

**PENGARUH RETAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG :
PENDEKATAN SECARA ANALITIK DAN NUMERIK**

TESIS

Program Studi

Magister Teknik Sipil (Geoteknik)



Oleh :

MUTTIAH KHOIRINI

NIM. 212710017

**PROGRAM PASCA SARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BINA DARMA
PALEMBANG
2026**

**PENGARUH RETAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG :
PENDEKATAN SECARA ANALITIK DAN NUMERIK**



Tesis ini diajukan sebagai salah satu syarat
untuk memperoleh gelar

MAGISTER TEKNIK SIPIL

Oleh :

MUTTIAH KHOIRINI

NIM. 212710017

**PROGRAM PASCASARJANA
PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
UNIVERSITAS BINA DARMA
PALEMBANG
2026**

Halaman Pengesahan Pembimbing Tesis

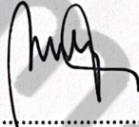
Judul Tesis: PENGARUH RETAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG :
PENDEKATAN SECARA ANALITIK DAN NUMERIK

Oleh Muttiah Khoirini, NIM 212710017, Tesis ini telah disetujui dan disahkan oleh Tim
Penguji Program Studi Teknik Sipil – S2 konsentrasi Geoteknik, Program Pascasarjana
Universitas Bina Darma pada 12 Februari 2026 dan telah dinyatakan LULUS.

Palembang, 12 Februari 2026
Mengetahui,
Program Studi Teknik Sipil – S2
Universitas Bina Darma
Ketua,


Universitas Bina Darma
Magister Teknik Sipil
Dr. Ir. Firdaus, S.T., M.T.

Pembimbing,

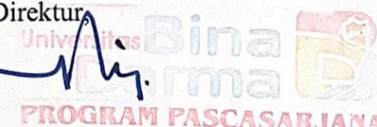

Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.

Halaman Pengesahan Penguji Tesis

Judul Tesis: PENGARUH RETAKAN TERHADAP STABILITAS LERENG :
PENDEKATAN SECARA ANALITIK DAN NUMERIK

Oleh Muttiah Khoirini, NIM 212710017, Tesis ini telah disetujui dan disahkan oleh Tim
Penguji Program Studi Teknik Sipil – S2 konsentrasi Geoteknik, Program Pascasarjana
Universitas Bina Darma pada 12 Februari 2026 dan telah dinyatakan LULUS.

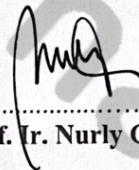
Palembang, 12 Februari 2026
Mengetahui,
Program Pascasarjana
Universitas Bina Darma
Direktur



PROGRAM PASCASARJANA

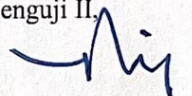
.....
Prof. Dr. Ir. Achmad Syarifudin, M.Sc.

Penguji I,



.....
Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.

Penguji II,



.....
Prof. Dr. Ir. Achmad Syarifudin, M.Sc.

Penguji III,



.....
Alfrendo Satyanaga, S.T., M.Sc., Ph.D.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Muttiah Khoirini

NIM : 212710017

Dengan ini menyatakan bahwa:

1. Karya tulis Saya (Tesis, Skripsi, Tugas Akhir) ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik baik (Magister, Sarjana, dan Ahli Madya) di Universitas Bina Darma;
2. Karya tulis ini murni gagasan, rumusan dan penelitian Saya sendiri dengan arahan tim pembimbing;
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat yang telah ditulis atau dipublikasikan orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dikutip dengan mencantumkan nama pengarang dan memasukkan ke dalam daftar pustaka;
4. Karena yakin dengan keaslian karya tulis ini, Saya menyatakan bersedia Tesis/Skripsi/Tugas Akhir, yang Saya hasilkan di unggah ke internet;
5. Surat Pernyataan ini Saya tulis dengan sungguh-sungguh dan apabila terdapat penyimpangan atau ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka Saya bersedia menerima sanksi dengan aturan yang berlaku di perguruan tinggi ini.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat agar dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Palembang, 12 Februari 2026
Yang Membuat Pernyataan,



Muttiah Khoirini
NIM: 212710017

ABSTRAK

Artikel ini menyajikan analisis analitik dan numerik terhadap lereng dengan mempertimbangkan pengaruh retakan pada puncak lereng (crest). Metode analitik dilakukan dengan asumsi lereng tanah dalam kondisi jenuh, sedangkan metode numerik menggunakan program SLOPE/W. Kedua metode tersebut didasarkan pada pendekatan kesetimbangan batas (limit equilibrium). Analisis dilakukan pada lereng tanah liat setinggi 10 meter dengan kemiringan 55° (2 vertikal : 1 horizontal). Tiga kondisi dipertimbangkan: lereng tanpa retakan, lereng dengan retakan kering, dan lereng dengan retakan yang terisi air. Metode Simplified Bishop yang terintegrasi dalam SLOPE/W digunakan untuk mengidentifikasi bidang gelincir kritis pada lereng tanpa retakan. Untuk lereng dengan retakan, bidang gelincir diasumsikan berasal dari lokasi retakan di puncak lereng. Baik analisis analitik maupun numerik menunjukkan tren yang serupa pada Faktor Keamanan (FK) yang dihasilkan. Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa keberadaan dan kondisi retakan secara signifikan memengaruhi stabilitas lereng. Berdasarkan analisis Analitik, untuk lereng tanpa retakan, nilai FK adalah 1,648. Keberadaan retakan sedalam 1 meter menyebabkan FK turun dari 1,648 menjadi 1,416. Ketika retakan tersebut terisi air, FK turun lebih jauh dari 1,416 menjadi 0,670 dan terjadi keruntuhan. Analisis Numerik memberikan hasil yang sama dengan metode Analitik. Studi ini menunjukkan bahwa keberadaan retakan permukaan harus dipertimbangkan dalam analisis stabilitas lereng.

Kata Kunci: kegagalan lereng, simulasi numerik, retakan, metode limit equilibrium, faktor keamanan.

ABSTRACT

This article presents an analytical and numerical analysis of slopes, considering the influence of crack formation at the crest. The analytical method was conducted under the assumption of a saturated soil slope, while the numerical method utilized the SLOPE/W program. Both methods are based on the limit equilibrium approach. The analysis was performed on a 10-meter-high clay slope with a gradient of 55° (2 vertical: 1 horizontal). Three conditions were considered: a slope without cracks, a slope with dry cracks, and a slope with water-filled cracks. Simplified Bishop method integrated in SLOPE/W was employed to identify the critical failure plane for the slope without a crack by defining the entry and exit points along the crest, surface, and toe of the slope. For slopes with cracks, the failure plane is assumed to originate from the crack location at the crest. Both analytical and numerical analysis shows similar trends on the resulting FOS. The results of numerical analysis indicate that the presence and condition of cracks significantly influence slope stability. The results of analytical analysis show that Factor of Safety (FOS) decreased with the existence of crack. For the slope without cracks, the FOS was 1.648. The presence of a 3-meter depth crack caused the FOS to decrease from 1.648 to 1.416. When the crack was filled with water, the FOS dropped further from 1.416 to 0.670. Numerical analysis gives the same trends for Factor of safety. This study demonstrates that the presence of surface cracks must be considered in slope stability analysis.

Keywords: slope failure, numerical simulation, crack, limit equilibrium method, factor of safety,

HALAMAN MOTTO

- *Cintai diri sendiri sebelum mencintai orang lain, kamu tetap menjadi bunga yang cantik tak peduli seberapa banyaknya goresan yang ada di dirimu, begitupun bunga, punya waktu yang berbeda untuk tumbuh dan bermekaran.*



HALAMAN PERSEMBAHAN

Bismillahirrahmanirrahim

Alhamdulillah Rabbil'alam, Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas segala rahmat serta pertolongannya selama ini. Sehingga saya dapat menyelesaikan tesis saya dengan baik tidak lain atas izin Allah SWT dan doa dari kedua orangtua saya, suami dan anak.

Dengan ini saya persembahkan karya ini untuk Alm. Bapak Ir. Gaib Bakri dan Ibu Muliana Halid yang sangat saya sayangi dan saya cintai. Untuk suami tercinta Fahensyah Viorenza, SST. Serta anak saya Siti Hanna Azalia.

Terima kasih atas limpahan doa serta semangat dengan sepenuh hati, yang selalu menjadi tempat pulang ternyaman dan selalu memberikan pengertian yang luar biasa sehingga saya dapat menyelesaikan tesis ini.

Terima kasih kepada dosen pembimbing saya Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., P.hD. yang selalu membimbing dan meluangkan waktunya untuk memberikan ilmu serta arahan kepada saya agar menyelesaikan tesis ini.

Terima kasih juga kepada dosen-dosen fakultas Teknik Sipil atas ilmu dan bimbingannya, para staff Universitas Bina Darma terkhusus Sekretariat Pascasarjana Universitas Bina Darma.

Terima kasih untuk teman-teman saya yang selalu mensupport saya dan selalu mendengarkan semua keluhan saya selama mengerjakan tesis ini.

-Muttiah Khoirini-

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim.

Puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul **“Pengaruh Retakan Terhadap Stabilitas Lereng : Pendekatan Secara Analitik dan Numerik”**.

Tesis ini disusun adalah untuk memenuhi salah satu syarat kelulusan dalam meraih gelar Magister (S2) pada program studi Teknik Sipil, Konsentrasi Geoteknik Universitas Bina Darma Palembang.

Dengan sukarela kerendahan hati diakui bahwa dalam tesis ini masih banyak kelemahan dan kekurangan. Semua itu disebabkan kurangnya pengetahuan dan pengalaman penulis, karenanya mohon dimaklumi.

Dalam kesempatan ini penulis dengan segala kerendahan hati ingin menyampaikan banyak terima kasih kepada pihak yang memberikan dorongan dan bantuan, terkhusus kepada:

1. Ibu Dr. Sunda Ariana, M.Pd., M.M. selaku Rektor Universitas Bina Darma Palembang.
2. Prof. Dr. Ir. Achmad Syarifuddin, M.Sc. selaku Direktur Program Pascasarjana Universitas Bina Darma Palembang.
3. Bapak Dr. Ir. Firdaus, S.T., M.T. selaku Kaprodi Program Studi Teknik Sipil – S2 Universitas Bina Darma Palembang.
4. Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., P.hD. selaku pembimbing saya yang telah sabar dan selalu meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan arahan kepada saya.
5. Seluruh dosen, staff Fakultas Teknik Sipil Universitas Bina Darma Palembang atas segala ilmu dan bantuan yang selalu diberikan.

6. Ungkapan terima kasih dan penghargaan special penulis haturkan dengan rendah hati kepada kedua orangtua tercinta Alm. Bpk. Ir. Gaib Bakri dan Ibu Muliana Halid, suami tercinta Fahensyah Viorenza, SST. Serta anak Siti Hanna Azalia yang selalu memberikan doa dan dukungan yang sangat luar biasa.
7. Kepada teman teman yang selalu memberikan support, saling membantu dalam penyusunan tesis ini berlangsung

Penulis menyadari bahwa tesis ini tentunya masih banyak kekurangan dalam penulisannya. Oleh karena itu kritik dan saran yang dapat membantu penulis, sangat di harapkan .

Palembang, Februari 2026

Peneliti

Muttiah Khoirini

DAFTAR ISI

COVER DEPAN	
COVER DALAM.....	
HALAMAN PENGESAHAN PEMBIMBING.....	
HALAMAN PENGESAHAN PENGUJI	
SURAT PERNYATAAN.....	
ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	ii
MOTO DAN HALAMAN PERSEMBAHAN	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI.....	v
DAFTAR TABEL	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian.....	4
1.4 Ruang Lingkup Penelitian	4
1.5 Sistematika Penulisan.....	4
BAB II KAJIAN PUSTAKA	6
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	26
3.1 Rancangan Penelitian	26
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	30
4.1 Hasil Pendekatan Secara Analitik	30
4.2 Hasil Pendekatan Secara Numerik	35
4.3 Hasil Perbandingan Analitik dan Numerik.....	38
BAB V KESIMPULAN	39
DAFTAR PUSTAKA	40

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Parameter Jenis Pergerakan Tanah	11
Tabel 2.2	Signifikasi Angka Keamanan (n) untuk Lereng	13
Tabel 4.1	Hasil Perbandingan Analisis Analitik dan Numerik	38



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Longsor Dibagian Atas	16
Gambar 2.2	Longsor melalui kaki.....	16
Gambar 2.3	Longsor melalui dasar pondasi.....	17
Gambar 2.4	<i>Translational Slip</i>	17
Gambar 2.5	<i>Compound Slip</i>	18
Gambar 2.6	Geometri Lereng dan Data Data Tanah	20
Gambar 2.7	Stabilisasi Lereng dengan Metode <i>Simplified Bishop</i>	22
Gambar 2.8	Nilai M_i untuk Persamaan Bishop	23
Gambar 2.9	Tampilan <i>Software</i> Geostudio Slope/W 2018	24
Gambar 3.1	Diagram Bagan Alir	26
Gambar 4.1	Sudut $\alpha - \beta - \delta$	31
Gambar 4.2	Lereng Tanpa Retakan	31
Gambar 4.3	Lereng dengan Retakan Kondisi kering.....	33
Gambar 4.4	Lereng dengan Retakan yang Jenuh Air	34
Gambar 4.5	Penampang Lereng.....	35
Gambar 4.6	Penampang Lereng tanpa Retakan	36
Gambar 4.7	Penampang Lereng dengan Retakan Kondisi Kering	37
Gambar 4.8	Penampang Lereng dengan Retakan Berisi Air	37

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lereng yang mengalami kegagalan telah diidentifikasi menjadi salah satu bencana alam paling umum terjadi di negara-negara tropis. Kegagalan lereng diartikan sebagai tanah yang bergerak atau batuan ke arah bawah lereng sepanjang bidang geser yang terdefinisi dengan baik, yang dapat terjadi sebagai longsoran rotasional atau translasi. Longsor terjadi ketika tegangan geser yang berkembang dalam tanah melebihi nilai resistansi geser yang sesuai pada bidang gelincir potensial. Analisis stabilitas lereng adalah sederhana, namun menentukan lokasi awal kegagalan dan bentuk bidang gelincir atau bidang kegagalan adalah hal yang rumit. Longsoran dapat terjadi sepanjang berbagai kemungkinan bidang gelincir (Gofar & Kassim, 2007).

Pergerakan material penyusun lereng seperti batu, tanah atau campuran yang bergerak turun atau menjauh dari lereng dikenal dengan istilah tanah longsor. Runtuhnya lereng merupakan pergerakan massa pada lereng dengan kemiringan minimal 20° yang berlangsung dengan cepat terkadang tanpa adanya tanda-tanda sebelumnya (Gofar dan Kassim, 2007). Namun selain kondisi longsor akibat curah hujan yang tinggi, indikasi adanya retakan juga menjadi penyebab terjadinya

longsor. Panas yang berkepanjangan selama musim kering mengakibatkan air menguap dari permukaan tanah dalam jumlah yang besar. Hal ini menyebabkan

pembentukan pori- pori atau rongga di dalam tanah, yang pada gilirannya menyebabkan retakan dan pemecahan tanah permukaan (Zhang, dkk 2012). Longsor terjadi ketika tanah tidak lagi memiliki kemampuan menahan beban lapisan tanah yang berada dibagian atas disebabkan oleh penambahan bobot pada permukaan kemiringan dan hilangnya daya lekat antar partikel tanah (Handayani, 2014) . Terkait dengan curah hujan, banyak kejadian tanah longsor disebabkan oleh : (1) gaya rembesan dan erosi rembesan, (2) hilangnya kekuatan geser tanah, dan (3) terbentuknya retakan-retakan tegangan. Mekanisme mana yang akan dominan tergantung terutama pada bentuk relative kurva karakteristik tak jenuh tanah (Collins dan Znidaric, 2004).

Pada tanah yang retak, air berada di bagian matriks tanah dan bagian jaringan retakan. Oleh karena itu, keberadaan retakan yang kering membutuhkan analisis rembesan yang tidak hanya mempertimbangkan bagian matriks tanah tetapi juga jaringan retakan . Rembesan merupakan masalah penting yang dianalisis dalam rekayasa geoteknik. Masalah ini berkisar dari rembesan pada lereng akibat resapan air hujan dan rembesan pada ladang pertanian hingga rembesan dari kolam limbah cair (Sugeng & Harianto, 2006).

Melihat banyak bencana disebabkan longsor banyak peneliti melakukan penelitian tentang longsor ini diantaranya ialah (Ismail,dkk. 2022) Peneliti berkesimpulan bahwa dalamnya retakan akan membuat perubahan besar pada tingkat air tanah. Hal ini disebabkan oleh kedekatan retakan dengan muka air tanah, yang memungkinkan air menembus dengan cepat dan membentuk pola rembesan. Dampaknya berupa peningkatan tingkat air tanah dari bagian bawah lereng ke

bagian puncak, karena area tanah yang jenuh semakin luas di sekitar retakan.

Kemudian selanjutnya penelitian yang dilakukan oleh Gofar, dkk (2006). pada penelitian yang dilakukan ialah analisis transien pada longsor Air Laya mengindikasikan bahwa penyebab utama longsor adalah terbentuknya retakan-retakan akibat musim kemarau yang berkepanjangan pada tanah permukaan yang memiliki potensi kembang susut yang tinggi. Adanya retakan tegangan yang dalam pada bagian puncak telah memberikan jalan bagi air untuk berfiltrasi jauh ke dalam lapisan 2, menyebabkan gaya rembesan dan aliran air secara horizontal melalui lapisan tersebut, meningkatkan kadar air, dan oleh karena itu mengurangi kohesi tanah.

1.2 Rumusan Masalah

Rumusan masalah dalam penelitian ini berfokus pada pengaruh retakan terhadap Stabilisasi Lereng menggunakan Pendekatan Analitik dan Numerik berdasarkan metode keseimbangan batas 2-D (LEM). Tiga kondisi yang dipertimbangkan yaitu, lereng tanpa retakan, lereng dengan retakan kering dan lereng dengan retakan yang terisi air.

Prosedur analisis analitik diuraikan (Gofar dan Kassim, 2007) diikuti Slope/W yang terintegrasi dalam perangkat lunak Geostudio 2018 digunakan untuk analisis numerik. Metode penyederhanaan Bishop diadopsi dalam studi ini untuk menghitung faktor keamanan lereng.

1.3 Tujuan dan Manfaat Penelitian

Pada penelitian ini memiliki tujuan dan manfaat yang ingin dicapai, antara lain :

1. Menganalisa pengaruh retakan dan keberadaan air dalam retakan terhadap stabilisasi lereng menggunakan metode analitik
2. Menganalisa pengaruh retakan dan keberadaan air dalam retakan terhadap stabilisasi lereng menggunakan metode numerik yaitu program Slope/W
3. Membandingkan hasil perhitungan dengan metode analitik dan numerik

Adapun Manfaat penelitian ini adalah untuk memahami mekanisme tanah longsor yang terjadi. Menekankan perlunya pengawasan terhadap kondisi lereng dan melakukan perbaikan lereng dengan segera apabila ditemukan adanya retakan pada permukaan lereng.

1.4 Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup yang dibatasi pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penelitian dilakukan menggunakan Program Geostudio *Slope/W* dan perhitungan numerik dengan ketinggian lereng : 10 meter, kemiringan lereng: 55° , dan jenis tanah lempung (*clay*).
2. Penelitian ini dibahas untuk membandingkan hasil perhitungan faktor keamanan yang memanfaatkan program Geostudio Slope/W melalui metode perhitungan numerik dengan perhitungan melalui metode *Simplified Bishop*.

1.5 Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini disajikan dalam beberapa bab, yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Berisi latar belakang penelitian, perumusan masalah, tujuan dan manfaat penelitian, ruang lingkun dan sistematika penelitian.

BAB II KAJIAN PUSTAKA

Berisi tentang teori-teori yang akan digunakan dalam menganalisi faktor keamanan lereng, antara lain : Program Geostudio *Slope/W*, perhitungan numerik dengan analisis stabilitas lereng lempung ($\phi = 0$).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini menguraikan metode analisis analitik dan numerik yang digunakan pada penelitian ini yaitu Program Geostudio 2018 *Slope/W*, serta perhitungan numerik dengan analisis stabilitas lereng lempung ($\phi = 0$).

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini membahas tentang hasil dari penelitian yang dilakukan

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini membahas hasil yang disimpulkan pada bab sebelumnya, dan memberikan saran untuk penelitian kedepan.

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Landasan Teori

Prinsip analisis stabilisasi lereng sangat sederhana : Bahwa longsor akan terjadi jika tekanan geser tanah dikembangkan melebihi resistensi geser pada tanah. Bagian yang tidak begitu sederhana adalah menemukan lokasi di mana kegagalan dimulai . longsor kemungkinan terjadi di sepanjang permukaan. Terlebih lagi kekuatan geser tanah pada umumnya bervariasi dengan lokasi dan sepanjang waktu. Ini juga bervariasi dengan kelembaban tanah dan beberapa faktor lainnya. Oleh karena itu, merupakan hal yang umum dalam prakteknya untuk menekankan faktor keselamatan dalam analisis stabilitas lereng, faktor keselamatan 1,25 sampai 1,4 dianggap sesuai untuk lereng alami serta galian dan timbunan, tetapi untuk desain bendungan, diperlukan faktor keamanan yang lebih tinggi (Gofar, & Kasim 2007)

2.1.1 Tanah

Tanah lempung merupakan tanah yang mengandung berbagai partikel mineral sehingga tanah ini menjadi lentur ketika bercampur dengan air (Royani 2016).

Tanah pasir adalah jenis tanah yang memiliki butiran yang lebih besar. Bahan ini berasal dari Tanah batuan beku dan sedimen dengan butiran besar dan kasar atau yang sering dikenal dengan kerikil. Tanah ini sebagian besar terdiri dari partikel dengan ukuran 0,02mm - 2 mm sehingga daya resap airnya rendah. Unsur yang terkandung di dalam tanah pasir adalah fosfor dan kalium dengan sedikit mengandung unsur nitrogen didalamnya.

Tanah longsor merupakan bergeraknya material tanah atau bebatuan , maupun gabungan keduanya menuruni lereng akibat kestabilan tanah terganggu (UU No 24 Tahun 2007). Sedangkan Rochmawati dan Tonggiroh (2019), mendefinisikan tanah longsor ialah proses tanah yang bergerak turun akibat terganggunya stabilitas dari tanah atau batuan yang membentuk lereng tersebut. Lereng yang seimbang merupakan lereng yang tidak mengalami kelongsoran atau stabil. Ketika terdapat sesuatu hal yang mengganggu keseimbangan lereng, maka akan muncul suatu kondisi dimana lereng tidak lagi seimbang. Ketika muncul ketidakstabilan, lahirlah kondisi yang tidak teratur, namun kondisi tersebutlah yang menyebabkan upaya untuk mencari keseimbangan berkembang (Zakaria, 2010).

Pengertian dari longsor adalah berpindahnya material berupa tanah, bermacam bebatuan atau material campuran yang arah gerakannya menuju ke bawah. Proses terjadi longsor yaitu ketika air meresap kedalam lapisan tanah mengisi bagian pori akan menambah massa tanah. Apabila air sampai kedalam tanah *impermeable* yang berfungsi sebagai bidang gelincir, maka lapisan tanah menjadi licin dan pelapukan di atasnya akan bergerak menuju keluar lereng (Muntohar, 2009).

Longsoran adalah bergeraknya tanah dan batuan yang terjadi di permukaan tanah yang berpotensi terjadinya longsor. Gerakan masa merujuk pada berpindahnya material yang menyusun lereng, contohnya terdiri dari tanah, batu atau material lain yang bergerak ke arah bawah. Bila gerakan massa tanah berlebihan, maka disebut tanah longsor. (Utomo, 2018).

Menurut Zakaria (2009) jenis-jenis tanah longsor dibagi dalam beberapa klasifikasi sebagai berikut :

1. Jatuhan (*fall*)

Jatuhan adalah perpidahan tanah atau batuan melalui udara berupa, loncatan, jatuh bebas, maupun menggelindingnya bongkah batu. Yang tergolong pada gerakan ini adalah runtuh batu, runtuh tanah, maupun material pecahan.

2. Longsor gelincir (*slides*)

Slides terjadi ketika lereng mengalami keruntuhan yang terjadi di beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. *Slides* dibedakan menjadi dua jenis. Disebut gerak translasi jika material penyusunnya banyak mengalami perubahan. Sedangkan gerak rotasional terjadi apabila material penyusun lereng tidak mengalami banyak berubah.

3. Aliran (*flow*)

Gerakan yang terjadi pada material tak terkonsolidasi, umumnya dipengaruhi oleh jumlah kandungan kadar air tanah. Bidang longsor umumnya sulit dikenali. Aliran dibedakan menjadi dua yaitu aliran kering yang meliputi aliran pasir, aliran batu, sedangkan aliran basah dapat berupa aliran tanah cepat dan lambat, aliran pasir lanau, aliran lumpur, dan aliran bahan rombakan.

4. Rayapan (*creep*)

Gerakan pada rayapan cenderung melambat, rayapan (*creep*) dibagi menjadi tiga kategori, yaitu musiman, rayapan berlangsung terus-menerus dan rayapan melaju yang terkait dengan lereng atau perpindahan massa lainnya.

5. Gerakan horizontal (*lateral spread*)

Gerak yang terjadi akibat bergesernya bentangan material bebatuan secara horizontal. Umum kaitannya dengan jatuhnya mineral dan luncuran lumpur yang

termasuk dalam kategori longsoran majemuk. Materi yang terlibat dalam pergerakan ini adalah lempung atau pasir yang mengalami luncuran akibat getaran tanah.

Tabel 2. 1 Parameter Jenis Pergerakan Tanah
(Sumber: Zakaria, 2009)

Jenis gerakan (type of movement)			Jenis Material (type of material)		
			Batuan dasar (bedrock)	Tanah keteknikan (engineering soils)	
				Bebas, butir kasar (freedom, coarse)	Berbutir halus (predominantly fine)
Jatuhan (falls)			Jatuhan batu (rock fall)	Jatuhan bahan rombakan (debris fall)	Jatuhan tanah (earth fall)
Jungkiran (topple)			Jungkiran batu (rock topple)	Jungkiran bahan rombakan (debris topple)	Jungkiran tanah (earth topple)
	Rotasi	Saluran sedikit (few units)	Nendatan batu (rock slump)	Nendatan bahan rombakan(debris slump)	Nendatan tanah (earth slump)
	Translasi	Saluran banyak (many units)	Luncuran bongkah batu (rock block slide)	Luncuran bongkah bahan rombakan (debris block slide)	Luncuran bongkah tanah (earth block slide)
			Luncuran batu (rock slide)	Luncuran bahan rombakan (debris slide)	Luncuran tanah (earth slide)
Gerak horisontal / bentang lateral (lateral spreads)			Bentang lateral batu (rock spread)	Bentang lateral bahan rombakan (debris spread)	ng lateral tanah (earth sp
Aliran (flow)			Aliran batu / rayapan dalam (rock flow / deep creep)	Aliran bahan rombakan(debris flow)	Alian tanah (earth flow)
				Rayapan tanah (soil creep)	
Majemuk (complex)			Gabungan dua atau lebih gerakan (combination two or more movement)		

Longsor terjadi akibat dari terganggunya stabilitas tanah atau batuan pada lereng (Naryanto, 2008). Faktor yang berpengaruh terhadap terjadinya longsor :

1. Faktor Geologi

Struktur geologi (seperti pertemuan batuan dasar dengan pelapukan batuan retakan pada permukaan lapisan batuan); sifat batuan secara alamiah (komposisi mineral, ukuran butir tekstur tanah/batuan); tidak adanya lagi daya rekat tanah akibat proses pelarutan; dan terjadinya gempa bumi.

2. Kemiringan Lereng

Salah satu faktor yang berpengaruh dalam proses longsor adalah kemiringan lereng. Lereng dengan sudut kemiringan lebih dari 15° perlu diperhatikan. Apabila lereng terjal di bagian tengah terganggu dikarenakan pemotongan lereng yang tegak dengan tingggi melebihi tebal tanah penutup, maka tanah penutup tersebut akan mudah meluncur dengan gerakan yang cepat.

3. Hidrologi

Meningkatnya curah hujan menjadi penyebab air masuk melalui celah tanah tanah sehingga menjadi genangan air. Air permukaan dari curah hujan meresap ke dalam tanah atau batuan melalui pori-pori tanah sehingga menyebabkan bobot tanah semakin meningkat, sedangkan kohesi dan kekuatan gesernya berkurang atau turun yang menyebabkan tanah rentan longsor.

4. Faktor Tata Guna Lahan

Tidak adanya vegetasi hijau di dataran tinggi secara otomatis akan berpengaruh terhadap hilangnya fungsi akar tumbuhan sebagai pengikat butir-butir tanah sekaligus menjaga pori-pori tanah dibawahnya sehingga proses infiltrasi terhambat dan akan berpengaruh terhadap kestabilan tanah.

5. Aktivitas Manusia

Seiring berjalannya waktu populasi penduduk semakin meningkat yang menyebabkan aktivitas manusia semakin bertambah seperti penambahan beban bangunan, pemotongan lereng, penggalian, dan pembuatan terowongan.

2.1.2 Analisis Stabilitas Lereng

Menurut Surendro (2015), suatu massa tanah yang mempunyai perbedaan elevasi pada permukaannya selalu ada indikasi bahwa sebagian tanah tersebut akan mengalami longsor.

Longsor terjadi apabila gaya geser yang terjadi pada tanah (T) lebih besar daripada gaya tahan gesernya (N) dengan kata lain $n = N/T < 1$. Pernyataan tersebut merupakan teori yang kelihatannya sangat sederhana, tetapi kenyataannya di lapangan memerlukan analisis stabilitas yang teliti dan cukup rumit. Faktor keamanan lereng memiliki signifikansi yang berbeda-beda tergantung dari kebutuhan dan penggunaannya. Adapun nilai faktor keamanan sebagai dasar perencanaan agar suatu lereng aman terhadap bahaya longsor ditunjukkan pada Tabel 2.2

Tabel 2. 2 Signifikasi angka keamanan (n) untuk lereng

No	Angka Keamanan	Signifikansi
1	Kurang dari 1,00	Tidak aman
2	1,00 – 1,20	Diragukan
3	1,30 – 1,40	Memuaskan untuk galian, timbunan, untuk bendungan masih perlu diragukan
4	1,50 – 1,75	Aman untuk bendungan

(Sumber : Surendro, 2015)

Menurut Hardiyatmo (2012), analisis stabilitas lereng pada umumnya berdasarkan pada konsep keseimbangan plastis batas (*limit plastic equilibrium*). Analisis stabilitas berfungsi untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor yang tidak stabil. Digunakan beberapa anggapan yaitu:

- Proses longsor terjadi di sepanjang permukaan bidang gelincir.
- Massa tanah yang meluncur keluar lereng disebut benda masif.
- Faktor aman merupakan rasio antara kuat geser rata-rata terhadap tegangan geser rata-rata di sepanjang bidang longsor. Walaupun terdapat variasi kekuatan tanah di tiap titik pias, lereng dinyatakan stabil apabila faktor amannya memiliki nilai $F > 1$.

Faktor keamanan ialah perbandingan antara gaya yang menahan dan gaya yang bersifat menggeser, atau:

$$F = \frac{\tau}{\tau_d} \dots\dots\dots(2.1)$$

Parameter F didefinisikan sebagai faktor aman, yang merupakan rasio antara tahanan geser maksimum (τ) terhadap tegangan geser yang terjadi (τ_d). Tegangan τ_d tersebut muncul sebagai respon terhadap gaya berat massa tanah guna menjaga stabilitas atau kesetimbangan lereng.

Sesuai dengan teori Mohr-Coulomb, besarnya tahanan geser maksimum (τ) tanah di sepanjang bidang longsor dirumuskan dengan :

$$\tau = c + \sigma \tan \phi \dots\dots\dots(2.2)$$

Dengan:

τ = tahanan geser maksimum

c = kohesi tanah

σ = tegangan normal

ϕ = sudut gesek dalam tanah.

Nilai c dan ϕ merupakan parameter utama kuat geser tanah di sepanjang bidang longsor. Berdasarkan beban tanah dan beban luar yang bekerja, persamaan tegangan geser yang terjadi (τ_d) pada bidang tersebut dapat dituliskan sebagai:

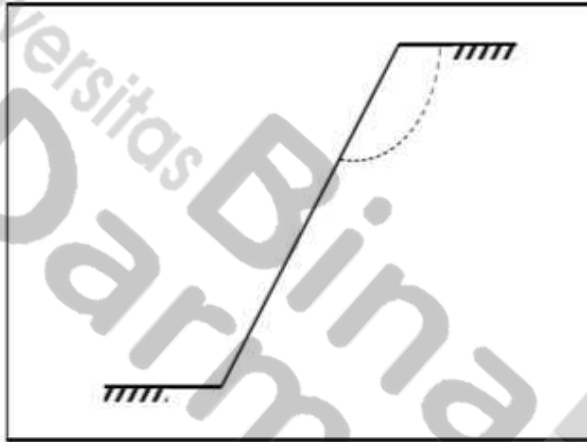
$$\tau_d = cd + \sigma \tan \phi_c \dots\dots\dots(2.3)$$

dengan cd dan ϕ_d adalah kohesi dan sudut gesek dalam yang terjadi atau yang dibutuhkan untuk keseimbangan pada bidang longsoranya.

Pada umumnya bidang longsor berbentuk garis lengkung yang dapat dianggap mendekati lingkaran. Bentuk bidang longsor yang banyak dijumpai di lapangan, antara lain:

a. Longsor di bagian atas saja

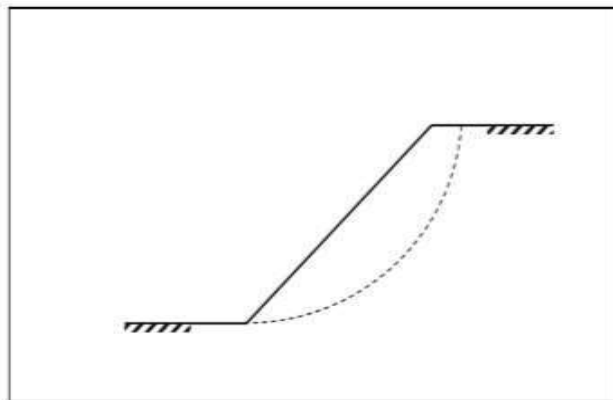
Kelongsoran di bagian atas terjadi apabila tanah bagian atas tidak lebih kuat dibandingkan tanah yang ada dibawahnya. Tanah longsor di bagian atas terdapat pada Gambar 2.1



Gambar 2. 1 Longsor dibagian atas (Sumber: Surendro, 2015)

b. Longsor melalui kaki (*slope failure through toe*)

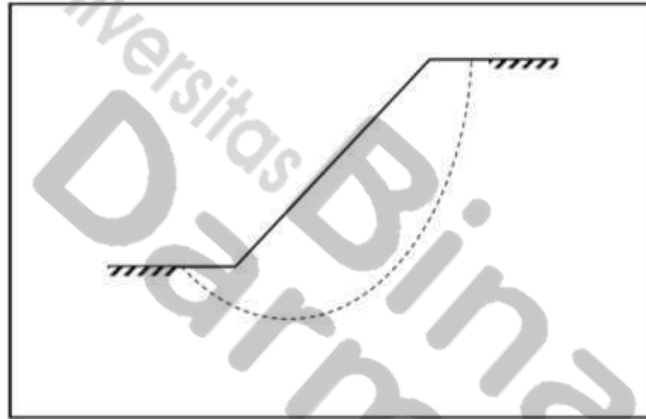
Pada tanah dengan karakteristik homogen, baik dibagian timbuna maupun dasar, sering kali ditemukan fenomena *slope failure through toe*. Penjelasan mengenai pola longsor kaki tersebut dapat merujuk pada Gambar 2.2



Gambar 2. 2 Longsor melalui kaki (Sumber: Surendro, 2015)

c. Longsor sampai dasar fondasi

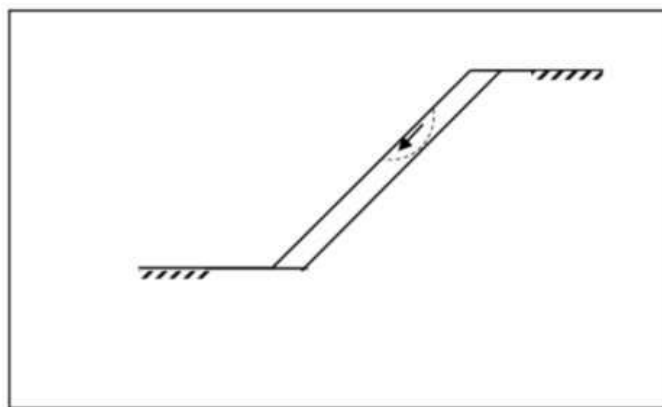
Longsoran seperti ini terjadi akibat sudut gesek dalam sangat kecil atau tanah dasarnya lebih lunak. Tanah longsor sampai dasar pondasi terdapat pada Gambar 2.3



Gambar 2. 3 Longsor melalui dasar pondasi (Sumber: Surendro, 2015)

d. *Translational slip*

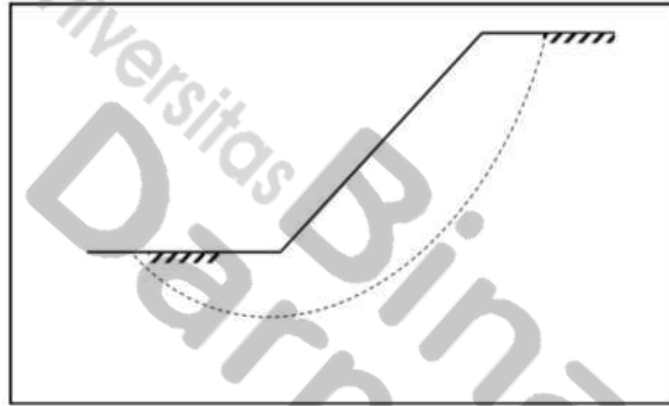
Translational slip atau longsoran translasi biasanya terjadi ketika lereng mempunyai beberapa lapisan dengan kekuatan yang berbeda beda tiap lapisannya. *Translational slip* ditunjukkan pada Gambar 2.4



Gambar 2. 4 *Translational Slip* (Sumber: Surendro, 2015)

e. *Compound slip*

Longsor jenis ini biasanya berbentuk lingkaran tetapi adapula yang berbentuk bidang lurus (pada bagian lapisan berbeda). *Compound slip* dapat dilihat pada gambar 2.5.



Gambar 2 .5 *Compound Slip* (Sumber: Surendro, 2015)

Menurut Surendro (2015), untuk mengetahui faktor keamanan suatu lereng diprediksi dengan *trial and error* untuk berbagai bentuk kelongsoran dan berdasarkan hasil perhitungan angka keamanan. Dari berbagai hasil perhitungan angka keamanan, nilai terkecil merupakan angka keamanan lereng yang dicari. Adapun cara perhitungan stabilitas lereng panjang lereng 1 meter tegak lurus bidang gambar.

2.1.3 Analisis Stabilitas Lereng Tanah Kohesif

Jika lereng berupa tanah lempung homogen, maka hitungan dapat dilakukan secara langsung, faktor keamanan ditentukan oleh ;

$$F = \frac{C_u.La.R}{Wd} \dots\dots\dots(2.4)$$

$$L_a = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi \cdot R^2 \dots\dots\dots(2.5)$$

dengan ;

F = faktor keamanan

W = berat tanah (kN)

L_A = panjang lengkung (m)

C_u = kohesi tanah (kN/m²)

R = jari – jari

d = jarak pusat berat W terhadap O (m)

2.1.4 Analisis Stabilitas Lereng Lempung ($\phi = 0$),

Diperolehlah faktor keamanan untuk analisis analitik stabilitas lereng l dengan $\phi = 0$ dan $c = c_u$ dan terdapat retakan yaitu ;

$$F = \frac{c_u \cdot L_a' \cdot R}{Wd + P_w \cdot y_c} \dots\dots\dots(2.6)$$

$$P_w = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot z_w^2 \dots\dots\dots(2.7)$$

$$L_a' = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi \cdot R \dots\dots\dots(2.8)$$

dimana ;

F = faktor keamanan

W = berat tanah (kN)

L_A' = panjang lengkungan (m)

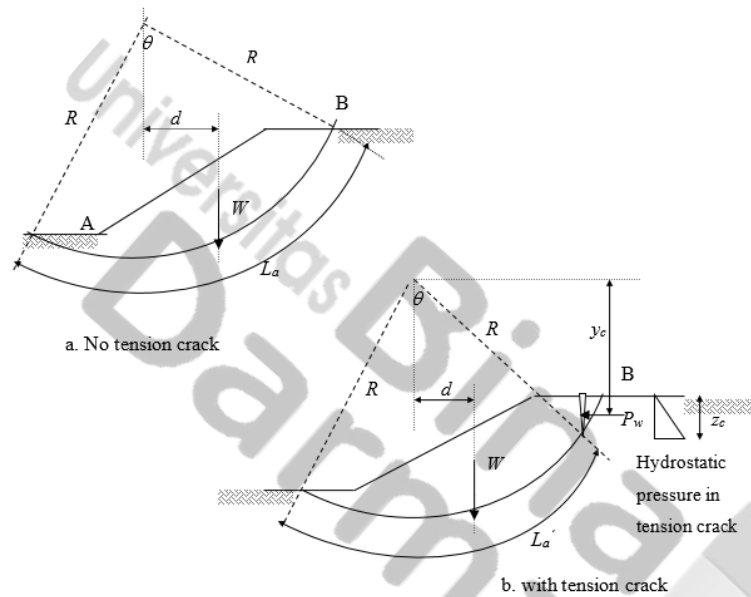
C_u = kohesi tanah (kN/m²)

R = jari – jari (m)

d = jarak pusat berat W terhadap O (m)

z_w = Tinggi retakan (m)

P_w = Gaya Tekanan (kPa)



Gambar 2. 6 Geometri lereng dan data-data tanah (Sumber: Gofar & Kassim, 2007)

2.1.1 Metode *Simplified Bishop*

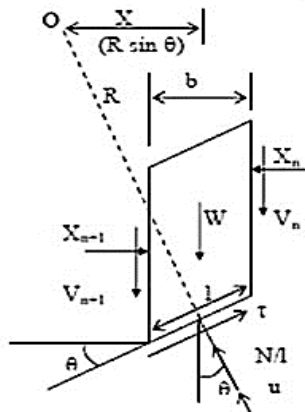
Metode *Simplified Bishop* (Bishop, 1955 dalam Hardiyatmo, 2003:364) menganggap bahwa gaya-gaya yang bekerja pada tiap-tiap pias mempunyai resultan nol pada arah vertikal. Metode Bishop digunakan untuk menganalisis permukaan gelincir (*slip surface*) yang berbentuk lingkaran. Pada metode ini ada beberapa asumsi, diantaranya:

1. Metode ini memperhitungkan gaya-gaya antar pias yang ada dengan bidang longsor diasumsikan berbentuk lingkaran.
2. Hal yang harus diketahui adalah geometri dari lereng, titik pusat longsor, serta letak rekahan.

3. Untuk menentukan titik pusat longsor dan letak rekahan pada lereng dipergunakan grafik.

Metode *Simplified Bishop* merupakan salah satu metode yang populer dalam analisis stabilitas lereng dikarenakan perhitungannya yang cepat, sederhana, dan cukup teliti. Kekurangan menggunakan metode *Simplified Bishop* ialah nilai faktor keamanannya tidak lebih besar dari 5% jika dibandingkan dengan metode Metode Spencer.

Dalam menghitung stabilitas lereng (Gambar 2.7) Metode *Simplified Bishop* mengevaluasi keseimbangan momen berdasarkan interaksi gaya horizontal dan vertikal pada pias-piasnya, serta memungkinkan dilakukannya analisis dalam kondisi tegangan efektif.



Gambar 2.7 Lereng menggunakan Metode *Simplified Bishop*

(Sumber : Hardiyatmo, 2018)

Faktor keamanan dihitung dengan persamaan :

$$FK = \sum \frac{(cb + W \tan \varphi) \frac{1}{M_i}}{W \cdot \sin \theta} \dots \dots \dots (2.9)$$

Dimana:

$$M_i = \cos \theta + \frac{\tan \varphi + \sin \theta}{FK}$$

$$M_i = \frac{1}{\sec \theta} + \left(1 + \frac{\tan \varphi \cdot \tan \theta}{FK}\right) \dots \dots \dots (2.10)$$

Maka :

$$FK = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \theta} \sum \left(\frac{(cb + W \tan \varphi)}{\frac{1}{\sec \theta} + \left(1 + \frac{\tan \varphi \cdot \tan \theta}{FK}\right)} \right)$$

$$FK = \frac{1}{\sum W \cdot \sin \theta} \sum \left(\frac{(\sec \theta (cb + W \tan \varphi))}{\left(1 + \frac{\tan \varphi \cdot \tan \theta}{FK}\right)} \right) \dots \dots \dots (2.11)$$

Dengan keterangan sebagai berikut: FK = faktor keamanan

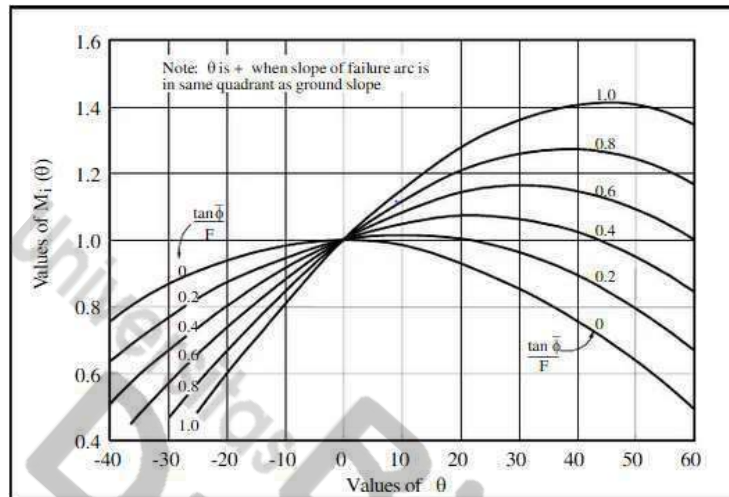
W = berat jenis tanah

cb = kohesi tanah

θ = sudut antara bidang horizontal

φ = sudut gesek dalam

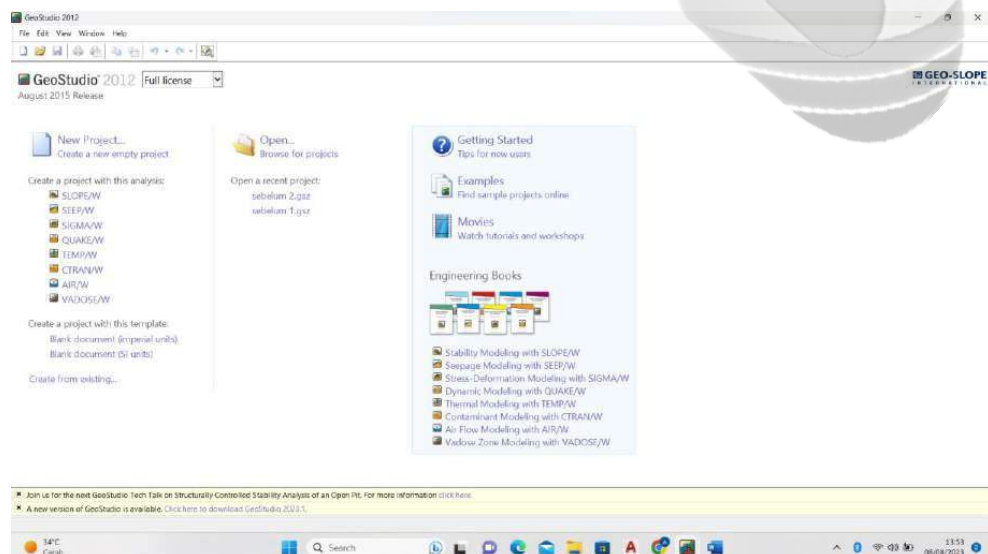
Nilai m.i didapatkan dari Gambar 2.8. Kondisi ini terjadi apabila lingkaran longsor sangat dalam. Faktor keamanan yang diperoleh dengan menggunakan metode Bishop jauh lebih besar bila dibandingkan dengan menggunakan metode Fellenius.



Gambar 2.8 Nilai M_i untuk persamaan Bishop (Sumber: Eveny, 2014)

2.1.5 Software Geostudio Slope/W 2018

Software Geostudio memiliki fleksibilitas dalam penggunaannya, bisa digunakan dikalangan akademisi maupun profesional. Software ini dapat membantu menyelesaikan berbagai macam permasalahan dibidang geoteknik dan



Gambar 2. 9 Software Geostudio Slope/W 2018

Produk perangkat lunak dari Geostudio berupa SLOPE/W digunakan untuk menganalisis permasalahan sederhana sampai dengan kompleks dengan menggabungkan salah satu delapan metode kesetimbangan batas, kondisi tekan pori air, sifat tanah dan pembebanan. Analisis kestabilan lereng pada penelitian ini menggunakan SLOPE/W dengan *input* data properti tanah.



BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Rancangan Penelitian

Rancangan penelitian yang akan di lakukan terbagi menjadi beberapa tahap. Adapun tahapan tersebut antara lain:

1. Tahap persiapan

a. Identifikasi masalah

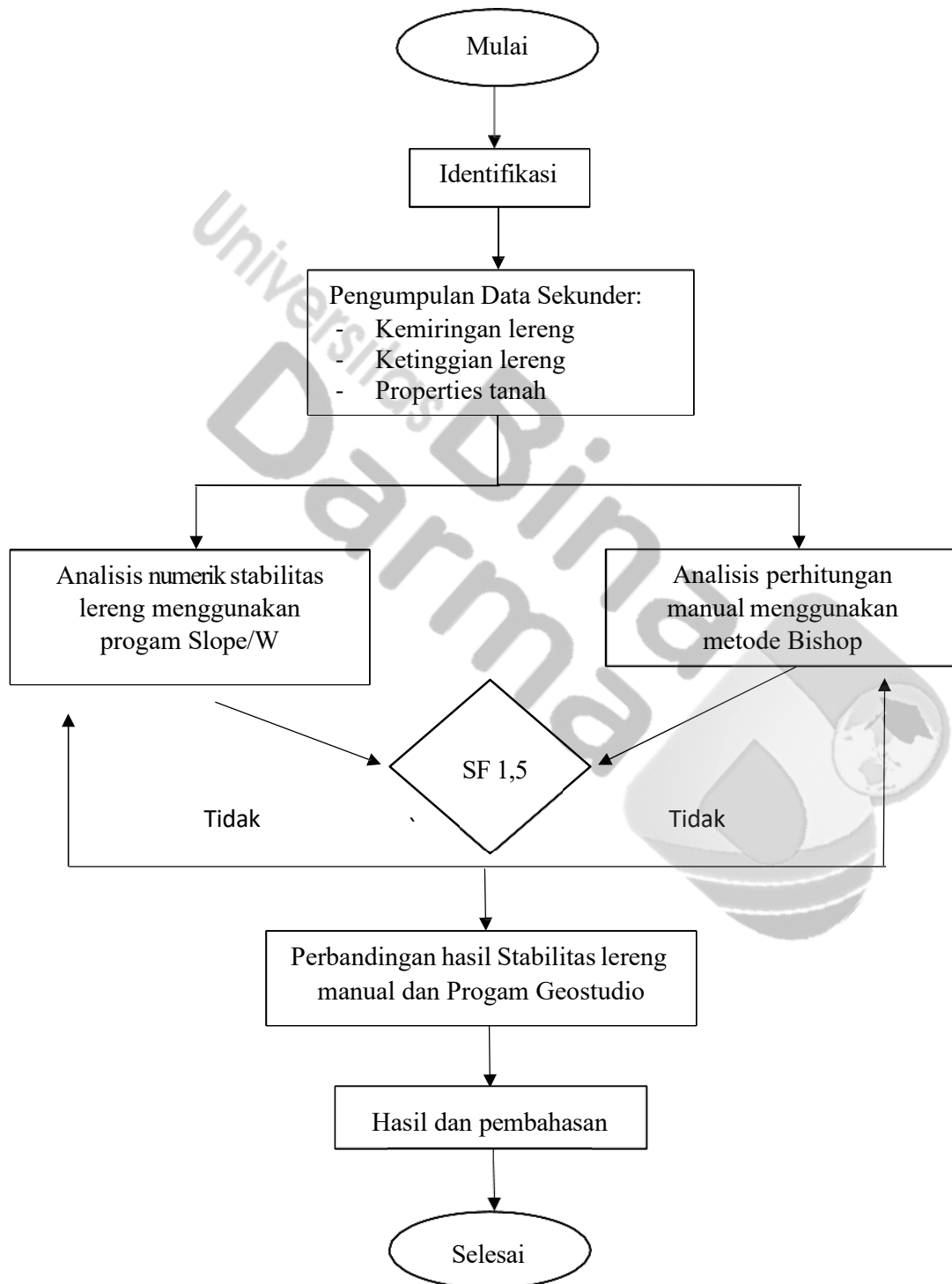
Analisa penelitian yang akan di tampilkan pada penelitian ini adalah bagaimana berupa faktor keamanan pada lereng tanpa retakan, kemudian retakan kering dan retakan berisi air menggunakan metode analisis analitik dan numerik serta perbandingan penurunan faktor keamanan pada ke-3 kondisi tersebut.

b. Kajian Pustaka

Kajian pustaka yang dilakukan ialah untuk mendapatkan teori-teori yang dapat menunjang penelitian ini. Teori-teori metode analitik (Gofar & Kassim, 2007) dan teori-teori metode numerik menggunakan Slope/W , hasil penelitian dalam bentuk jurnal yang terkait dengan stabilitas lereng. Kajian Pustaka dikelompokkan ke dalam beberapa sub-topik yaitu: stabilitas lereng secara umum dan retak pada tanah yang termasuk pengaruhnya terhadap stabilitas lereng.

c. Aplikasi terhadap program

Analisa ini dilakukan dalam rangka mencari beberapa program bantu yang dapat digunakan untuk melakukan analisa pergerakan air tanah dan stabilitas lereng saat terjadi hujan. Aplikasi yang digunakan adalah yang berbasis ke metode finite element dan metode limit equilibrium.



Gambar 3.1 Diagram bagan alir

2. Tahap pemodelan

Tahap Pemodelan numerik

Pemodelan numerik dengan dasar teori *limit equilibrium method* dan *finite element method* ini akan dilakukan pada tiga kondisi yaitu:

- Analisa stabilitas lereng tanpa retak
- Analisa stabilitas lereng yang mengalami retakan kering
- Analisa stabilitas lereng yang mengalami retakan berisi air

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pendekatan untuk mencari faktor keamanan dengan cara analitik (Gofar & Kassim, 2007) dan numerik dilakukan dengan menggunakan program *Slope/W* untuk mengetahui kestabilan lereng. Sedangkan perhitungan numerik digunakan agar memastikan perhitungan program *Slope/W* akurat dan dapat diandalkan dengan cara membandingkan serta mengidentifikasi kemungkinan kegagalan lereng dengan membandingkan hasil analisis program dan perhitungan manual. Jika salah satu metode menghasilkan faktor keamanan dibawah 1 (indikasi kegagalan), maka penanganan cepat diperlukan.

4.1 Hasil pendekatan secara analitik

Pada sub-bab ini, dilakukan analisa analitik pada beberapa kondisi yaitu:

1. Analisa yang dilakukan pada penelitian ini berupa lereng tanpa retakan.
2. Analisa yang dilakukan selanjutnya pada lereng ada retakan kering dan retakan berisi air.

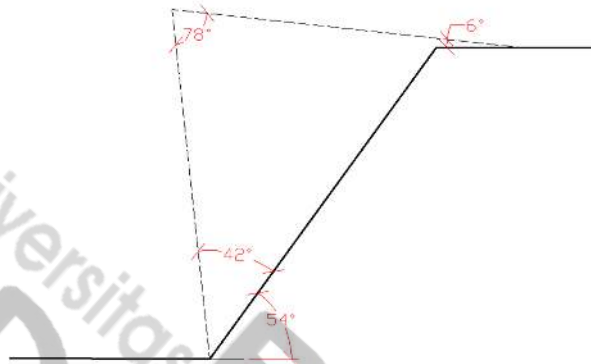
4.1.1 Hasil pendekatan secara analitik stabilisasi lereng tanpa retakan

Diketahui :

$$\gamma_{\text{tanah}} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$\beta = 55^\circ$$

$$\begin{aligned} \text{Dimana } \theta &= 180 - \alpha - \beta - \delta \\ &= 180 - 42^\circ - 55^\circ - 6^\circ = 78^\circ \end{aligned}$$



Gambar 4.1 Sudut $\alpha - \beta - \delta$

$$C_u = 35 \text{ kPa}$$

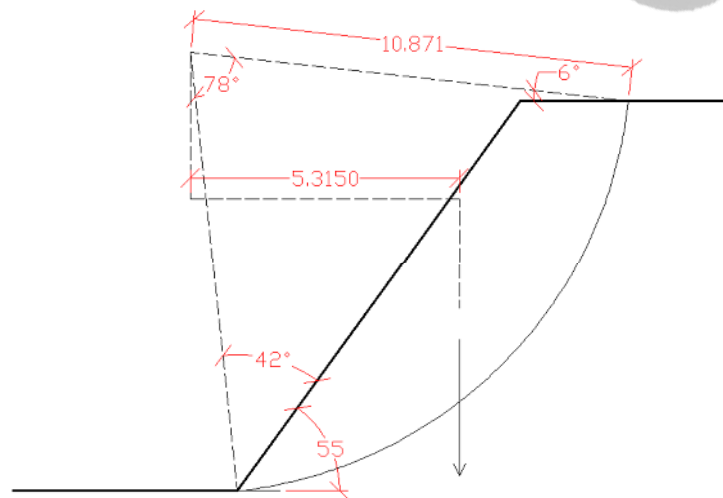
$$d = 5,315 \text{ m}$$

$$A = 35,150 \text{ m}^2$$

$$\text{Dimana } W = A \times \gamma_{\text{tanah}}$$

$$35,150 \text{ m}^2 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 632,700 \text{ kN/m}$$

$$L_a = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi \cdot R^2$$



Gambar 4.2 Lereng tanpa retakan

Maka :

$$F = \frac{Cu.La.R}{Wd}$$

$$F = \frac{35 \cdot \left(\frac{78}{360} \times 2\pi \times 10.871^2\right)}{632,700 \times 5,315} = \frac{5543,774}{3362,801} = 1,648$$

4.1.2 Hasil pendekatan secara analitik stabilisasi lereng dengan retakan kondisi kering

Diketahui :

$$\gamma_{\text{tanah}} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$Cu = 35 \text{ kPa}$$

$$d = 6,360 \text{ m}$$

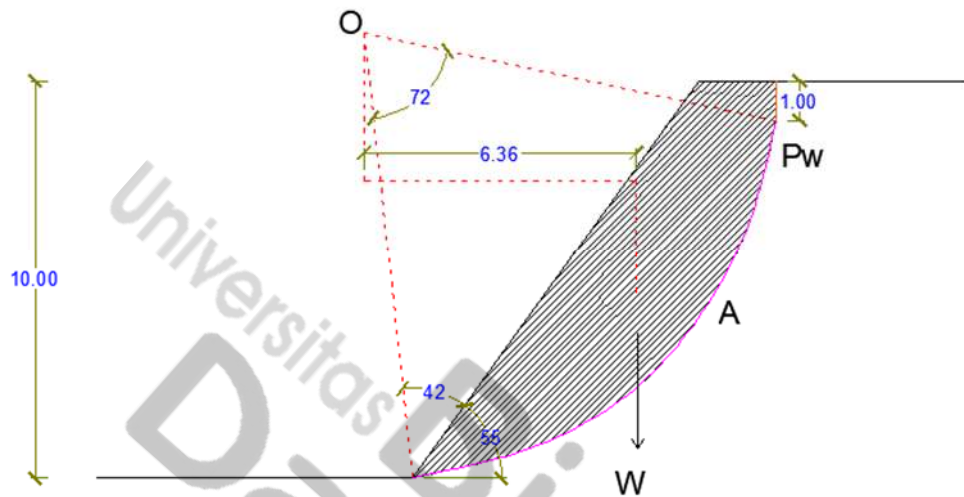
$$\theta = 72^\circ$$

$$A = 34,206 \text{ m}^2$$

Dimana $W = A \times \gamma_{\text{tanah}}$

$$34,206 \text{ m}^2 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 615,708 \text{ kN/m}$$

$$La = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi \cdot R^2 = \frac{72}{360} \cdot 2\pi \cdot (10.871^2) = 158,740$$



Gambar 4.3 Lereng dengan retakan kondisi kering

Maka :

$$F = \frac{C_u \cdot L_a \cdot R}{Wd}$$

$$F = \frac{35 \cdot \left(\frac{72}{360} \times 2\pi \times 10.871^2\right)}{615,708 \times 6,360} = \frac{5555,907}{3915,90} = 1,419$$

4.1.3 Hasil pendekatan secara analitik stabilisasi lereng dengan retakan yang

terisi air

Diketahui :

$$\gamma_{\text{tanah}} = 18 \text{ kN/m}^3$$

$$C_u = 0,1 \text{ kPa}$$

$$W = 1300 \text{ kN}$$

$$d = 6,360 \text{ m}$$

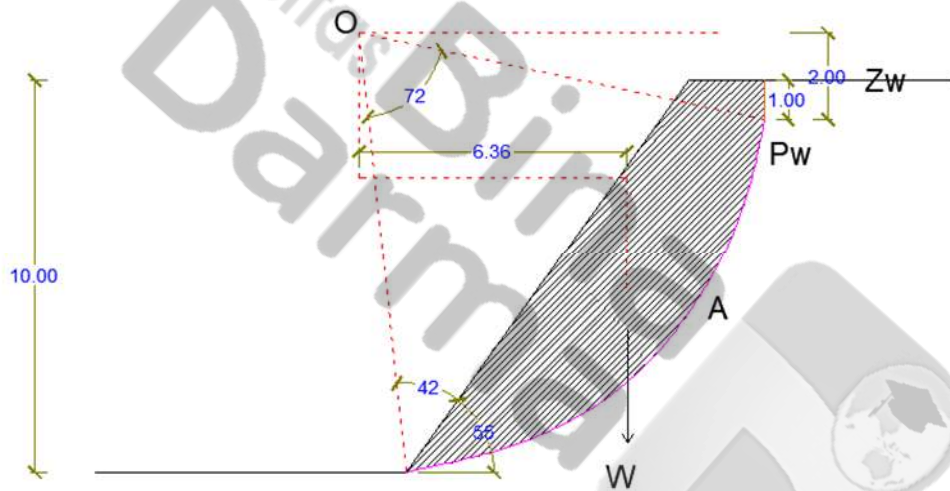
$$\theta = 15^\circ$$

$$A = 34,206 \text{ m}^2$$

Dimana $W = A \times \gamma_{\text{tanah}}$

$$34,206 \text{ m}^2 \times 18 \text{ kN/m}^3 = 615,708 \text{ kN/m}$$

$$La = \frac{\theta}{360} \cdot 2\pi \cdot R^2 = \frac{72}{360} \cdot 2\pi \cdot (10.871^2) = 158,740$$



Gambar 4.4 Lereng dengan retakan yang jenuh air

Maka :

$$F = \frac{cu \cdot La' \cdot R}{Wd + Pw \cdot yc}$$

Dimana :

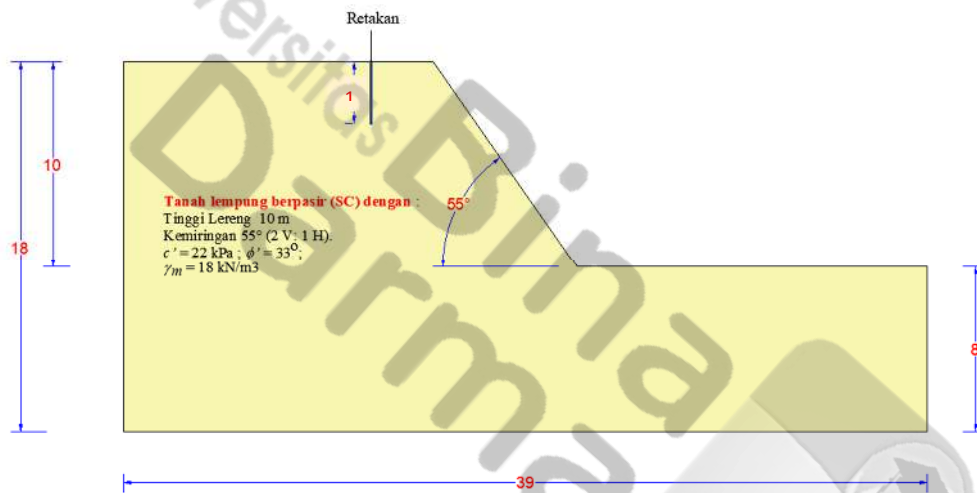
$$Pw = \frac{1}{2} \cdot \gamma_w \cdot zw^2 = \frac{1}{2} \cdot 9,628 \cdot 2^2 = 19,256$$

Maka :

$$F = \frac{cu \cdot La' \cdot R}{Wd + Pw \cdot yc} = \frac{3,5 \times 158,740 \times 10,871}{1300 \times 6,360 + 19,256 \times 3,82} = 0,724$$

4.2 Hasil Pendekatan Secara Numerik

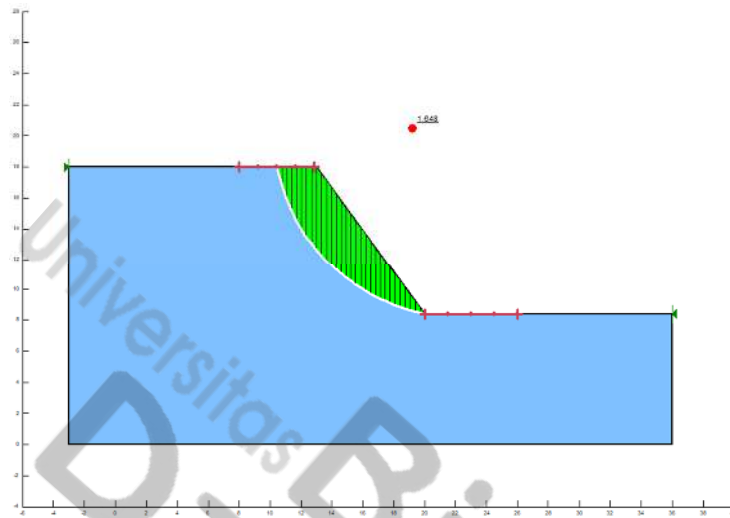
Analisis dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Geoslope tanpa pembebanan. Pada gambar 4.5 terdapat geometri lereng dan properties tanah yang akan di teliti. Berikut gambar 4.5 :



Gambar 4.5 Penampang lereng

4.2.1 Lereng tanpa retakan

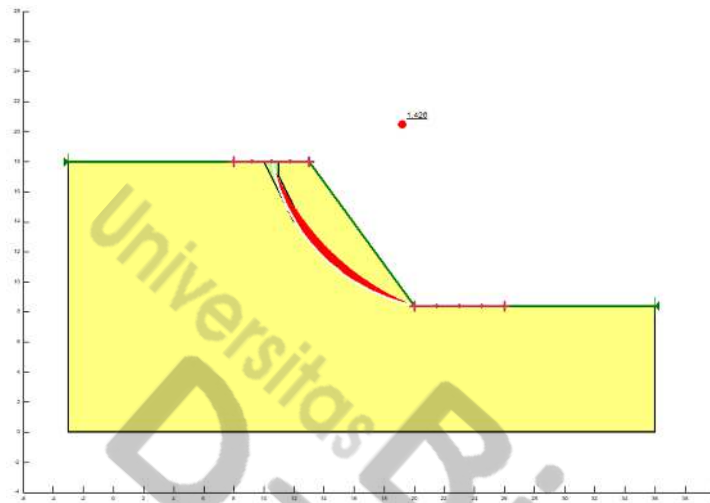
Analisis pertama dilakukan terhadap lereng tanpa retakan dengan menggunakan data propertis tanah pada gambar 4.5. Adapun hasil analisis ialah didapatkan faktor keamanan sebesar 1,648.



Gambar 4.6 Penampang lereng tanpa retakan

4.2.2 Lereng dengan retakan kondisi kering

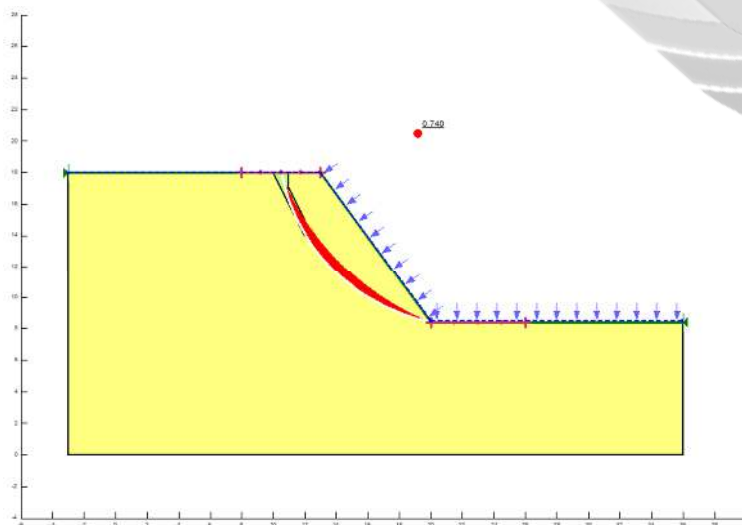
Kemudian analisis numerik dilakukan terhadap lereng dengan retakan kering. Kedalam retakan pada lereng ditetapkan sebesar 1 meter, sedangkan lebarnya adalah 100 mm. Adapun hasil analisis didapatkan faktor keamanan sebesar 1,426.



Gambar 4.7 Penampang lereng dengan retakan kondisi kering

4.2.3 Lereng dengan retakan berisi air

Selanjutnya analisis numerik dilakukan terhadap lereng dengan retakan yang berisi air. Adapun hasil analisis didapatkan faktor keamanan sebesar 0,740.



Gambar 4.8 Penampang lereng dengan retakan kondisi jenuh air

4.3 Hasil perbandingan analisis secara analitik dan numerik

Tabel 4.1 Hasil perbandingan analisis analitik dan numerik

Metode / Kondisi	Tanpa retakan	Retakan kering	Retakan berisi air
Analitik	1.648	1.419	0.724
Numerik	1.648	1.426	0.740

Metode analitis dan numerik digunakan dalam penelitian ini untuk menganalisis pengaruh retakan terhadap kestabilan lereng. Kedua metode menunjukkan bahwa keberadaan retakan kering sedikit menurunkan FK lereng, tetapi FK berkurang lebih signifikan ketika terdapat air di dalam retakan. Hasil tersebut mendukung bahwa air memainkan peran penting pada lereng yang retak. Namun, penelitian ini terbatas pada kondisi tanah kering dan jenuh. Studi lebih lanjut mengenai propagasi retakan akibat infiltrasi hujan dan penyebab lainnya perlu dilakukan dengan mengintegrasikan analisis rembesan dan mekanika tanah tak jenuh.

BAB V

KESIMPULAN

Metode analitik dan numerik digunakan dalam studi ini untuk menganalisis pengaruh retakan terhadap stabilitas lereng. Kesimpulan berikut dapat ditarik dari penelitian ini:

1. Kedua metode sepakat bahwa keberadaan retakan kering sedikit menurunkan FK lereng, namun FK tersebut selanjutnya berkurang secara signifikan dengan adanya air di dalam retakan. Hasil studi ini mendukung bahwa air memainkan peran penting pada lereng yang retak.
2. Hasil penelitian ini mendukung bahwa air memainkan peran penting sebagai penyebab longsoran lereng
3. Metode analitik memberikan faktor keamanan yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan metode numerik, terutama untuk kasus retakan yang terisi air.

Harus dicatat bahwa penelitian ini terbatas pada kondisi tanah kering dan jenuh. Studi lebih lanjut tentang perambatan retakan akibat infiltrasi air hujan dan penyebab lainnya harus dilakukan dengan menggabungkan analisis rembesan dan mekanika tanah tak jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S. X., Dai, Z. J., Lu, D. J., Luo, H. M., and Li, Y. F. (2014). Stability analysis considering fracture distribution and strength for expansive soil slope. *Shuili Xuebao* 45 (12), 1442–1449. doi:10.13243/j.cnki.slxb.2014.12.007
- Deschamps, R., and Yankey, G (2006). Limitations in the Back-Analysis of Strength from Failures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 132 (4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:4\(532\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:4(532))
- Duncan, J.M., Wright, S.G., and Brandon, T.L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons. New York.
- Geo-Slope International Ltd. (2018). *SLOPE/W for Slope Stability Analysis*. Calgary, Canada
- Gofar, N. Pangestika, E.N, Harianto, Y., & Gumay, H. (2024). Effect of Near-Surface Heterogeneities on the Pore-water Pressure Distribution and Slope Stability. *SINERGI* 28(2): 327-336. <https://doi.org/10.22441/sinergi.2024.2.012>
- Gofar, N. & Kassim, K.A. (2007). *Introduction to Geotechnical Engineering-Part I*, Published by Pearson Education 2005. ISBN 981-06-7950-5 (revised edition 2007).
- Gofar, N. Lee, M.L., and Asof, M. (2006). Transient Seepage and Slope Stability Analysis for Rainfall-Induced Landslide: A Case Study. *Malaysian J. Civ. Eng.*, 18(1): 1–13.
- Hussain, M., Stark, T.D., and Akhtar, K. (2010). Back-Analysis Procedure for Landslides. *Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering*. P. 139-166. November 5-6, 2010. Lahore, Pakistan. (Kibria et al. Eds.) Pakistan Geotechnical Engineering Society (PGES).
- Hosseini, M., Mohammadiasl, M., & Hasanvand, A. (2022). Influence of Surface Cracks on the Stability of Cracked Soil Slope. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 18(4), 82-90. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-4-82-90>

PENGARUH RETAKAN TERHADAP STABILISASI LERENG : PENDEKATAN SECARA ANALITIS DAN NUMERIK

Muttiah Khoirini¹⁾, Yudi Harianto²⁾, Nurly Gofar^{3*)},

Departemen Teknik Sipil, Program Pascasarjana, Universitas Bina Darma, Palembang, 30264,
Indonesia

C.V. Geoteknik Pratama, Palembang, Indonesia 30139

*Corresponding Author: mkhoirini@gmail.com

ABSTRAK

Artikel ini menyajikan analisis analitis dan numerik terhadap lereng dengan mempertimbangkan pengaruh pembentukan retakan pada puncak lereng (crest). Metode analitis dilakukan dengan asumsi lereng tanah dalam kondisi jenuh, sedangkan metode numerik menggunakan program SLOPE/W. Kedua metode tersebut didasarkan pada pendekatan kesetimbangan batas (limit equilibrium).

Analisis dilakukan pada lereng tanah liat setinggi 10 meter dengan kemiringan 55° (2 vertikal : 1 horizontal). Tiga kondisi dipertimbangkan: lereng tanpa retakan, lereng dengan retakan kering, dan lereng dengan retakan yang terisi air. Metode Bishop Sederhana yang terintegrasi dalam SLOPE/W digunakan untuk mengidentifikasi bidang gelincir kritis pada lereng tanpa retakan dengan menentukan titik masuk (entry) dan titik keluar (exit) di sepanjang puncak, permukaan, dan kaki lereng (toe). Untuk lereng dengan retakan, bidang gelincir diasumsikan berasal dari lokasi retakan di puncak lereng.

Baik analisis analitis maupun numerik menunjukkan tren yang serupa pada Faktor Keamanan (Factor of Safety - FOS) yang dihasilkan. Hasil analisis numerik menunjukkan bahwa keberadaan dan kondisi retakan secara signifikan memengaruhi stabilitas lereng. Nilai FOS menurun ketika retakan terisi air. Untuk lereng tanpa retakan, nilai FOS adalah 1,648. Keberadaan retakan sedalam 1 meter menyebabkan FOS turun dari 1,648 menjadi 1,416. Ketika retakan tersebut terisi air, FOS turun lebih jauh dari 1,416 menjadi 0,670. Studi ini menunjukkan bahwa keberadaan retakan permukaan harus dipertimbangkan dalam analisis stabilitas lereng.

Kata Kunci: kegagalan lereng, simulasi numerik, retakan, metode kesetimbangan batas, faktor keamanan.

ABSTRACT

This article presents an analytical and numerical analysis of slopes, considering the influence of crack formation at the crest. The analytical method was conducted under the assumption of a saturated soil slope, while the numerical method utilized the SLOPE/W program. Both methods are based on the limit equilibrium approach. The analysis was performed on a 10-meter-high clay slope with a gradient of 55° (2 vertical: 1 horizontal). Three conditions were considered: a slope without cracks, a slope with dry cracks, and a slope with water-filled cracks. Simplified Bishop method integrated in SLOPE/W was employed to identify the critical failure plane for the slope without a crack by defining the entry and exit points along the crest, surface, and toe of the slope. For slopes with cracks, the failure plane is assumed to originate from the crack location at the crest. Both analytical and numerical analysis shows similar trends on the resulting FOS. The results of numerical analysis indicate that the presence and condition of cracks significantly influence slope stability. The Factor of Safety (FOS) decreased when the cracks were filled with water. For the slope without cracks, the FOS was 1.648. The presence of a 1-meter depth crack caused the FOS to decrease from 1.648 to 1.416. When the crack was filled with water, the FOS dropped further from 1.416 to 0.670. This study demonstrates that the presence of surface cracks must be considered in slope stability analysis.

Keywords: slope failure, numerical simulation, crack, limit equilibrium method, factor of safety,

PENDAHULUAN

Kegagalan lereng telah diidentifikasi sebagai salah satu bencana alam yang paling sering terjadi di negara-negara tropis. Kegagalan lereng didefinisikan sebagai pergerakan tanah atau batuan ke arah bawah lereng di sepanjang permukaan geser yang jelas, yang dapat terjadi sebagai longsoran rotasi maupun translasi. Longsor terjadi ketika tegangan geser yang berkembang pada tanah melampaui hambatan geser yang bersesuaian di sepanjang potensi bidang gelincir. Analisis stabilitas lereng biasanya dilakukan berdasarkan metode

kesetimbangan batas (*limit equilibrium method* - LEM). Stabilitas lereng dinyatakan sebagai Faktor Keamanan (*Factor of Safety* - FOS), yang mendefinisikan rasio antara kuat geser maksimum yang tersedia pada tanah terhadap tegangan geser yang diperlukan untuk menjaga kesetimbangan. Analisis stabilitas lereng terlihat sederhana, namun menemukan lokasi awal terjadinya kegagalan serta bentuk bidang gelincir atau bidang runtuh merupakan hal yang rumit. Longsor dapat terjadi di sepanjang sejumlah kemungkinan permukaan bidang gelincir (Gofar & Kassim, 2007).

Dalam analisis kesetimbangan batas, FOS dari sebuah lereng dinilai berdasarkan rasio antara gaya penahan (yang dikuantifikasi melalui kuat geser tanah) terhadap gaya yang bekerja/tergerak (τ_m).

$$FOS = \frac{\tau_f}{\tau_m} \quad (1)$$

Oleh karena itu, kuat geser tanah merupakan parameter penting dalam analisis stabilitas lereng. Kuat geser ini diturunkan dari kriteria keruntuhan Mohr-Coulomb dan konsep tegangan efektif Terzaghi, yang didefinisikan sebagai:

$$\tau_{ff} = c' + (\sigma_n - \mu_w) \tan \phi' \quad (2)$$

Di mana τ_f adalah kuat geser di sepanjang bidang gelincir pada saat keruntuhan, sedangkan c' dan ϕ' adalah parameter kuat geser, dan $(\sigma_n - \mu_w)$ adalah tegangan efektif normal terhadap bidang gelincir (Duncan dkk., 2014).

Kegagalan lereng biasanya melibatkan material kohesif. Perulangan musim hujan dan kemarau di wilayah tropis menyebabkan terbentuknya retakan tarik (*tension cracks*) pada permukaan lereng tanah liat (Gofar dkk., 2024). Selama musim hujan, air hujan meresap lebih dalam ke dalam tanah melalui retakan, menciptakan lapisan yang lebih lemah dan memulai bidang gelincir. Selain itu, retakan juga dapat disebabkan oleh aktivitas manusia seperti penurunan tidak seragam (*differential settlement*) pada konstruksi bangunan dan jalan.

Munculnya retakan tarik pada puncak lereng menunjukkan indikasi kuat bahwa ketidakstabilan akan segera terjadi. Oleh karena itu, dengan adanya retakan di puncak atau permukaan lereng, bidang gelincir hampir selalu dimulai dari lokasi retakan tersebut. Begitu retakan tarik terbentuk, seluruh kekuatan di sepanjang permukaan runtuh yang melewati retakan tersebut akan hilang (Duncan dkk., 2014). Akibatnya, hambatan geser hanya berkembang di sepanjang panjang bidang gelincir di bawah kedalaman retakan tarik pada saat longsor terjadi. Keberadaan retakan juga mengurangi gaya penahan karena panjang bidang gelincir berkurang sebesar kedalaman retakan tersebut.

Stabilitas lereng semakin berkurang ketika retakan tarik terisi sebagian atau seluruhnya oleh air (Deschamps dan Yankey, 2006). Ketika retakan penuh dengan air, maka gaya hidrostatik akan berkembang, menciptakan gaya pendorong tambahan pada bidang gelincir. Biasanya, terbukanya retakan tarik akan diikuti oleh longsor di sepanjang bidang runtuh yang jelas, kecuali jika lereng segera distabilkan (Hussain dkk., 2010).

Analisis analitis mengenai pengaruh retakan terhadap stabilitas lereng disajikan dalam Gofar dan Kassim (2007). Dalam analisis ini, retakan tarik dipertimbangkan dalam perhitungan stabilitas lereng dengan memperhatikan kondisi retakan, yaitu kondisi kering dan penuh air. Metode ini memiliki keterbatasan, yaitu: (a) menemukan bidang gelincir kritis bukanlah tugas yang mudah, (b) posisi retakan harus ditentukan terlebih dahulu berdasarkan bidang gelincir.

Banyak peneliti menggunakan analisis numerik untuk mempelajari pengaruh retakan pada stabilitas lereng (Chen dkk., 2014; Gofar dkk., 2006; Mukhlisin dkk., 2018). Chen dkk. menunjukkan bahwa stabilitas lereng tanah ekspansif dipengaruhi secara signifikan oleh timbulnya retakan, terutama ketika pengaruh air dipertimbangkan. Gofar dkk. menunjukkan bahwa keberadaan retakan di area penimbunan (*dumping area*) memungkinkan air meresap lebih dalam ke lapisan lemah dan memicu bidang gelincir pada lereng. Mukhlisin dkk. melakukan studi parametrik mengenai pengaruh lokasi dan kedalaman retakan menggunakan SLOPE/W. Mereka menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng menurun tajam ketika retakan terletak berdekatan dengan puncak lereng, dibandingkan dengan ketika retakan terletak di tengah lereng. Temuan ini masuk akal karena, secara analitis, retakan harus terletak di dalam baji kegagalan (*failure wedge*). Selain itu, studi mereka juga menunjukkan bahwa faktor keamanan lereng menurun seiring bertambahnya kedalaman retakan.

Studi ini berfokus pada pengaruh retakan terhadap stabilitas lereng menggunakan pendekatan Analitis dan Numerik berdasarkan metode kesetimbangan batas (LEM) 2 dimensi. Tiga kondisi dipertimbangkan, yaitu: (a) lereng tanpa retakan, (b) lereng dengan retakan kering, dan (c) lereng dengan retakan yang terisi air. Untuk analisis analitis, prosedur yang diuraikan dalam Gofar dan Kassim (2007) diikuti, sedangkan SLOPE/W yang terintegrasi dalam perangkat lunak GeoStudio (GeoSlope International, 2018) digunakan untuk analisis numerik. Metode Bishop Sederhana diadopsi dalam studi ini untuk menghitung faktor keamanan lereng.

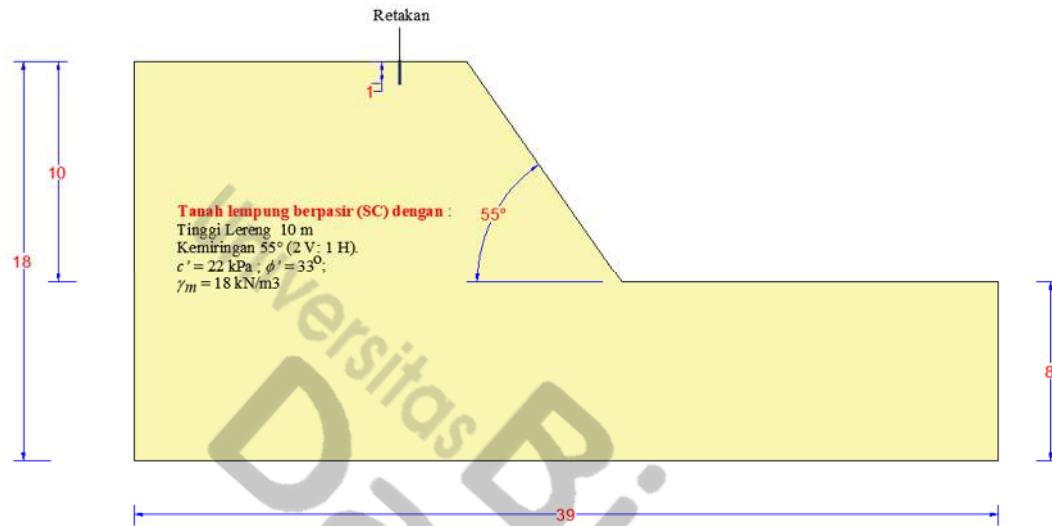
METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan model lereng hipotetis sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Lereng tersebut memiliki tinggi 10 m dengan sudut kemiringan 55° (2 vertikal: 1 horizontal). Kemiringan lereng yang curam dipilih agar bidang gelincirnya dangkal dan berhenti tepat di kaki lereng (*toe*). Tanah yang digunakan adalah tanah lempung berpasir (*clayey soil* - SC) dengan kohesi efektif sebesar 22 kPa dan sudut geser dalam efektif sebesar 33° . Berat isi tanah adalah 18 kN/m^3 .

Penelitian ini mengadopsi pendekatan analitis dan numerik. Tiga kondisi dipertimbangkan dalam studi ini, yaitu: (a) lereng tanpa retakan, (b) lereng dengan retakan kering, dan (c) lereng dengan retakan yang terisi air.

Bentuk dan lokasi bidang gelincir harus ditentukan terlebih dahulu sebelum melakukan analisis stabilitas lereng. Untuk bidang gelincir berbentuk busur lingkaran (*circular*), bidang gelincir yang paling kritis dapat diidentifikasi dengan mempertimbangkan serangkaian busur lingkaran gelincir dengan nilai FOS minimum. Dalam penelitian ini, lokasi dan kedalaman retakan ditentukan berdasarkan bidang gelincir kritis yang diperoleh dari analisis

awal lereng tanpa retakan tarik. Lokasi retakan ditetapkan berada di dalam baji kegagalan (*failure wedge*), sehingga menciptakan bidang gelincir yang lebih pendek. Kedalaman retakan ditetapkan sebesar 1 m, sedangkan lebarnya adalah 100 mm.



Gambar 1: Geometri lereng dan properti tanah yang digunakan untuk analisis

PENDEKATAN ANALITIS

Metode analitis dilakukan dengan mengasumsikan sebuah lereng tanah sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2. Perhatikan sebuah lereng dengan potensi permukaan bidang gelincir berbentuk busur lingkaran yang berpusat di O dengan jari-jari r , dan panjang busur L_a seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2a. Momen yang disebabkan oleh pergerakan massa tanah di atas asumsi bidang gelincir adalah Wd , di mana W adalah berat massa tanah dan d adalah jarak antara pusat gravitasi massa tanah dengan titik O. Kuat geser yang dikerahkan (*mobilized*) di sepanjang permukaan bidang gelincir untuk menahan momen tersebut adalah:

$$\tau_m = \frac{\tau_f}{FS} = \frac{c_u}{FS} \quad (3)$$

yang menghasilkan gaya penahan sebesar:

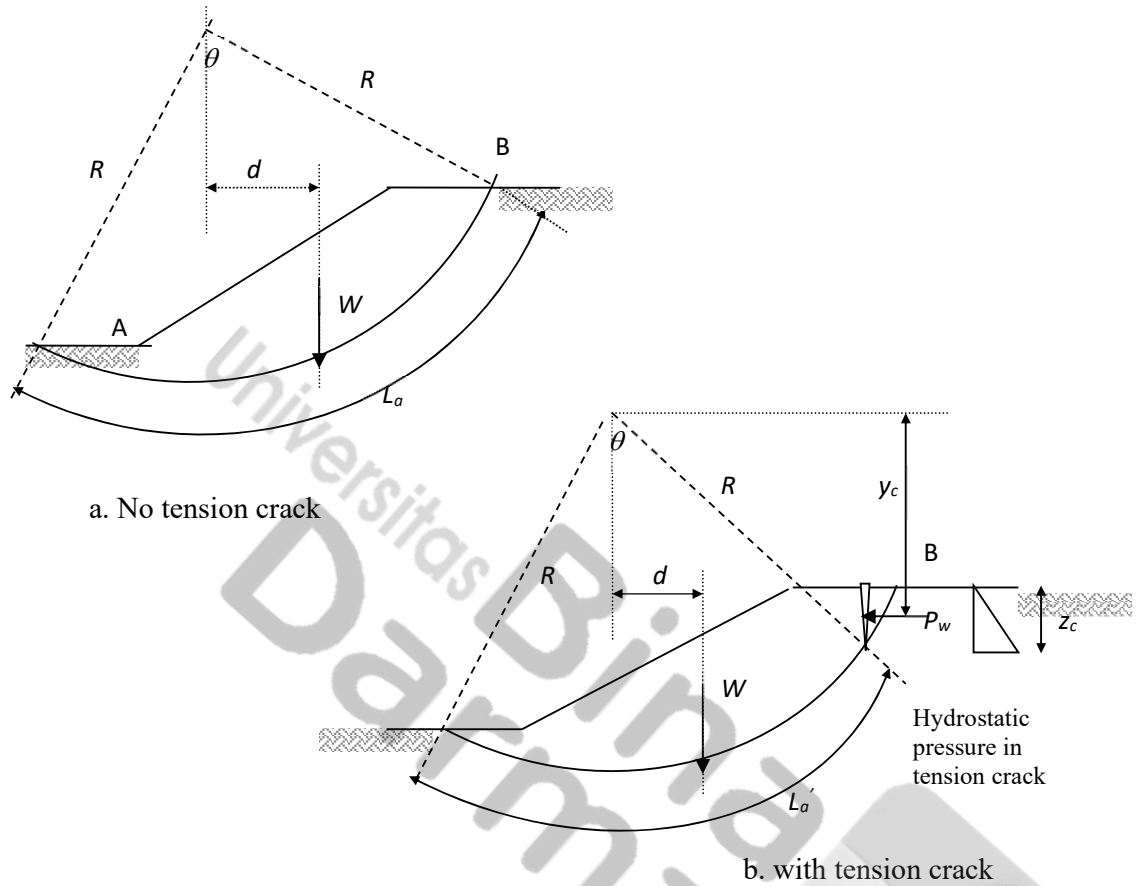
$$R_s = \tau_m L_a = \frac{c_u}{FS} L_a \quad (4)$$

Dengan menyetarakan momen terhadap titik O (Gambar 1a):

$$W d = \frac{c_u}{FS} L_a R \quad (5)$$

Oleh karena itu,

$$FOS = \frac{c_u L_a R}{W d} \quad (6)$$



Gambar 2: Geometri lereng dan properti tanah (Sumber: Gofar & Kassim, 2007)

Retakan dipertimbangkan dalam perhitungan stabilitas lereng untuk dua kondisi: (b) ketika retakan dalam kondisi kering, dan (c) ketika retakan penuh dengan air. Untuk retakan kering, parameter L_a pada persamaan 4 berkurang menjadi L_a' (Gambar 2b). Dengan demikian, persamaan (4) menjadi:

$$FOS = \frac{c_u L_a' R}{W d} \quad (7)$$

Jika retakan penuh dengan air, maka gaya hidrostatik akan berkembang dan bekerja secara tegak lurus (*normal*) terhadap retakan. Dalam kasus ini, L_a akan berkurang menjadi L_a' , dan momen yang menyebabkan kegagalan akan meningkat sebesar momen akibat tekanan air pori $P_w y_c$ (Gambar 2b). Dengan demikian, Persamaan (5) menjadi:

$$FS = \frac{c_u L_a' R}{W d + P_w y_c} \quad (8)$$

$$P_w = \frac{1}{2} g_w y_c^2$$

di mana g_w adalah berat isi air dan y_c adalah sebagaimana ditentukan pada Gambar 2b.

PENDEKATAN NUMERIK

Metode numerik menggunakan program SLOPE/W (GeoStudio International, 2018). Dalam SLOPE/W, bidang gelincir kritis dapat diidentifikasi dengan menentukan lokasi pusat rotasi dan berbagai jari-jari, atau dengan menentukan lokasi titik masuk (*entry*) dan titik keluar (*exit*) di sepanjang puncak, permukaan, dan kaki lereng. Dalam penelitian ini, bidang gelincir kritis untuk lereng tanpa retakan dicari dengan menentukan lokasi titik masuk dan titik keluar di sepanjang puncak, permukaan, dan kaki lereng. Untuk lereng dengan retakan, bidang gelincir diasumsikan dimulai dari lokasi retakan pada puncak lereng. Untuk analisis numerik dalam SLOPE/W, retakan didefinisikan sebagai material dengan kuat geser dan densitas yang sangat rendah. Dalam hal ini, parameter kuat geser material tersebut adalah $c' = 0,1 \text{ kPa}$, $f' = 15^\circ$, dan berat isi $= 13 \text{ kN/m}^3$. Retakan berada pada jarak 2 m dari tepi lereng. Kedalaman retakan adalah 3 m. Untuk analisis (a) dan (b), air tanah diasumsikan berada di dasar model, sedangkan untuk analisis (c), air tanah diasumsikan berada di permukaan lereng.

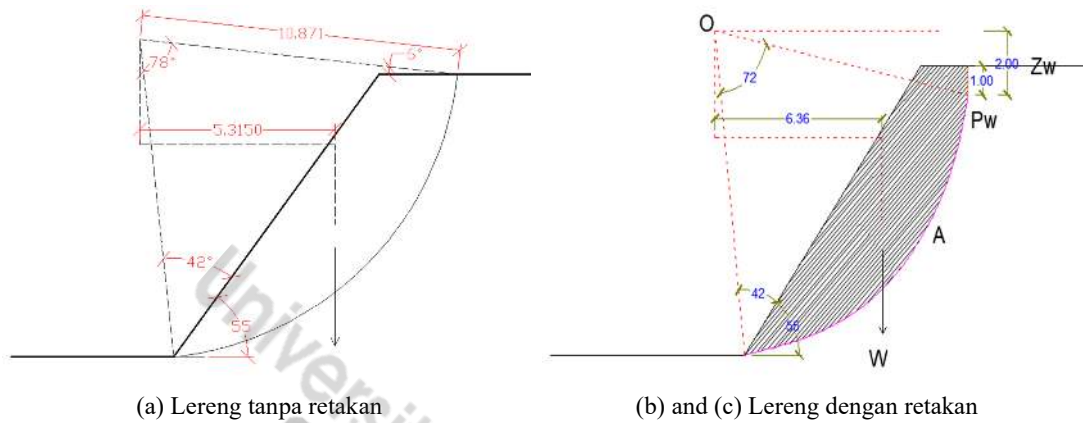


Gambar 3: Pemodelan Numerik Lereng menggunakan SLOPE/W

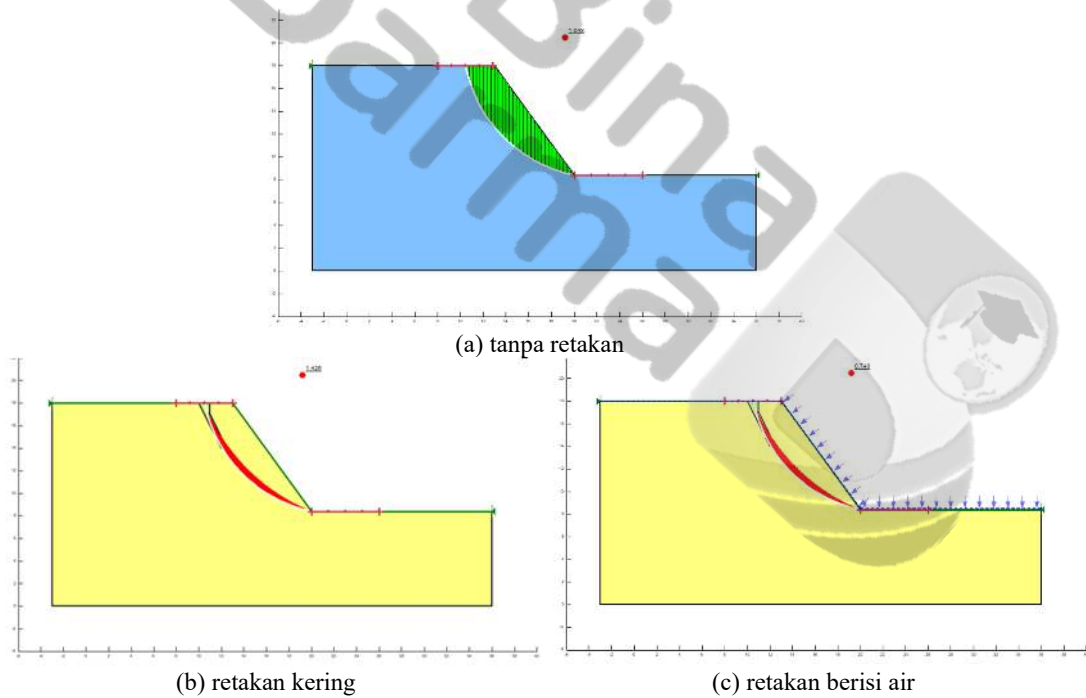
HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambar 4 menunjukkan bidang gelincir untuk kasus (a), (b), dan (c). Pada awalnya, lereng berada dalam kondisi stabil dengan $FOS = 1,648$. Keberadaan retakan kering menurunkan nilai FOS menjadi 1,426. FOS berkurang lebih jauh menjadi 0,740 ketika retakan penuh dengan air. Nilai FOS yang diperoleh dari analisis analitis disajikan dalam Tabel 1.

Bidang gelincir kritis dari analisis stabilitas lereng menggunakan SLOPE/W untuk Kasus a, b, dan c ditunjukkan pada Gambar 5 (a, b, dan c). FOS dari lereng asli adalah 1,648. Keberadaan retakan menyebabkan penurunan FOS menjadi 1,416. Air permukaan, akibat curah hujan, mengisi retakan dan menghilangkan kohesi tanah, sehingga menurunkan FOS lereng menjadi 0,670. FOS dari analisis numerik disajikan dalam Tabel 1.



Gambar 4: Bidang Gelincir Kritis hasil dari Analisis Analitis



Gambar 5 : Bidang gelincir dan FOS lereng dari analisis numerik

Table 1: Pengaruh Retakan terhadap FOS

Metode	Tanpa retakan	Retakan kering	Retakan berisi air
Kondisi			
Analitik	1.648	1.416	0.670
Numerik	1.648	1.426	0.740

KESIMPULAN

Metode analitis dan numerik digunakan dalam studi ini untuk menganalisis pengaruh retakan terhadap stabilitas lereng. Kesimpulan berikut dapat ditarik dari penelitian ini:

1. Kedua metode sepakat bahwa keberadaan retakan kering sedikit menurunkan FOS lereng, namun FOS tersebut selanjutnya berkurang secara signifikan dengan adanya air di dalam retakan. Hasil studi ini mendukung bahwa air memainkan peran penting pada lereng yang retak.
2. Hasil penelitian ini mendukung bahwa air memainkan peran penting sebagai penyebab longsoran lereng
3. Metode analitis memberikan faktor keamanan yang sedikit lebih rendah dibandingkan dengan metode numerik, terutama untuk kasus retakan yang terisi air.

Harus dicatat bahwa penelitian ini terbatas pada kondisi tanah kering dan jenuh. Studi lebih lanjut tentang perambatan retakan akibat infiltrasi air hujan dan penyebab lainnya harus dilakukan dengan menggabungkan analisis rembesan dan mekanika tanah tak jenuh.

DAFTAR PUSTAKA

- Chen, S. X., Dai, Z. J., Lu, D. J., Luo, H. M., and Li, Y. F. (2014). Stability analysis considering fracture distribution and strength for expansive soil slope. *Shuili Xuebao* 45 (12), 1442–1449. doi:10.13243/j.cnki.slxb.2014.12.007
- Deschamps, R., and Yankey, G (2006). Limitations in the Back-Analysis of Strength from Failures. *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering* 132 (4). [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)1090-0241\(2006\)132:4\(532\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)1090-0241(2006)132:4(532))
- Duncan, J.M., Wright, S.G., and Brandon, T.L. (2014). *Soil Strength and Slope Stability*. John Wiley & Sons. New York.
- Geo-Slope International Ltd. (2018). *SLOPE/W for Slope Stability Analysis*. Calgary, Canada
- Gofar, N. Pangestika, E.N, Harianto, Y., & Gumay, H. (2024). Effect of Near-Surface Heterogeneities on the Pore-water Pressure Distribution and Slope Stability. *SINERGI* 28(2): 327-336. <https://10.22441/sinergi.2024.2.012>
- Gofar, N. & Kassim, K.A. (2007). *Introduction to Geotechnical Engineering-Part I*, Published by Pearson Education 2005. ISBN 981-06-7950-5 (revised edition 2007).
- Gofar, N. Lee, M.L., and Asof, M. (2006). Transient Seepage and Slope Stability Analysis for Rainfall-Induced Landslide: A Case Study. *Malaysian J. Civ. Eng.*, 18(1): 1–13.
- Hussain, M., Stark, T.D., and Akhtar, K. (2010). Back-Analysis Procedure for Landslides. *Proceedings of the International Conference on Geotechnical Engineering*. P. 139-166. November 5-6, 2010. Lahore, Pakistan. (Kibria et al. Eds.) Pakistan Geotechnical Engineering Society (PGES).

Hosseini, M., Mohammadiasl, M., & Hasanvand, A. (2022). Influence of Surface Cracks on the Stability of Cracked Soil Slope. *International Journal for Computational Civil and Structural Engineering*, 18(4), 82-90. <https://doi.org/10.22337/2587-9618-2022-18-4-82-90>



LEMBAR ASISTENSI

JUDUL SKRIPSI

NAMA

NIM

FAKULTAS

PROGRAM STUDI

PEMBIMBING

: Pengaruh Retakan Terhadap Stabilitas Lereng :
Pendekatan secara Analitis dan Numerik

: Mutiah Khoirini

: 202710017

: TEKNIK

: TEKNIK SIPIL

: Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
1.	19 November 2025	Rubah tinggi lereng, derajat ketinggian lereng dan letak retakan	hy
2.	22 November 2025	Tentukan kondisi yang akan diteliti : - Lereng tanpa retakan - lereng dengan retakan kering - lereng dengan retakan berisi air	hy
3.	24 November 2025	Perbaiki penjelasan pendekatan secara analitis	hy
4.	26 November 2025	Buat matrix analisa.	hy
5.	15 Desember 2025	-Sesuaikan isi latar belakang penelitian dengan paper. -Tampilkan gambar untuk analisis secara analitis sesuai dengan buku	hy
6.	16 Desember 2025	Tampilkan hasil dari analisis dari geosAudio.	hy

: Prof. Ir. Nurly Gofar. MSCE., Ph.D.

NO	TANGGAL	KETERANGAN	PARAF
7.	12 Januari 2026	-Perbaiki kesimpulan - Gambar geometrik & maguffan properties tanah.	N
8	19/1 /2026	Acc untuk submit paper & ujian tesis	(Signature)

HALAMAN PERSETUJUAN UJIAN TESIS

Judul Tesis

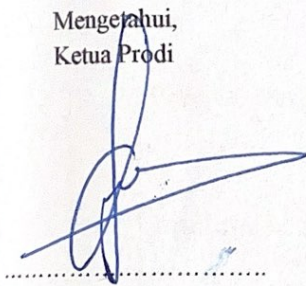
: Pengaruh Retakan Terhadap Stabilitas ^{tas} Lereng : Pendekatan Secara
Analitis dan Numerik

Oleh Mutiah Khoirini, NIM 202710017 Tesis ini telah disetujui untuk di seminarkan di hadapan Tim
Penguji Program Studi Teknik Sipil – S2 Konsentrasi Geoteknik Program Pascasarjana Universitas
Bina Darma.

Palembang,

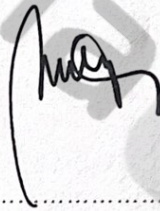
2025

Mengetahui,
Ketua Prodi



Dr. Firdaus, M.T.

Pembimbing,

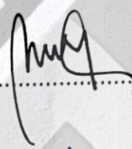
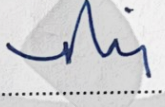
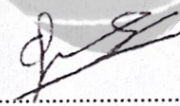


Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.

 ISO 9001 : 2000	Formulir Perbaikan Tesis	Nomor Dok : _____
		Nomor Revisi : _____
		Tgl. Berlaku : _____
		Klausa ISO : _____

Nama : Muttiah Khoirini
 NIM : 212710017
 Konsentrasi : Geoteknik
 Judul Tesis : Pengaruh Retakan Terhadap Stabilitas Lereng : Pendekatan Secara Analitik dan Numerik
 Dosen Pembimbing : **Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.**
 Tanggal Ujian : **12 Februari 2026**

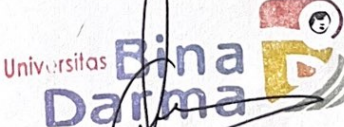
Telah diperbaiki dan dikonsultasikan dengan Pembimbing/Penguji Tesis.

No.	Nama Dosen Penguji	Tanggal	Tanda Persetujuan
1.	Prof. Ir. Nurly Gofar, MSCE., Ph.D.	28/2/2026	1. 
2.	Prof. Dr. Ir. Achmad Syarifudin, M.Sc.	18/2/2026	2. 
3.	Alfrendo Satyanaga, S.T., M.Sc., Ph.D.	18 Feb 26	2. 

*Nb.

Pembimbing harap memeriksa kembali format dari tesis yang telah diperbaiki dan keabsahan tanda tangan penguji

Palembang, 12 Februari 2026
 Program Studi Teknik Sipil – S2
 Ketua,


 Magister Teknik Sipil
Dr. Ir. Pirdaus, S.T., M.T.

SURAT KEPUTUSAN
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA
NOMOR: 051/SK/PPs-UBD/MT/IV/2024

TENTANG
PEMBIMBING MAHASISWA
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL JENJANG STUDI STRATA DUA (S2)
PROGRAM PASCASARJANA UNIVERSITAS BINA DARMA
DIREKTUR PROGRAM PASCASARJANA
UNIVERSITAS BINA DARMA

- Menimbang : a. Bahwa mahasiswa semester akhir diharuskan membuat Tesis sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Pascasarjana Program Studi TEKNIK SIPIL – S2;
b. Bahwa untuk kelancaran pelaksanaan kegiatan dimaksud, dipandang perlu untuk menunjuk Pembimbing bagi setiap mahasiswa;
c. Bahwa untuk memenuhi butir-butir di atas, perlu diterbitkan Surat Keputusan sebagai landasan hukumnya.
- Mengingat : 1. Undang-undang Nomor 20 tahun 2003;
2. Undang-undang Nomor 12 tahun 2012;
3. Peraturan Menteri Pendidikan Nasional Nomor 15 tahun 2005;
4. Surat Keputusan Direktur Jenderal Pendidikan Tinggi Depdiknas;
5. Akte Pendirian Yayasan Nomor 95 tanggal 28 Desember 2003;
6. Statuta Universitas Bina Darma;
7. Surat Keputusan Rektor Universitas Bina Darma Nomor: 078/SK/Univ-BD/VI/2009 tanggal 1 Juni 2009.
8. Surat Keputusan Rektor Universitas Bina Darma Nomor: 0001/SK/Univ-BD/I/2019 tanggal 10 Januari 2019.

MEMUTUSKAN

- Menetapkan :
PERTAMA : Menunjuk dan menugaskan saudara:

Prof.Ir.Nurly Gofar. MSCE.,Ph.D.

sebagai Pembimbing dalam penyusunan Tesis bagi mahasiswa dibawah ini:

Nama : MUTTIAH KHOIRINI
NIM : 212710017
Konsentrasi : GEOTEKNIK
Judul Tesis : PENGARUH AIR DAN RETAKAN PADA STABILISASI LERENG

- KEDUA : Surat Keputusan ini berlaku 6 (enam) bulan sejak tanggal ditetapkan dan apabila dalam waktu tersebut mahasiswa belum menyelesaikan, maka akan diterbitkan Surat Keputusan Pembimbing yang baru, dengan ketentuan apabila dikemudian hari terdapat kekeliruan dalam penetapan ini, akan diperbaiki sebagaimana mestinya;
- KETIGA : Surat Keputusan asli ini diberikan kepada mahasiswa yang bersangkutan untuk dilaksanakan dan diindahkan sebagaimana mestinya.

Ditetapkan di: Palembang
Pada Tanggal: 1 April 2024
Direktur

Universitas **Bina
Darma**
PROGRAM PASCASARJANA
Prof. Isnawijayani, M.Si., Ph.D.

- Tembusan:
1. Pembimbing
2. Arsip