penurunan deformasi vertikal (Long Term)	97
Gambar 4. 26. Bidang gelincir geometri lereng desain.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Tingkat pelapukan massa batuan.....	6
Tabel 2. 2. Korelasi N Value terhadap nilai berat volume tanah.....	13
Tabel 2. 3. Korelasi nilai rasio void berdasarkan berat volume kering dan jenis tanahnya	15
Tabel 2. 4. Korelasi N Value terhadap nilai kuat geser tanah lempung.....	16
Tabel 2. 5. Korelasi N Value terhadap nilai sudut geser tanah pasir	16
Tabel 2. 6. Korelasi nilai modulus elastisitas.....	17
Tabel 2. 7. Korelasi nilai Poisson Ratio berdasarkan nilai modulus elastisitas	17
Tabel 2. 8. Ukuran Ayakan Standar ASTM D1140 untuk pengujian saringan.....	18
Tabel 2. 9. Tabel Properties Air Suling	19
Tabel 2. 10. Faktor Koreksi untuk berat jenis tanah	20
Tabel 2. 11. Koreksi suhu pengujian	20
Tabel 2. 12. Faktor nilai K	21
Tabel 2. 13. Hubungan nilai bacaan hidrometer dikoreksi meniscus dengan kedalaman efektif.....	22
Tabel 2. 14. Faktor Koreksi Piknometer	24
Tabel 2. 15. Klasifikasi tingkat plastisitas tanah berdasarkan nilai batas plastis ..	25
Tabel 2. 16. Klasifikasi jenis tanah berdasarkan nilai Indeks Plastisitas	26
Tabel 2. 17. Metode pemadatan proktor standar	27
Tabel 2. 18. Nilai faktor keamanan untuk lereng tanah	33
Tabel 3. 2. Perkerasan Kaku untuk Jalan dengan Beban Lalu Lintas Berat.....	48
Tabel 3. 3. Standar acuan beban lalu lintas	48
Tabel 3. 4. Intensitas Curah Hujan	49
Tabel 4. 1. Resume hasil uji sifat fisik tanah.....	55
Tabel 4. 2. Hasil berat jenis butiran.....	56
Tabel 4. 3. Hasil pengujian batas plastis	59
Tabel 4. 4. Resume hasil pengujian kompaksi	60
Tabel 4. 5. Hasil pengujian UCT.....	62
Tabel 4. 6. Hasil pengujian triaksial UU	65
Tabel 4. 7. Hasil uji triaksial UU.....	66

Tabel 4. 8. Hasil uji falling head	68
Tabel 4. 9. Struktur perkerasan rencana	71
Tabel 4. 10. Beban lalu lintas rencana.....	72
Tabel 4. 11. Stratifikasi tanah.....	72
Tabel 4. 12. Parameter tanah dasar.....	73
Tabel 4. 13. Parameter tanah timbunan.....	75
Tabel 4. 14. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:1 (Short Term).....	76
Tabel 4. 15. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:1 (Long Term).....	76
Tabel 4. 16. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:1,5 (Short Term)	77
Tabel 4. 17. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:1,5 (Long Term)	77
Tabel 4. 18. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:2 (Short Term).....	78
Tabel 4. 19. Resume nilai faktor keamanan geometri kemiringan lereng 1:2 (Long Term).....	79
Tabel 4. 20. Resume besar deformasi vertikal geometri kemiringan lereng 1:1 (Short Term)	80
Tabel 4. 21. Resume besar deformasi vertikal kemiringan lereng 1:1 (Long Term)	80
Tabel 4. 22. . Resume besar deformasi vertikal geometri kemiringan lereng 1:1,5 (Short Term)	81
Tabel 4. 23. Resume besar deformasi vertikal geometri kemiringan lereng 1:1,5 (Long Term)	81
Tabel 4. 24. Resume besar deformasi vertikal geometri kemiringan lereng 1:2 (Short Term)	82
Tabel 4. 25. Resume besar deformasi vertikal geometri kemiringan lereng 1:2 (Long Term)	82
Tabel 4. 26. Nilai faktor keamanan tiap ketebalan perbaikan kemiringan lereng 1:1	83

Tabel 4. 27. Nilai faktor keamanan tiap ketebalan perbaikan kemiringan lereng 1:1,5.....	85
Tabel 4. 28. Nilai faktor keamanan tiap ketebalan perbaikan kemiringan lereng 1:2	86
Tabel 4. 29. Perbandingan sifat fisik tanah laterit dengan penelitian lain.....	88
Tabel 4. 30. Rerata faktor keamanan (Short Term).....	92
Tabel 4. 31. Rerata faktor keamanan (Long Term)	93
Tabel 4. 32. Nilai faktor keamanan diatas batas ijin	98
Tabel 4. 33. Volume penggunaan Xanthan Gum.....	99

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Surat Tugas Pembimbing	110
Lampiran 2. Form Bimbingan Tugas Akhir	112
Lampiran 3. Uji Berat Jenis Tanah	116
Lampiran 4. Uji Saringan	118
Lampiran 5. Uji Hidrometer	121
Lampiran 6. Uji Batas – Batas Atterberg	125
Lampiran 7. Uji Kompaksi	142
Lampiran 8. Uji Unconfined Compression Test (UCT)	146
Lampiran 9. Uji Triaxial Unconsolidated Undrained (TX UU)	192
Lampiran 10. Uji Permeabilitas	217
Lampiran 11. Drilling Log Tanah Dasar	220
Lampiran 12. Stratifikasi Tanah	221
Lampiran 13. Output PLAXIS 2D	222

DAFTAR PUSTAKA

- ASTM D2166-06. (t.t.). *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*
- ASTM D4767-11. (t.t.). *Test Method for Consolidated Undrained Triaxial Compression Test for Cohesive Soils*
- ASTM D2216. (t.t.). *Test Methods for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by Mass*
- ASTM D698. (2021). *Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Effort*
- ASTM D6913-04. (t.t.). *Standard Test Methods for Particle-Size Distribution (Gradation) of Soils Using Sieve Analysis*
- ASTM D7928-21. (t.t.). *Standard Test Method for Particle-Size Distribution (Gradation) of Fine-Grained Soils Using the Sedimentation (Hydrometer) Analysis*
- ASTM D854-02. (t.t.). *Standard Test Methods for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*
- ASTM D4318-17. (t.t.). *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*
- AS 4678-2002 Earth retaining structures, Australian Standard
- SNI 8460:2017. (2017). Persyaratan perancangan geoteknik
- SNI 03-6870-2002. (2002). Cara Uji Kelulusan Air di Laboratorium untuk Tanah Berbutir Halus dengan Tinggi Tekan Menurun
- Ayeldeen, M., Negm, A., El-Sawwaf, M., & Kitazume, M. (2017). Enhancing mechanical behaviors of collapsible soil using two biopolymers. *Journal of Rock Mechanics and Geotechnical Engineering*, 9(2), 329–339. doi:10.1016/j.jrmge.2016.11.007
- Bagaskoro, M. N., I, S. R., & A, R. (2023). Stable Slope Design Based On Limit Equilibrium Method (Lem) And Finite Element Method (Fem) At Pit X, Lahat, South Sumatra. *JOURNAL OF GEOLOGICAL SCIENCES AND APPLIED GEOLOGY*, 7(2), 25-29.
- Bagheri, P., Gratchev, I., & Rybachuk, M. (2023). Effects of Xanthan Gum Biopolymer on Soil Mechanical Properties. *Applied Sciences (Switzerland)*, 13(2). doi:10.3390/app13020887
- Banne, S. P., Dhawale, A. W., & Patil, R. B. (2024). Slope Stability Analysis of Xanthan Gum Biopolymer Treated Laterite Soil Using Plaxis Limit Equilibrium Method (PLAXIS LE). *KSCE Journal of Civil Engineering*, 28(4). doi:10.1007/s12205-024-0553-2

- Benhood, A. (2018). Soil and Clay Stabilization with Calcium- and Non-Calcium-Based Additives: A State-of-The-Art Review of Challenges, Approaches and Techniques. *Transportation Geotechnics*, 17, 14-32. doi:10.1016/j.trgeo.2018.08.002
- Blight, G. E., & Leong, E. C. (2012). *Mechanics of Residual Soils* (2nd ed.). London: CRC Press. doi:10.1201/b12014
- Brand, E. W., & Philipson, H. B. (1985). Soil Mechanics and Foundation Engineering Sampling and Testing of Residual Soil. *Technical committee 25 on The properties of Tropical and Residual Soils of the International Society*. Hongkong: Scorpion Press.
- Budhu, M. (2010). *Soil Mechanics and Foundations*.
- Cabalar, A. F., Awraheem, M. H., & Khalaf, M. M. (2018). Geotechnical Properties of a Low-Plasticity Clay with Biopolymer. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(8). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002380
- Chang, I., Im, J., & Cho, G. C. (2016). Introduction of Microbial Biopolymers in Soil Treatment for Future Environmentally-Friendly and Sustainable Geotechnical Engineering. *Sustainability*, 8(3), 251. doi:10.3390/su8030251
- Chang, I., Prasidhi, A. K., Im, J., & Cho, G. C. (2015). Soil Strengthening Using Thermo-Gelation Biopolymers. *Construction and Building Materials*, 77, 430-438. doi:10.1016/j.conbuildmat.2014.12.116
- Chen, R., Lee, I., & Zhang, L. (2015). Biopolymer Stabilization of Mine Tailings for Dust Control. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, 141(2). doi:10.1061/(asce)gt.1943-5606.0001240
- Cho, G. C., & Chang, I. (2018). Cementless Soil Stabilizer – Biopolymer. *The 2018 World Congress on Advances in Civil, Environmental, & Materials Research (ACEM18)*, (hal. 27-31). Incheon.
- Cho, M. T., Sato, T., & Saito, H. (2024). Effects of Pore Water and Pore Air Pressure on The Slope Failure Mechanisms due to Rainfall. *Geoenvironmental Disasters*, 11(40). doi:10.1186/s40677-024-00305-5
- Das, B. M. (2012). *Principles of Geotechnical Engineering*.
- Das, B. M. (2016). *Principles of Foundation Engineering* (8th ed.).
- Dehghan, H., Tabarsa, A., Latifi, N., & Bagheri, Y. (2019). Use of xanthan and guar gums in soil strengthening. *Clean Technologies and Environmental Policy*, 21(1), 155–165. doi:10.1007/s10098-018-1625-0
- Department of Civil & Arch. Engineering. (2015). *Geotechnical Laboratory Manual*. Qatar: Qatar University.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2017). *Manual Desain Perkerasan Jalan*. Jakarta.

- Duarte, I. M., & Rodrigues, C. M. (2018). *Encyclopedia of Engineering Geology*. doi:10.1007/978-3-319-73568-9_237
- Fatehi, H., Ong, D. E., & Yu, J. (2021). Biopolymers as Green Binders for Soil Improvement in Geotechnical Applications: A Review. *Geoscience*, 11(7), 291. doi:doi.org/10.3390/geosciences11070291
- Fredlund, D. G., & Rahardjo, H. (2012). *Unsaturated Soil Mechanics in Engineering Practice*. John Wiley & Sons, Inc.
- Hardiyatmo, H. C. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gadjah Mada University Press.
- Huat, B. B., Toll, D. G., & Prasad, A. (2017). *Handbook of Tropical Residual Soil Engineering*. CRC Press.
- Irfan, T. Y., & Dearman, W. R. (1978). Engineering Classification and Index Properties of A Weathered Granite. *Bulletin of the International Association of Engineering Geology*, 79-90. doi:10.1007/BF02634696
- Ishak, M. F., Zolkepli, M. F., & Affendy, M. (2017). Tropical Residual Soil Properties on Slopes. *International Journal of Engineering Technology and Sciences*, 8(1). doi:10.15282/ijets.8.2017.1.12.1087
- Kumar, G. S., Saini, P. K., Deoliya, R., Mishra, A. K., & Negi, S. K. (2022). Characterization of Laterite Soil and Its Use in Construction Applications: A Review. *Resources, Conservation & Recycling Advances*, 16. doi:doi.org/10.1016/j.rcradv.2022.200120
- Kumar, S., Yadav, B. D., & Raj, R. (2024). A Review on The Application of Biopolymers (Xanthan, Agar and Guar) for Sustainable Improvement of Soil. *Discover Applied Sciences*, 6(393). doi:10.1007/s42452-024-06087-7
- Latifi, N., Eisazadeh, A., Marto, A., & Meehan, C. L. (2017). Tropical Residual Soil Stabilization: A Powder Form Material for Increasing Soil Strength. *Construction and Building Materials*, 147, 827-836. doi:10.1016/j.conbuildmat.2017.04.115
- Look, B. (2007). *Handbook of Geotechnical Investigation and Design Tables. Proceedings and Monographs in Engineering, Water and Earth Sciences*. Taylor & Francis e-Library.
- Lori, I. S., Toufigh, M. M., & Toufigh, V. (2021). Improvement of Poorly Graded Sandy Soil by Using Copper Mine Tailing. *Construction and Building Materials*, 281. doi:10.1016/j.conbuildmat.2021.122591
- Mengue, E., Mroueh, H., Lancelot, L., & E. R. (2017). Mechanical Improvement of a Fine-Grained Lateritic Soil Treated with Cement for Use in Road Construction. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 29(11). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002059
- Pots, D. M., & Zdravkovic, L. (1999). *Finite Element Analysis in Geotechnical Engineering : Theory*.

- Purton, M. (2024, September 13). *Cement is a big problem for the environment. Here's how to make it more sustainable*. Diambil kembali dari World Economic Forum: <https://www.weforum.org/stories/2024/09/cement-production-sustainable-concrete-co2-emissions/>
- Rahardjo, H., Satyanaga, A., & Leong, E. C. (2016). Effects of Rainfall Characteristics on the Stability of Tropical Residual Soil Slope. *3rd European Conference on Unsaturated Soils – “E-UNSAT 2016”*. 9. EDP Sciences. doi:10.1051/e3sconf/20160915004
- Rashid, A. S., Latifi, N., & Meehan, C. L. (2017). Sustainable Improvement of Tropical Residual Soil Using an Environmentally Friendly Additive. *Geotechnical and Geological Engineering*, 35(6), 2613-2623. doi:10.1007/s10706-017-0265-1
- Rashid, A. S., Tabatabaei, S. A., & S, H. (2019). Shear Strength Improvement of Lateritic Soil Stabilized by Biopolymer Based Stabilizer. *Geotechnical and Geological Engineering*, 37(1), 5533–5541. doi:10.1007/s10706-019-00944-8
- Rehman, M. A., & Jafri, T. (2020). Stabilization of Low Plastic and High Plastic Clay Using Guar Gum Biopolymer. *Journal of Applied Research on Industrial Engineering*, 7(4), 329-343. doi:10.22105/jarie.2020.247859.1195
- Sawangsurriya, A., Fall, M., & Fratta, D. (2008). Wave-Based Techniques for Evaluating Elastic Modulus and Poisson's Ratio of Laboratory Compacted Lateritic Soils. *Geotechnical and Geological Engineering*, 26(5), 567-578. doi:10.1007/s10706-008-9190-7
- Sorensen, K., & Okkels, N. (2013). Correlation Between Drained Shear Strength and Plasticity Index of Undisturbed Overconsolidated Clays. *Proceedings of the 18th international conference on soil mechanics and geotechnical engineering. I*, hal. 423–428. Presses des Ponts.
- Sujatha, E. R., Atchaya, S., & Sivasaran, A. (2020). Enhancing The Geotechnical Properties of Soil Using Xanthan Gum—an Eco-Friendly Alternative to Traditional Stabilizers. *Bulletin of Engineering Geology and the Environment*, 80, 1157–1167. doi:10.1007/s10064-020-02010-7
- Summerbell, D. L., Barlow, C. Y., & Cullen, J. M. (2016). Potential Reduction of Carbon Emissions by Performance Improvement: A Cement Industry Case Study. *Journal of Cleaner Production*, 135, 1327-1339. doi:10.1016/j.jclepro.2016.06.155
- Tomlinson, M. J. (2001). *Foundation Design and Construction* (7th ed.). Pearson Education.
- Ullah, R., Abdullah, R. A., Kassim, A., & Yunus, N. H. (2021). Assessment of Residual Soil Properties for Slope. *International Journal of GEOMATE*, 21(86), 72-80. doi:10.21660/2021.86.j2282

Wesley, L. D. (2010). *Geotechnical Engineering in Residual Soils*. John Wiley & Sons, Inc.