



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN  
DAN LAMA WAKTU HUJAN  
TERHADAP KELONGSORAN TANAH  
DITINJAU DARI SISI GEOTEKNIK**

**SKRIPSI**

**EKA PERMANA**

**0806454191**

**FAKULTAS TEKNIK  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
DEPOK  
JULI 2012**



**UNIVERSITAS INDONESIA**

**PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN  
DAN LAMA WAKTU HUJAN  
TERHADAP KELONGSORAN TANAH  
DITINJAU DARI SISI GEOTEKNIK**

**SKRIPSI**

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar  
Sarjana Teknik**

**EKA PERMANA**

**0806454191**

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS TEKNIK**

**UNIVERSITAS INDONESIA**

**DEPOK**

**JULI 2012**

## HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

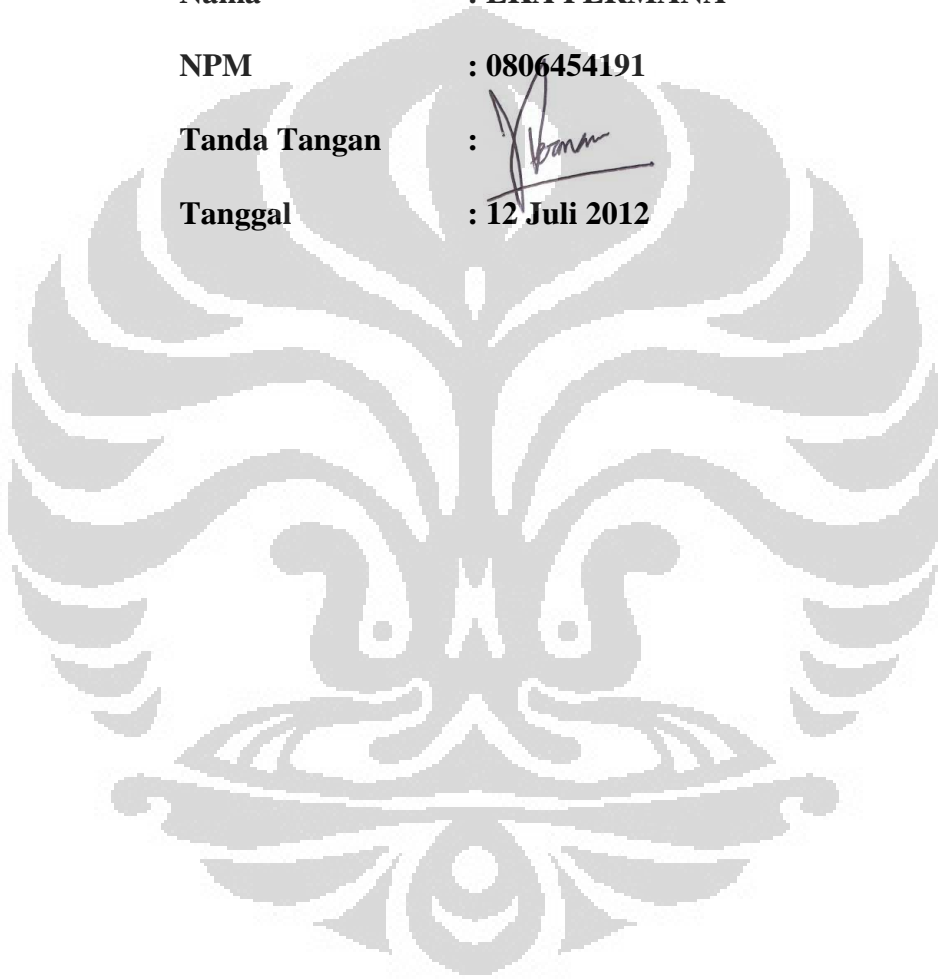
Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri, dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk telah saya nyatakan dengan benar.

Nama : EKA PERMANA

NPM : 0806454191

Tanda Tangan : 

Tanggal : 12 Juli 2012



## HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :  
Nama : **EKA PERMANA**  
NPM : **0806454191**  
Program Studi : **S1 Reguler Teknik Sipil**  
Judul Skripsi : **Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan  
Lama Waktu Hujan terhadap Kelongsoran  
Tanah Ditinjau dari Sisi Geoteknik**

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Indonesia

### DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Prof. Dr. Ir. TOMMY ILYAS, MEng.

Penguji : Dr. Ir. WIWIK RAHAYU, DEA.

Penguji : Ir. WIDJOJO ADI PRAKOSO, MSc. PhD.

Ditetapkan di : Depok

Tanggal : 6 Juli 2012

## KATA PENGANTAR / UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT atas berkah, karunia, nikmat, rizki, kesehatan, dan berkah-Nya, saya dapat menyelesaikan Skripsi ini. Penulisan Skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sejak masa perkuliahan sampai pada penyusunan Skripsi ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan Skripsi ini. Oleh sebab itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Tommy Ilyas, MEng. selaku dosen pembimbing yang telah begitu baik hati menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan Skripsi ini.
2. Teman-teman mahasiswa Teknik Sipil 2008 Kelompok Ilmu Geoteknik yang telah banyak membantu dalam usaha memperoleh data yang saya perlukan: Nurmanda Ramadhani, Meizar M. Marambak, Ricky Kapri S. M. B., Ryan Rakhmat Setiadi, Piawai Said Umbara, Kika Pranika, Sandy Sanjaya, Ahmad Rifqi.
3. Orang tua (Nano Lesmono, SSi Apt. dan Sri Sulastri) dan keluarga saya yang telah banyak memberikan bantuan dukungan material dan moral.
4. Keluarga besar Laboratorium Mekanika Tanah: Ir. Widjojo Adi Prakoso, MSc., PhD.; Bang Eko Sumanto Putro, ST.; Bung Yustian Heri Suprpto, ST., MT.; Pak Wardoyo; Pak Sunarto; Pak Acong, Pak Syafrudin; Pak Anto; dan Ibu Tri. Terima kasih telah menerima saya dengan sangat baik di laboratorium.
5. Dosen-dosen Geoteknik selama ini yang telah mengajarkan ilmu Geologi Teknik dan Properti Tanah, Mekanika Tanah II, Rekayasa Pondasi, Stabilitas Lereng dan Perbaikan Tanah, Topik Khusus Geoteknik, Investigasi Geoteknik, Metode Konstruksi Geoteknik, Metode Numerik Geoteknik, dan *Advanced Foundation Engineering*; yaitu: Pak Tommy, Bu Wiwik, Pak Widjojo, Pak Damrizal, Pak Paulus K., Pak Irawan, Dr. Eric Vincens, Pak Dandung Sri Harninto, dan Pak Errie Hendriawan. Saya berhutang budi banyak pada Bapak dan Ibu dosen sejak pertama kali saya diperkenalkan pada Mekanika Tanah sekitar tiga tahun lalu.
6. Teman-teman Sipil Lingkungan 2008 yang semuanya menyemangati saya dalam menyusun Skripsi ini.
7. Kondusifnya situasi dan kondisi di komputer dewa Lab Mektan tempat saya modeling Geoslope (*alhamdulillah*, saya jarang berebut dengan para laboran dan Ricky Kapri; *wasyukurillah*, koneksi LAN-nya kencang, + *Sipil WiFi-3* juga

kencang); Mushola Teknik (Mustek) tempat saya begadang mengerjakan Skripsi *till kick-off*; Perpus Pusat UI lantai ketiga, tempat saya mendapatkan referensi Skripsi senior, dan lantai kedua, tempat saya mencari buku-buku Geoteknik, Asrama Mata Air Biru FTUI tempat saya menyusun Skripsi.

8. Ibu Dr. Wiwik Rahayu, DEA. selaku Ketua Sidang Skripsi yang menyatakan ketertarikannya terhadap penelitian saya, beserta masukan dan saran bagi kelanjutan penelitian saya dalam bidang mitigasi bencana.
  9. Ir. Widjojo Adi Prakoso, Msc., PhD. selaku Dosen Penguji Sidang Skripsi atas pertanyaan-pertanyaan yang justru membuat saya lebih memahami perilaku tanah akibat hujan, dan masukan terhadap penelitian saya.
  10. Ibu Siti Murniningsih, Ketua Laboratorium HHS, yang telah memberikan masukan berarti berupa batasan pada judul Skripsi saya, "Ditinjau dari Sisi Geoteknik".
  11. Ibu Mulia Orientilize, ST. MEng. dan Pak Ir. Ruswan Rasul, MSi. selaku Pembimbing Akademik saya.
  12. Teman-teman ataupun junior Sipil Geoteknik yang menggunakan Skripsi saya sebagai referensi. Saya senang bisa membantu dan saya pun berempati terhadap kesulitan yang kalian rasakan. Saya dapat dihubungi di nomor *hand phone* 0852 2460 8773.
  13. Mba' Dian, Mba' Wati, Bang Hamid, Bang Jali, Pak Wahyudi.
- Akhir kata, saya berharap Allah SWT berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Depok, 12 Juli 2012

Penulis

## HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

---

Sebagai sivitas akademika Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : EKA PERMANA  
NPM : 0806454191  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Departemen : TEKNIK SIPIL  
Fakultas : TEKNIK  
Jenis Karya : SKRIPSI

demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN DAN LAMA WAKTU HUJAN  
TERHADAP KELONGSORAN TANAH DITINJAU DARI SISI GEOTEKNIK

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini, Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : DEPOK

Pada tanggal : 12 Juli 2012

Yang menyatakan

  
(EKA PERMANA)

## ABSTRAK

Nama : EKA PERMANA  
Program Studi : TEKNIK SIPIL  
Judul : PENGARUH INTENSITAS CURAH HUJAN DAN LAMA  
WAKTU HUJAN TERHADAP KELONGSORAN TANAH  
DITINJAU DARI SISI GEOTEKNIK

Delapan kasus kelongsoran tertentu akibat hujan di Jawa selama satu dekade terakhir dimodelkan menggunakan analisis balik SLOPE/W berdasarkan pada sumber data sekunder dan studi parametrik. Analisis dilakukan pada berbagai permodelan lereng dengan variasi: (berat jenis, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah, serta elevasi muka air tanah, yang menghasilkan angka faktor keamanan mendekati satu. Hasil analisis secara statistik memperlihatkan bahwa pengaruh curah hujan intens dan lama akan meningkatkan berat jenis tanah, menurunkan nilai kohesi dan sudut geser, meningkatkan elevasi muka air tanah, dan akhirnya menurunkan angka faktor keamanan lereng. Hasil ini berlaku untuk delapan permodelan kasus kelongsoran.

Kata kunci:

Stabilitas lereng, berat jenis, kohesi, sudut geser, muka air tanah, tekanan air-pori, faktor keamanan, SLOPE/W, curah hujan, lama waktu hujan.



## ABSTRACT

Name : EKA PERMANA  
Majoring : CIVIL ENGINEERING  
Title : INFLUENCE OF RAINFALL INTENSITY AND ITS  
DURATION AGAINST LANDSLIDES

Eight particular cases of landslides in Java due to rainfall during the last decade was modeled using the back analysis SLOPE/W, based on secondary data sources and parametric study. Analyses were performed on various slopes modeling variation (unit weight, cohesion, and friction angle) for each layer of soil and ground water level, which generates a number close to one safety factor. The analysis shows that the influence of intense and long-term rainfall will increase unit weight, decrease cohesion and friction angle, increase the ground water level, and finally reduce slope safety factor. These results are valid for eight landslides case modeling.

**Key words:**

Slope stability, unit weight, cohesion, friction angle, ground water level, pore-water pressure, safety factor, SLOPE/W, rainfall.

## ABSTRAK YANG DIPERLUAS

Delapan kasus kelongsoran tertentu akibat hujan di Jawa selama satu dekade terakhir, yaitu: (1). Citatah - Bandung, 1993; (2). Kulon Progo, 2003; (3). Jember, 2006; (4). Karanganyar, 2007; (5). Cianjur, 2008; (6). Bogor, 2009; (7). Ciwidey - Bandung, 2010; dan (8). Wonosobo, 2011, dimodelkan menggunakan analisis balik SLOPE/W berdasarkan pada sumber data sekunder dan studi parametrik. Kasus pertama adalah lereng buatan, sedangkan tujuh kasus lainnya masih berupa lereng alami. Data yang dipergunakan untuk setiap kasus adalah: data lereng, yang meliputi: tinggi lereng, panjang lereng, kemiringan lereng, berat jenis, kohesi, sudut geser untuk setiap lapisan tanah, dan elevasi muka air tanah; serta data curah hujan pada saat lereng longsor.

Setelah data terkumpul, dilakukanlah pengecekan stabilitas lereng menggunakan SLOPE/W. Data yang diinput harus diverifikasi terlebih dahulu agar hasil iterasi yang didapatkan sebisa mungkin mendekati keadaan asli di lapangan. Spesifikasi analisis pada SLOPE/W adalah: (1). tipe analisis: *Morgenstern-Price*, (2). kondisi bertekanan air-pori dihitung dari elevasi muka air tanah ke bawah, (3). terdapat tujuh model dengan arah pergerakan bidang gelincir ke kanan dan satu model ke kiri, (4). pilihan bidang gelincir adalah *grid & radius* yang seletak untuk setiap kasus longsor, dan (5). elevasi muka air tanah diasumsikan hampir mengikuti kemiringan lereng. Jika data geometri dan parameter tanah pada lereng yang ditinjau tidak didapatkan, dilakukanlah studi parametrik melihat pada jenis tanah daerah yang bersangkutan, dan juga korelasi-korelasi parameter yang sering digunakan, untuk tanah Pulau Jawa. Dari perhitungan iterasi SLOPE/W, didapatkanlah faktor keamanan dan bidang gelincir lereng-lereng eksisting. Pada kasus pertama, faktor keamanan jauh di atas satu. Hal ini sesuai dengan kondisi lapangan yang menyatakan bahwa lereng tersebut telah direkayasa sehingga berjenis lereng buatan. Sedangkan pada tujuh kasus lainnya, didapatkan faktor keamanan lereng mendekati satu. Hal ini menunjukkan bahwa lereng kurang mantap.

Analisis dilanjutkan pada berbagai permodelan lereng dengan variasi: (berat jenis, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah, serta elevasi muka air tanah. Rentang perubahan terbesar terdapat pada variasi nilai kohesi, sedangkan yang terkecil adalah berat jenis. Dilakukan variasi peningkatan berat jenis, penurunan kohesi, penurunan sudut geser, dan peningkatan elevasi muka air tanah, beserta kombinasinya. Setiap varian menghasilkan faktor keamanan yang kurang dari faktor keamanan eksistingnya. Hal ini menunjukkan bahwa variasi parameter sebagai dampak curah hujan intens dan lama, yang diterapkan pada lereng, akan memicu lereng menjadi longsor. Varian yang terakhir pada setiap kasus kelongsoran dilakukan dengan analisis balik, dengan mencari pasangan nilai berat jenis, kohesi, sudut geser untuk setiap lapisan tanah, dan elevasi muka air tanah pada saat lereng tepat akan longsor; yaitu yang menghasilkan angka faktor keamanan mendekati satu.

Hasil analisis secara statistik juga memperlihatkan bahwa pengaruh curah hujan intens dan lama akan meningkatkan berat jenis tanah, menurunkan nilai kohesi dan sudut geser, meningkatkan elevasi muka air tanah, dan akhirnya menurunkan angka faktor keamanan lereng. Uniknya, hasil ini berlaku untuk delapan permodelan kasus kelongsoran. Dari keempat parameter, diketahui bahwa perubahan pada kohesi paling mempengaruhi perubahan pada faktor keamanan. Jadi, pemantauan yang paling diperlukan pada lereng dengan curah hujan intens dan lama adalah perubahan kohesi sebelum, pada saat, dan setelah longsor.

Kata kunci:

Stabilitas lereng, berat jenis, kohesi, sudut geser, muka air tanah, tekanan air-pori, faktor keamanan, SLOPE/W, curah hujan, lama waktu hujan.

## EXTENDED ABSTRACT

Eight particular cases of landslides in Java due to rainfall during the last decade, namely: (1). Citatah - Bandung, 1993; (2). Kulon Progo, 2003, (3). Jember, 2006; (4). Karanganyar, 2007, (5). Cianjur, 2008, (6). Bogor, 2009, (7). Ciwidey - Bandung, 2010; and (8). Wonosobo, 2011, were modeled using the back analysis SLOPE/W based on secondary data sources and parametric study. The first case is an artificial slope, while the other seven cases are still in the form of a natural slope. The data needed for each case are: (1) slope data, which include: slope height, slope length, slope angle, unit weight, cohesion, friction angle for each layer of soil, and ground water level; and (2) rainfall data at landslide.

Once the data is collected, checking the stability of slopes was performed using SLOPE/W. Inputted data should be verified first iteration results obtained for as much as possible close to the original situation in the field. Specification analysis of SLOPE/W are: (1). types of analysis: *Morgenstern-Price*, (2). pore-water pressure conditions are calculated from the ground water level to the bottom, (3). there are seven models with left to right slip surface direction, and one model is right to left, (4). slip surface option is "grid and radius" in the same coordinate for every case of landslides, and (5). ground water level is assumed to follow the slope angle. If the data geometry and parameters of the soil on slopes that are reviewed are not available, see the parametric study and parameter correlations, especially, for the Java's soil. From iteration of the calculation of SLOPE/W, safety factor and slip surface are obtained. In the first case, the safety factor is far in excess of one. This is suitable with field conditions stating that the slope has been engineered so that the type of artificial slopes. Meanwhile, in seven other cases, the safety factor obtained slope close to one. This shows that the slope is less stable.

The analysis was continued on parameter variation of slope modeling: (unit weight, cohesion, and friction angle) for each layer of soil and ground water level. The farthest range is on the variation of cohesion, while the nearest is on the unit weight. The variations are increase in unit weight, decrease in cohesion, reduction in friction angle, increase in ground water level, and their combination.

Each variant produced a safety factor of less than beginning safety factor. This indicates that the parameter variations as a result of intense and long-term rainfall, which is applied to the slope, would trigger a landslide. The last variant in each landslides case done using back analysis, by looking for the pair unit weight, cohesion, friction angle for each layer of soil, and ground water level at the proper slope will avalanche, which generates a number nearly close to one safety factor.

The results of statistical analysis also showed that the influence of intense and long-term rainfall will increase the unit weight of the soil, lowering the value of cohesion and friction angle, increase the level of the ground water, and ultimately reduce the number of slope safety factor. Interestingly, this result applies to the eight landslides case modeling. Of the four parameters, it is known that changes to the cohesion cause the most influential changes to the safety factor. Thus, the most needed monitoring on the slopes with intense and long-term rainfall is the change in cohesion; before, during, and after the landslide.

Key words:

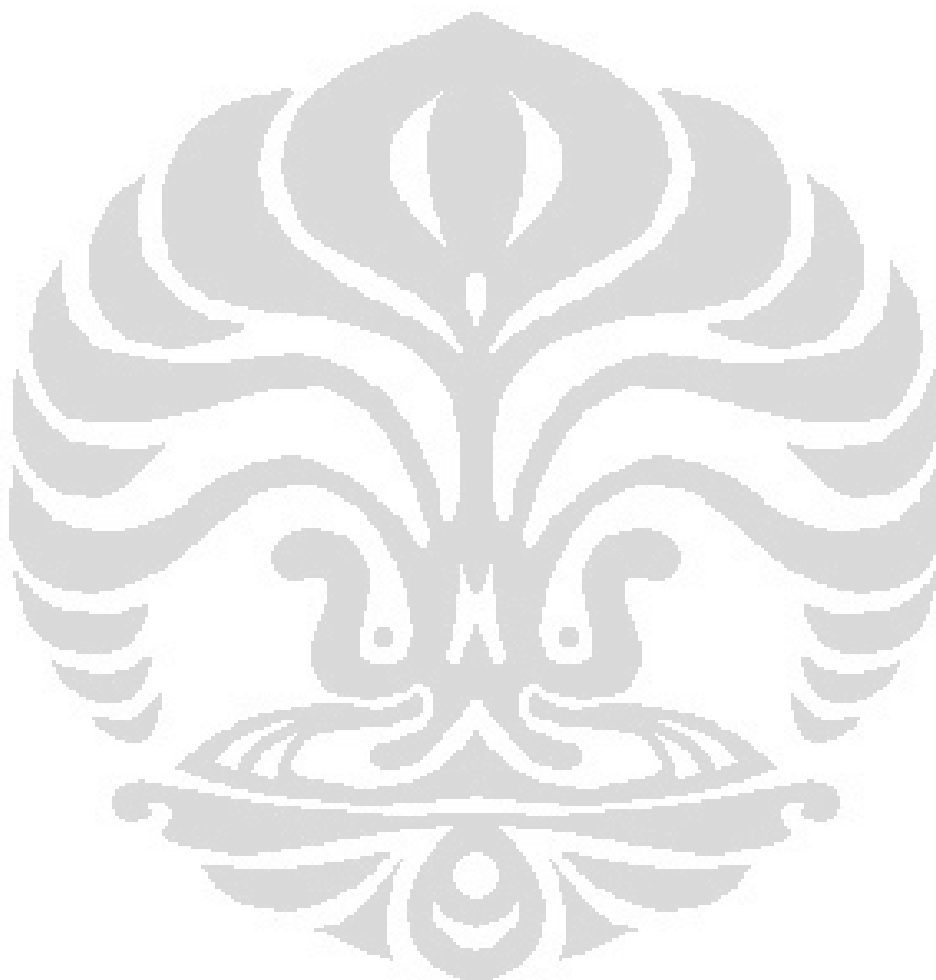
Slope stability, unit weight, cohesion, friction angle, ground water level, pore-water pressure, safety factor, SLOPE/W, rainfall intensity, rainfall duration.

## DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
KATA PENGANTAR ATAU UCAPAN TERIMA KASIH .....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH .....	vi
ABSTRAK .....	vii
ABSTRACT.....	viii
ABSTRAK YANG DIPERLUAS .....	ix
EXTENDED ABSTRACT .....	xi
DAFTAR ISI.....	xiii
DAFTAR GAMBAR .....	xvi
DAFTAR TABEL.....	xxi
DAFTAR DIAGRAM.....	xxii
DAFTAR GRAFIK.....	xxiii
<b>1. PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Perumusan Masalah .....	2
1.3 Tujuan Penelitian .....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Hipotesis.....	4
1.6 Batasan Penelitian .....	5
1.7 Sistematika Penulisan .....	6
<b>2. TINJAUAN PUSTAKA</b>	
2.1 Prinsip Mekanika Tanah untuk Stabilitas Lereng .....	8
2.1.1 Rembesan .....	8
2.1.2 Tegangan Efektif.....	10
2.1.3 Pengaruh Rembesan terhadap Tegangan Efektif .....	12
2.1.4 Kekuatan Geser .....	13
2.2 Konsep Analisis Stabilitas Lereng dengan Berbagai Metode .....	14
2.3 Jenis-jenis Metode Perbaikan Lereng .....	17
2.3.1 Metode Sederhana.....	18
a. Penanaman Vegetasi <i>Agroforestry</i> .....	18
b. <i>Removed Load</i> .....	20
2.3.2 Metode Kompleks .....	21
2.4 Kelongsoran .....	23
2.5 Curah Hujan Pemicu Longsor.....	35
2.6 Kelongsoran di Indonesia (Pulau Jawa) dan Mancanegara yang dipicu Curah Hujan .....	36
2.6.1 Pulau Jawa.....	36
a. Kulonprogo, 2003.....	36
b. Jember, 2006 .....	37

c. Karanganyar, 2007 .....	38
d. Cianjur, 2008.....	39
e. Bogor, 2009 .....	39
f. Wonosobo, 2011 .....	40
g. Depok, 2012 .....	40
2.6.2 Mancanegara .....	41
a. Hong Kong, 1972 .....	41
b. Jepang, 1998.....	42
c. Taiwan, 2004 .....	43
d. Filipina, 2012 .....	44
2.7 Cara Pengamatan Stabilitas (monitoring dan instrumentasi) oleh Cliffs.....	44
2.8 Prinsip Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor .....	46
2.8.1 Ambang Hujan dan Pendekatannya .....	46
2.8.2 Kelebihan dan Keterbatasan Ambang Hujan .....	59
2.8.3 Aplikasi Ambang Hujan untuk Peringatan Dini .....	60
<b>3. METODOLOGI PENELITIAN</b>	
3.1 Proses Pengumpulan Data.....	65
3.2 Proses Permodelan Numerik.....	66
3.4 Proses Perumusan .....	73
<b>4. PERMODELAN</b>	
4.1 Permodelan (Apa, Mengapa, Bagaimana) .....	76
4.2 Fenomena Geoteknik - yang Dipengaruhi oleh Intensitas Curah Hujan dan Lama Waktu Hujan - sebagai Input Permodelan.....	78
4.3 Permodelan Kasus-kasus Kelongsoran .....	79
4.3.1 Permodelan Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993 .....	81
4.3.2 Permodelan Kasus Longsor Kulonprogo, 2003 .....	87
4.3.3 Permodelan Kasus Longsor Jember, 2006 .....	92
4.3.4 Permodelan Kasus Longsor Karanganyar, 2007 .....	97
4.3.5 Permodelan Kasus Longsor Cianjur, 2008.....	102
4.3.6 Permodelan Kasus Longsor Bogor, 2009.....	108
4.3.7 Permodelan Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010 .....	112
4.3.8 Permodelan Kasus Longsor Wonosobo, 2011 .....	118
<b>5. ANALISIS</b>	
5.1 Analisis Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993 .....	123
5.2 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Kulonprogo, 2003 .....	135
5.3 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Jember, 2006.....	137
5.4 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Karanganyar, 2007 .....	140
5.5 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Cianjur, 2008 .....	142
5.6 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Bogor, 2009 .....	144
5.7 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010 .....	147
5.8 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Wonosobo, 2011 .....	150
5.9 Rekapitulasi Analisis Kasus-kasus Kelongsoran yang Ditinjau .....	152

<b>6. PENUTUP</b>	
6.1 Kesimpulan .....	155
6.2 Saran.....	156
<b>DAFTAR REFERENSI .....</b>	<b>157</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>.....</b>





## DAFTAR GAMBAR

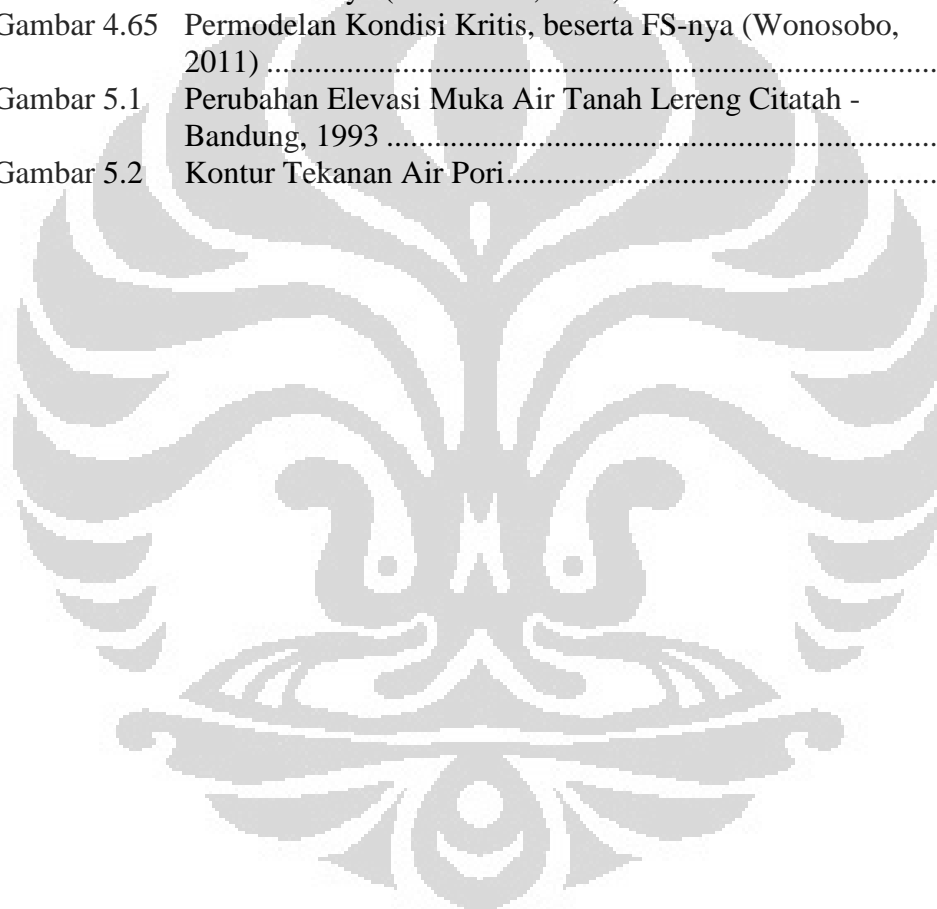
Gambar 2.1	Rembesan Melalui Suatu Elemen Tanah .....	10
Gambar 2.2	Interpretasi Tegangan Efektif.....	11
Gambar 2.3	Pengaruh Rembesan terhadap Tegangan Efektif .....	12
Gambar 2.4	Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan SLOPE/W .....	16
Gambar 2.5	Metode Morgenstern - Price .....	17
Gambar 2.6	Metode Perbaikan Lereng dengan Vegetasi.....	19
Gambar 2.7	Perbaikan Lereng dengan Agroforestry .....	20
Gambar 2.8	Metode Kompleks .....	23
Gambar 2.9	Bentuk Longsoran Rotasi dan Translasi .....	27
Gambar 2.10	Bentuk Longsoran Falls pada Batuan .....	28
Gambar 2.11	Bentuk dan Contoh Longsoran <i>Topples</i> .....	28
Gambar 2.12	Bentuk Longsoran <i>Debris Flow</i> .....	29
Gambar 2.13	Bentuk Longsoran <i>Debris Avalanche</i> .....	29
Gambar 2.14	Bentuk Longsoran <i>Earthflow</i> .....	30
Gambar 2.15	<i>Mudflow</i> Sidoarjo .....	30
Gambar 2.16	Bentuk Longsoran <i>Creep</i> .....	31
Gambar 2.17	Bentuk Longsoran <i>Lateral Spreads</i> beserta Contoh Kasusnya .....	31
Gambar 2.18	Kelongsoran akibat Curah Hujan .....	33
Gambar 2.19	Kelongsoran akibat Gempa Bumi .....	33
Gambar 2.20	a. Kawah Gunung Berapi; b. Aliran Lahar Dingin; c. Kelongsoran akibat Gunung Berapi .....	34
Gambar 2.21	Tanah Longsor akibat Curah Hujan Tinggi di Kabupaten Kulon Progo, DIY .....	37
Gambar 2.22	Topografi dan Parameter Stabilitas Lereng Jember, 2006 .....	36
Gambar 2.23	Topografi dan Foto Longsor Karanganyar, 2007.....	38
Gambar 2.24	Longsor Cianjur, 2008 .....	39
Gambar 2.25	Geometri Lereng Bogor, 2009 .....	39
Gambar 2.26	Foto Longsor Wonosobo, 2011.....	40
Gambar 2.27	Kelongsoran Saluran Drainase Depok, 2012 .....	40
Gambar 2.28	Longsor Aliran Debris di Hong Kong, 1972.....	41
Gambar 2.29	Metode Korelasi Berdasarkan Curah Hujan 1 jam dan 24 jam.....	42
Gambar 2.30	Longsor Debris di Jepang, 1998.....	43
Gambar 2.31	Longsor Taiwan, 2004 .....	42
Gambar 2.32	Longsor Filipina Selatan, 2012 .....	44
Gambar 2.33	<i>Inclinometer</i> , <i>Piezometer</i> , dan <i>Extensometer</i> (Kiri ke Kanan) ..	44
Gambar 2.34	Hasil Monitoring CLIFFS Menggunakan Instrumentasi .....	45
Gambar 2.35	Parameter Hujan yang Digunakan untuk Ambang Hujan Pemicu Tanah Longsor (dimodifikasi dari Aleotti, 2004) .....	46
Gambar 2.36	Ambang Intensitas Hujan dan Lama Waktu untuk Jenis Longsoran Dangkal (Chleborad dkk., 2006).....	48
Gambar 2.37	Ambang Hujan Empirik untuk Aliran Debris di Taiwan (Chen dkk., 2005).....	49

Gambar 2.38	Kurva Intensitas Hujan – Lama Waktu (Angka pada Grafik adalah Nomor Urut Persamaan Sesuai Tabel 2.5) .....	51
Gambar 2.39	Ambang Intensitas Hujan yang Menyebabkan Permukaan Lereng Jenuh Air Hingga Zona Pembasahan (dimodifikasi dari Pradel & Raad, 1993).....	53
Gambar 2.40	Validasi Kurva Ambang Hujan dengan Model Fisik (dimodifikasi dari Crosta, 1998).....	55
Gambar 2.41	Kurva Ambang Hujan Ternormalisasi Berdasarkan Model Fisik (Muntohar dan Liao, 2009) .....	58
Gambar 2.42	Ambang Hujan yang Dikombinasikan dengan Pengukuran Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor (Dimodifikasi dari Keefer dkk., 1987) .....	61
Gambar 2.43	Jumlah Rata-rata Per Tahun Kejadian Longsor pada Variasi Jumlah Hujan (dimodifikasi dari Premchitt, 1997) .....	63
Gambar 2.44	Kriteria untuk Kurva Peringatan Longsor berdasarkan pada Ambang Hujan (dimodifikasi dari Aleotti, 2004) .....	63
Gambar 3.1	Penentuan Jenis Analisis .....	67
Gambar 3.2	Pengaturan Awal pada SLOPE/W .....	67
Gambar 3.3	Penentuan Properti Tanah pada SLOPE/W .....	67
Gambar 3.4	Penggambaran Garis pada SLOPE/W .....	68
Gambar 3.5	Pemilihan <i>Menu Toolbar</i> untuk Menggambar Garis Tekanan Air Pori .....	68
Gambar 3.6	Grid dan Radius Keruntuhan.....	69
Gambar 3.7	Grafik Stabilitas Lereng untuk Tanah $\phi = 0$ (Janbu 1968) .....	70
Gambar 3.8	Pemverifikasian Input Permodelan SLOPE/W .....	71
Gambar 3.9	Faktor Keamanan di SLOPE/W .....	71
Gambar 3.10	Slip Surface sebagai Output SLOPE/W .....	72
Gambar 4.1	Segitiga Burland.....	76
Gambar 4.2	Permodelan Eksisting dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993) .	82
Gambar 4.3	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993) .....	83
Gambar 4.4	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993).....	84
Gambar 4.5	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993).....	84
Gambar 4.6	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori terhadap Sumbu-X (m) (Citatah - Bandung, 1993) .....	85
Gambar 4.7	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993) .....	86
Gambar 4.8	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993).....	86
Gambar 4.9	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993) .....	87
Gambar 4.10	Permodelan Eksisting dan FS-nya (Kulon Progo, 2003) .....	88
Gambar 4.11	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Kulon Progo,	

	2003) .....	89
Gambar 4.12	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Kulon Progo, 2003) .....	90
Gambar 4.13	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)....	90
Gambar 4.14	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Kulon Progo, 2003).....	91
Gambar 4.15	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003)....	91
Gambar 4.16	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003).....	92
Gambar 4.17	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003) .....	92
Gambar 4.18	Permodelan Eksisting dan FS-nya (Jember, 2006) .....	94
Gambar 4.19	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Jember, 2006) .....	94
Gambar 4.20	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Jember, 2006) ...	95
Gambar 4.21	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Jember, 2006).....	95
Gambar 4.22	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Jember, 2006).....	96
Gambar 4.23	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Jember, 2006).....	96
Gambar 4.24	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Jember, 2006).....	97
Gambar 4.25	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Jember, 2006)....	97
Gambar 4.26	Permodelan Eksisting dan FS-nya (Karanganyar, 2007) .....	99
Gambar 4.27	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Karanganyar, 2007) .....	99
Gambar 4.28	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Karanganyar, 2007) .....	100
Gambar 4.29	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Karanganyar, 2007). .....	100
Gambar 4.30	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Karanganyar, 2007).....	101
Gambar 4.31	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Karanganyar, 2007)..	101
Gambar 4.32	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Karanganyar, 2007).....	102
Gambar 4.33	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Karanganyar, 2007) .....	102
Gambar 4.34	Permodelan Eksisting dan FS-nya (Cianjur, 2008).....	104
Gambar 4.35	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Cianjur, 2008) .....	105
Gambar 4.36	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Cianjur,	

	2008) .....	105
Gambar 4.37	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Cianjur, 2008) .....	106
Gambar 4.38	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Cianjur, 2008) .....	106
Gambar 4.39	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Cianjur, 2008).....	107
Gambar 4.40	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Cianjur, 2008) .....	107
Gambar 4.41	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Cianjur, 2008) ..	108
Gambar 4.42	Permodelan Eksisting, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Bogor, 2009) .....	109
Gambar 4.43	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Bogor, 2009) .....	110
Gambar 4.44	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Bogor, 2009)...	110
Gambar 4.45	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Bogor, 2009) .....	110
Gambar 4.46	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Bogor, 2009) .....	111
Gambar 4.47	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Bogor, 2009).....	111
Gambar 4.48	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Bogor, 2009) .....	112
Gambar 4.49	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Bogor, 2009) ....	112
Gambar 4.50	Permodelan Eksisting Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	115
Gambar 4.51	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	115
Gambar 4.52	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	116
Gambar 4.53	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	116
Gambar 4.54	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	117
Gambar 4.55	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	117
Gambar 4.56	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010).....	117
Gambar 4.57	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	118
Gambar 4.58	Permodelan Eksisting, Grafik Tekanan Air Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)...	119

Gambar 4.59	Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	119
Gambar 4.60	Permodelan <i>Cohesion</i> Menurun dan FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	120
Gambar 4.61	Permodelan <i>Phi</i> Menurun dan FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	120
Gambar 4.62	Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Wonosobo, 2011) .....	121
Gambar 4.63	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	121
Gambar 4.64	Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkatkan, beserta FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	122
Gambar 4.65	Permodelan Kondisi Kritis, beserta FS-nya (Wonosobo, 2011) .....	122
Gambar 5.1	Perubahan Elevasi Muka Air Tanah Lereng Citatah - Bandung, 1993 .....	127
Gambar 5.2	Kontur Tekanan Air Pori.....	128

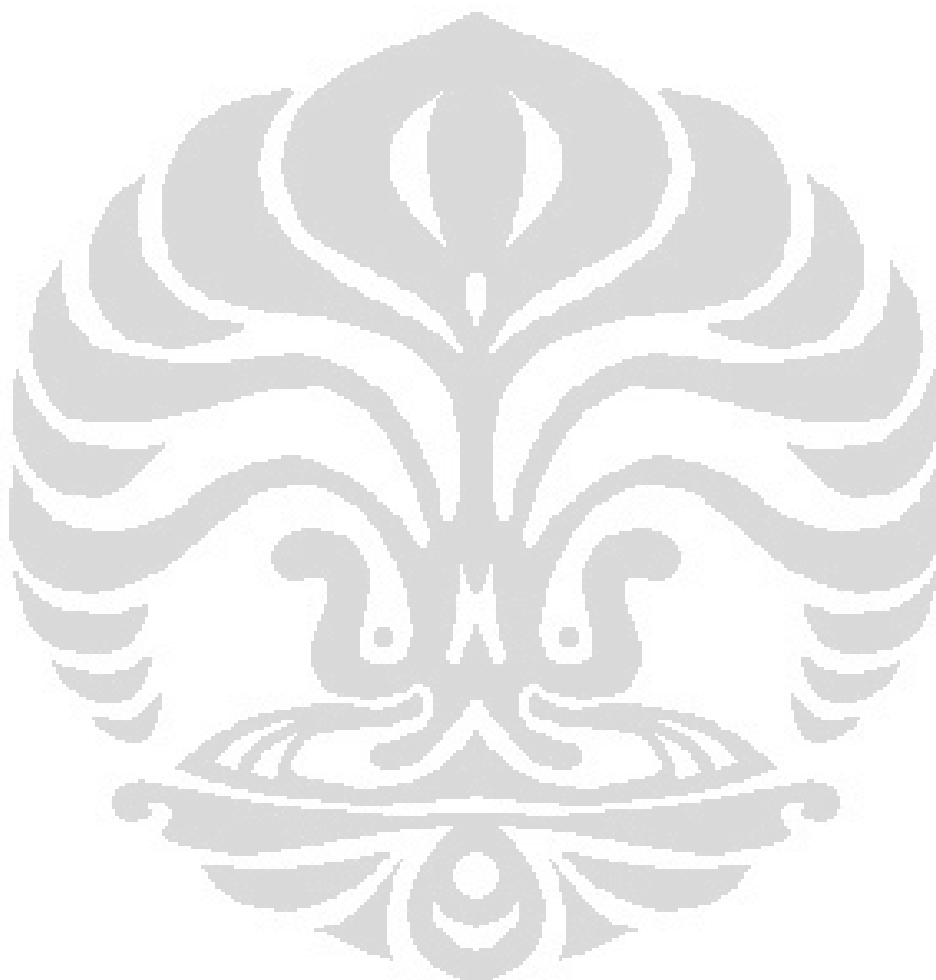


## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Koefisien Permeabilitas (m/s) (BS 8004:1986) .....	9
Tabel 2.2	Jenis-jenis Tanah yang Cocok untuk Setiap Jenis Metode Kompleks Perbaikan Lereng .....	22
Tabel 2.3	Tabel 2.3 Bentuk-bentuk Longsoran Berdasarkan Materialnya .....	32
Tabel 2.4	Keefektifan Metode Mereduksi Jumlah Korban Longsor Hong Kong .....	42
Tabel 2.5	Persamaan-persamaan Empirik Ambang Intensitas Hujan – Lama Waktu Pemicu Longsor (Guzzetti dkk., 2007) berdasarkan pada Materialnya .....	50
Tabel 3.1	Keterangan Flowchart .....	75
Tabel 4.1	Spesifikasi Analisis SLOPE/W .....	79
Tabel 4.2	Keterbatasan Data Primer Studi Kasus Kelongsoran.....	80
Tabel 4.3	Korelasi Parameter-Parameter yang Sering Digunakan.....	81
Tabel 4.4	Nilai Kohesi dan Sudut Geser untuk Tanah Jawa.....	81
Tabel 4.5	Sumber Data Kelongsoran Citatah - Bandung, 1993 .....	82
Tabel 4.6	Sumber Data Kelongsoran Kulon Progo, 2003.....	88
Tabel 4.7	Sumber Data Kelongsoran Jember, 2006.....	92
Tabel 4.8	Sumber Data Kelongsoran Karanganyar, 2007.....	97
Tabel 4.9	Sumber Data Kelongsoran Cianjur, 2008 .....	102
Tabel 4.10	Sumber Data Kelongsoran Bogor, 2009 .....	108
Tabel 4.11	Sumber Data Kelongsoran Ciwidey - Bandung, 2010.....	112
Tabel 4.12	Sumber Data Kelongsoran Wonosobo, 2011 .....	118
Tabel 5.1	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993 ...	131
Tabel 5.2	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Kulon Progo, 2003 .....	135
Tabel 5.3	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Jember, 2006.....	138
Tabel 5.4	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Karanganyar, 2007.....	140
Tabel 5.5	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Cianjur, 2008.....	142
Tabel 5.6	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Bogor, 2009.....	145
Tabel 5.7	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010 .	147
Tabel 5.8	Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Wonosobo, 2011 .....	150
Tabel 5.9	Rekapitulasi Analisis Kasus-kasus Kelongsoran yang Ditinjau ...	154

**DAFTAR DIAGRAM**

Diagram 2.1	<i>Flowchart</i> Proses Pengeluaran Peringatan Dini Longsor (Dimodifikasi dari Aleotti, 2004) .....	64
Diagram 3.1	<i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian .....	74

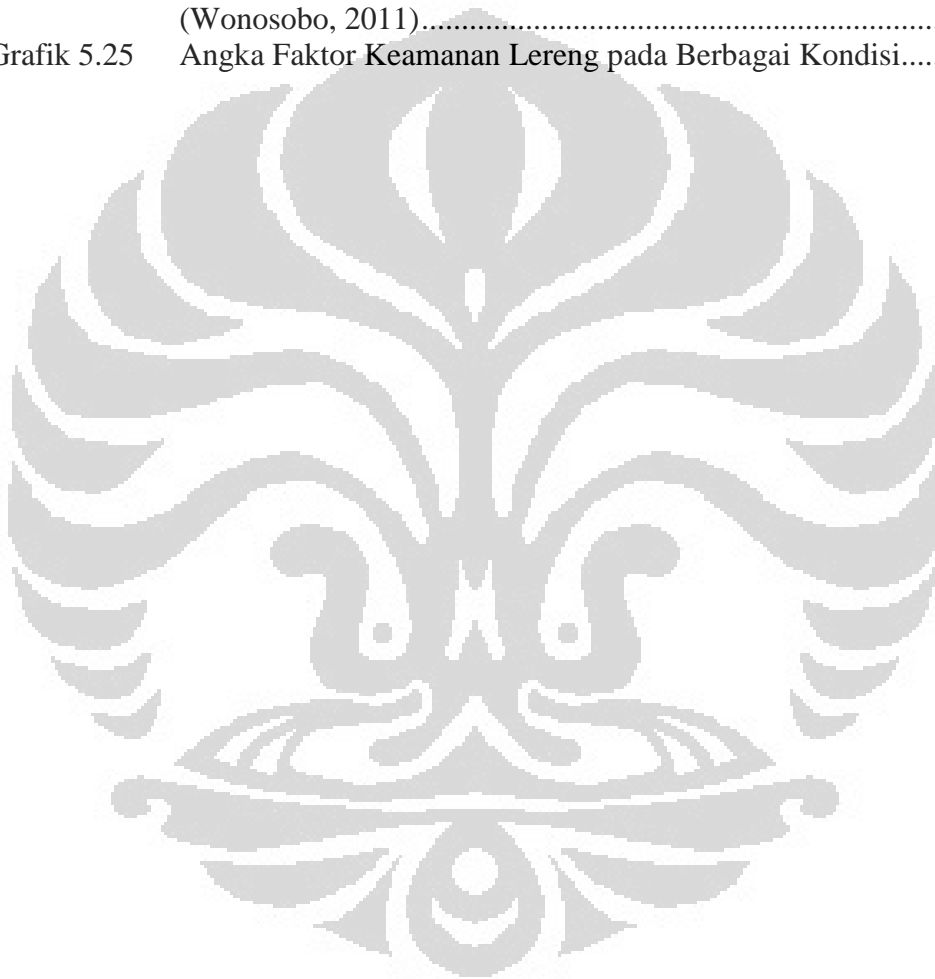


## DAFTAR GRAFIK

Grafik 5.1	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Citatah - Bandung, 1993) .....	131
Grafik 5.2	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Citatah - Bandung, 1993) .....	132
Grafik 5.3	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Citatah - Bandung, 1993) .....	134
Grafik 5.4 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003) .....	135
Grafik 5.4 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003) .....	136
Grafik 5.5	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003) .....	137
Grafik 5.6	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003) .....	137
Grafik 5.7 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006) .....	138
Grafik 5.7 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006) .....	138
Grafik 5.8	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006) .....	139
Grafik 5.9	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006) .....	139
Grafik 5.10 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007) .....	140
Grafik 5.10 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007) .....	141
Grafik 5.11	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007) .....	142
Grafik 5.12	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007) .....	143
Grafik 5.13 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008) .....	143
Grafik 5.13 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008) .....	143
Grafik 5.14	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008) .....	144
Grafik 5.15	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008) .....	144
Grafik 5.16 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009) .....	145
Grafik 5.16 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009) .....	146
Grafik 5.17	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009) .....	146
Grafik 5.18	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009) .....	147
Grafik 5.19 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010) .....	148
Grafik 5.19 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung 2010) .....	148



Grafik 5.20	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010).....	149
Grafik 5.21	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010).....	149
Grafik 5.22 (a)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011) .....	150
Grafik 5.22 (b)	Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011) .....	151
Grafik 5.23	Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011) .....	151
Grafik 5.24	Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011).....	152
Grafik 5.25	Angka Faktor Keamanan Lereng pada Berbagai Kondisi.....	152



# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Secara umum, jenis tanah pelapukan di Indonesia adalah hasil letusan gunung berapi yang bersifat subur dan memiliki komposisi mayoritas lempung dan minoritas pasir. Tanah pelapukan yang berada di atas batuan kedap air pada bidang tanah tidak rata atau lereng, dengan kemiringan sedang hingga terjal, berpotensi longsor pada musim hujan dengan curah hujan intens.

Dalam setiap literatur mengenai kelongsoran, selalu disebutkan bahwa curah hujan memang menjadi pemicu utama. Telah banyak kasus kelongsoran di dalam dan juga di luar negeri yang dipicu oleh curah hujan. Beberapa kasus kelongsoran akibat curah hujan di dalam negeri antara lain: Kulonprogo, 2003; Karanganyar, 2007; Jember, 2006; Cianjur, 2008; Bogor, 2009; Padang Pariaman, 2009; Situ Gintung, 2009; Nias, 2011; Wonosobo, 2011, dan Depok, 2012. Sedangkan di luar negeri antara lain: Hong Kong, 1972; Jepang, 1998; Taiwan, 2004; dan Filipina, 2012.

Kasus-kasus kelongsoran yang dipicu oleh curah hujan di atas perlu perhatian besar dari banyak pihak seperti: masyarakat yang tinggal di wilayah rawan longsor, pemerintah, relawan bencana, dan khususnya insinyur Teknik Sipil Geoteknik karena menyebabkan kerugian materi, tempat tinggal, bahkan nyawa manusia dalam jumlah yang besar. Insinyur Teknik Sipil Geoteknik harus bermanfaat bagi masyarakat dan lingkungan, khususnya dalam kasus kelongsoran yang dipicu oleh curah hujan. Dengan pengetahuannya mengenai ilmu Mekanika Tanah, Stabilitas Lereng, dan Hidrologi, khususnya, dapat diketahui hubungan antara curah hujan dengan parameter-parameter tanah pada stabilitas lereng sehingga dapat diketahui parameter tertentu yang menyebabkan suatu lereng dapat longsor.

Salah satu tantangan dalam analisis tanah longsor adalah kapan lereng dapat longsor. Tulisan ini juga menyajikan metode untuk menjawab pertanyaan kapan, yaitu ambang hujan (*rainfall threshold*). Berdasarkan pada data kejadian longsor dan curah hujan di berbagai daerah di Pulau Jawa

selama satu dekade terakhir, dapat dibuat usulan ambang hujan secara empirik untuk wilayah tersebut. Analisis empirik menghasilkan ambang hujan yang memicu longsor mengikuti persamaan dengan variabel intensitas hujan dan lama waktu hujan. Intensitas hujan harian yang melebihi ambang hujan diperkirakan sebagai pemicu longsor (Muntohar, 2009).

Berdasarkan latar belakang di atas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian dengan tema “**Pengaruh Intensitas Curah Hujan dan Lama Waktu Hujan terhadap Kelongsoran Ditinjau dari Sisi Geoteknik**”.

## 1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang masalah di atas, dapat dirumuskan permasalahan sebagai berikut:

1. Berapakah nilai faktor keamanan lereng eksisting yang dimodelkan berdasarkan pada data sekunder dari *fact-finding* kasus-kasus kelongsoran yang ditinjau?
2. Berapakah nilai dan perubahan: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah; serta elevasi muka air tanah lereng-lereng yang sudah dimodifikasi?
3. Berapakah nilai dan perubahan: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah; serta elevasi muka air tanah yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil / mulai longsor /  $FS \approx 1,000$ ?
4. Bagaimanakah pengaruh nilai: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah, serta elevasi muka air tanah terhadap faktor keamanan lereng?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan diadakannya penelitian ini adalah untuk menjawab perumusan masalah di atas, yaitu sebagai berikut:

1. Menentukan angka faktor keamanan lereng eksisting yang dimodelkan berdasarkan pada data sekunder dari *fact-finding* kasus-kasus kelongsoran yang ditinjau.
2. Menentukan nilai dan perubahan: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah; serta elevasi muka air tanah lereng-lereng yang sudah dimodifikasi?
3. Menentukan nilai dan perubahan: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah; serta elevasi muka air tanah yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil / mulai longsor /  $FS \approx 1,000$ ?
4. Mengetahui pengaruh nilai: (berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser) untuk setiap lapisan tanah, serta elevasi muka air tanah terhadap faktor keamanan lereng.

Tujuan penulis menerangkan, membuktikan, mengaplikasikan: gejala, konsep, dan dugaan kelongsoran lereng akibat curah hujan adalah agar pembaca memiliki kesadaran, antisipasi, rekomendasi, dan solusi perbaikan tanah pada lereng akibat curah hujan. Untuk mendapatkan pemahaman yang baik mengenai kelongsoran lereng akibat curah hujan, digunakan permodelan numerik.

### 1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari penelitian ini ditinjau dari berbagai aspek adalah sebagai berikut:

No.	Aspek	Manfaat
1.	Pengembangan iptek	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diketuainya pengaruh nilai: (berat jenis tanah, kohesi, sudut geser) untuk setiap lapisan tanah dan elevasi muka air tanah terhadap angka faktor keamanan lereng.</li> <li>2. Diterapkannya ilmu stabilitas lereng dan hidrologi air di bawah tanah.</li> <li>3. Digunakannya permodelan numerik untuk memahami kelongsoran lereng akibat tanah yang menjadi jenuh, kohesi dan sudut geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat.</li> </ol>
2.	Penanganan longsor	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diketuainya cara pengamatan (<i>monitoring</i> dan instrumentasi) stabilitas lereng terhadap curah hujan.</li> <li>2. Diketuainya berbagai metode perbaikan tanah pada lereng.</li> </ol>
3.	Mitigasi bencana	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Diketuainya ambang hujan untuk peringatan dini tanah longsor.</li> </ol>

Tabel 1.1 Manfaat Penelitian Ditinjau dari Berbagai Aspek

### 1.5 Hipotesis

Peningkatan intensitas curah hujan dan lama waktu hujan menyebabkan tanah menjadi jenuh, menurunnya kohesi dan sudut geser, meningkatkan elevasi muka air tanah, meningkatkan tekanan air-pori, mengurangi tegangan efektif tanah begitu pula kekuatan gesernya, sehingga menurunkan faktor keamanan lereng dan berpotensi untuk longsor. Jika disederhanakan, hipotesis penelitian ini adalah sebagai berikut:

$$I, D \sim \gamma \sim \frac{1}{c} \sim \frac{1}{\phi} \sim \frac{\nabla}{\tau} \sim u \sim \frac{1}{\sigma'} \sim \frac{1}{\tau} \sim \frac{1}{FS}$$

## 1.6 Batasan Penelitian

Pembahasan penelitian ini hanya pada aspek keterkaitan data curah hujan terhadap kelongsoran lereng. Adapun berbagai batasan yang diterapkan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Tidak akan memodelkan pengaruh intensitas curah hujan dan durasi hujan karena hal itu adalah permasalahan Hidrologi. Akan tetapi, dilakukan permodelan dampak-dampak dari intensitas curah hujan dan durasi hujan, yaitu: tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat; terhadap faktor keamanan lereng.
2. Batasan wilayah dan waktu pemilihan *fact-finding* berupa kasus kelongsoran lereng adalah: Pulau Jawa selama satu dekade terakhir (2002 - 2012) ditambah 1993.
3. Digunakan data sekunder / studi parametrik melihat pada jenis tanah setempat, mengingat keterbatasan data lapangan.
4. Dilakukan estimasi elevasi muka air tanah untuk permodelan lereng yang ditinjau.
5. Kasus-kasus kelongsoran lereng akibat curah hujan intens yang ditinjau:
  - a. Citatah - Bandung, 1993
  - b. Kulonprogo, 2003
  - c. Jember, 2006
  - d. Karanganyar, 2007
  - e. Cianjur, 2008
  - f. Bogor, 2009
  - g. Ciwidey - Bandung, 2010
  - h. Wonosobo, 2011
6. Walau digunakan studi kasus kelongsoran, diasumsikan bahwa lereng belum diketahui longsor atau tidak.
7. Peninjauan hanya terhadap kelongsoran tanah, tanpa peninjauan terhadap kelongsoran batuan.
8. Digunakan permodelan numerik Program SLOPE/W version 5.20  
*Licensed.*

## 1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan Skripsi ini dibagi menjadi enam bab, dengan pembagian bab sebagai berikut:

### Bab I Pendahuluan

Berisi: latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, hipotesis, batasan penelitian, dan sistematika penulisan dari Skripsi ini.

### Bab II Tinjauan Pustaka

Menguraikan kajian pustaka yang mendasari penelitian mengenai hubungan antara curah hujan dengan kelongsoran yang akan dilakukan, yang diambil dari sumber acuan terbaru, misalnya dari buku, jurnal, materi kuliah, asistensi dengan dosen pembimbing, contoh tugas akhir, dan *browsing internet*. Hal yang dibahas dalam bagian ini ialah teori yang relevan, teori penunjang topik, dan hasil penelitian sejenis terdahulu. Tujuannya ialah agar memperoleh pemahaman yang kuat dan mengakar, serta agar tidak terjadi pembahasan masalah yang sama atau duplikasi penelitian orang lain.

### Bab III Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian adalah serangkaian proses atau langkah-langkah yang direncanakan dilakukan untuk mencapai tujuan penelitian. Berbagai proses dijelaskan secara sistematis pada bagian ini, hingga pada akhirnya, rumusan masalah dapat terjawab sesuai yang diharapkan. Metodologi Skripsi ini adalah kerangka pengecekan stabilitas lereng dengan analisis balik perangkat lunak.

### Bab IV Permodelan

Memodelkan stabilitas lereng yang dipengaruhi oleh dampak-dampak curah hujan, seperti: tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser tanah menurun, elevasi muka air tanah meningkat, dan kombinasinya hingga

didapat angka faktor keamanan mendekati 1,000 yang menunjukkan lereng mulai longsor.

#### Bab V Analisis

Mengetahui pengaruh dampak-dampak curah hujan intens dan durasi hujan, yaitu: tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, elevasi muka air tanah terhadap angka faktor keamanan lereng sekaligus mengetahui hubungan antara curah hujan dengan kelongsoran berdasarkan pada permodelan yang dijalankan, referensi, dan penelitian sebelumnya. permodelan dan analisis terhadap lereng yang ditinjau sekaligus menjawab perumusan masalah berapakah intensitas curah hujan dan lama waktu hujan yang menyebabkan tanah menjadi jenuh.

#### Bab VI Penutup

Berisi kesimpulan dari keseluruhan penelitian yang dilakukan yang tentunya menjawab perumusan masalah berapakah perubahan nilai berat jenis tanah, parameter kuat geser tanah, dan elevasi muka air tanah yang menyebabkan lereng mulai longsor (FS mendekati satu), serta saran untuk kebaikan penelitian selanjutnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

Sistematika penelitian di atas diharapkan akan mendapatkan hasil yang terstruktur sehingga pada akhirnya akan mudah dipahami dan dimengerti oleh pembaca dan bermanfaat bagi penelitian selanjutnya.



## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Prinsip Mekanika Tanah untuk Stabilitas Lereng

#### 2.1.1 Rembesan

Menurut R.F. Craig (2004), dalam bukunya: *Soil Mechanics 7<sup>th</sup> ed.*, semua jenis tanah dapat meloloskan air (*permeable*), di mana air bebas mengalir melalui ruang-ruang kosong (pori-pori) yang terdapat di antara butiran-butiran tanah. Tekanan pori diukur relatif terhadap tekanan atmosfer. Permukaan lapisan tanah yang tekanannya sama dengan tekanan atmosfer dinamakan muka air tanah atau permukaan freatik. Di bawah muka air tanah, tanah diasumsikan jenuh, walaupun sebenarnya tidak demikian karena adanya rongga-rongga udara. Dengan demikian, tingkat kejenuhan tanah biasanya di bawah 100%.

Di bawah muka air tanah, air pori dapat berada dalam keadaan statis dengan tekanan hidrostatis bergantung pada kedalamannya, atau dapat juga merembes ke lapisan-lapisan tanah karena adanya gradien hidrolis. Teori Bernoulli berlaku untuk air pori. Namun, tinggi kecepatan (*velocity head*) diabaikan karena kecepatan rembesan pada tanah biasanya sangat kecil, sehingga:

$$h = \frac{u}{\gamma_w} + z$$

di mana  $h$  = tinggi energi total,  $u$  = tekanan air pori,  $\gamma_w$  = berat isi air ( $9,8 \text{ kN/m}^3$ ), dan  $z$  = elevasi dari datum.

Di atas muka air tanah, air mendapat tekanan negatif akibat adanya gaya kapiler. Tekanan negatif air yang berada di atas muka air tanah menimbulkan gaya tarik-menarik antarpartikel yang disebut pengisapan tanah (*soil suction*) yang merupakan fungsi dari ukuran pori-pori dan kadar air.

Untuk aliran air satu dimensi pada lapisan tanah jenuh sempurna, digunakan rumus empiris Darcy:

$$q = kiA \quad \text{atau} \quad v = \frac{q}{A} = ki$$

di mana  $q$  = volume air per satuan waktu,  $A$  = luas penampang tanah yang dilewati air,  $k$  = koefisien permeabilitas (m/s),  $i$  = gradien hidrolis, dan  $v$  = kecepatan aliran. Koefisien permeabilitas terutama bergantung pada ukuran rata-rata pori yang dipengaruhi oleh distribusi ukuran partikel, bentuk partikel, dan struktur tanah. Semakin kecil ukuran partikel, semakin kecil pula ukuran pori dan semakin rendah koefisien permeabilitasnya.

1	$10^{-1}$	$10^{-2}$	$10^{-3}$	$10^{-4}$	$10^{-5}$	$10^{-6}$	$10^{-7}$	$10^{-8}$	$10^{-9}$	$10^{-10}$
Clean gravels		Clean sands and sand-gravel mixtures		Very fine sands, silts and clay-silt laminate				Unfissured clays and clay-silts (>20% clay)		
		Desiccated and fissured clays								

Tabel 2.1 Koefisien Permeabilitas (m/s) (BS 8004:1986)

Gradien hidrolis pada suatu jarak  $x$  adalah konstan pada setiap kedalaman dan besarnya sama dengan kemiringan muka air tanah, yaitu:

$$i_x = \frac{dh}{dx}$$

di mana  $h$  adalah tinggi muka air tanah pada jarak  $x$ . Dalam teori rembesan dua dimensi, di mana tanah diasumsikan homogen dan isotropis dengan koefisien permeabilitas  $k$ , pada bidang  $x - z$ , Hukum Darcy dapat dituliskan sebagai berikut:

$$v_x = ki_x = -k \frac{\partial h}{\partial x}$$

$$v_z = ki_z = -k \frac{\partial h}{\partial z}$$

(tinggi energi total  $h$  berkurang dalam arah  $v_x$  dan  $v_z$ ).

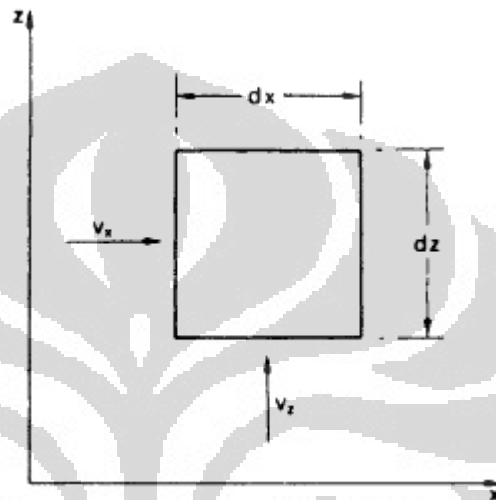
Sebuah elemen tanah jenuh air yang memiliki dimensi  $d_x$ ,  $d_y$ , dan  $d_z$  pada bidang  $x$ ,  $y$ , dan  $z$ , dengan aliran air hanya pada bidang  $x$  dan  $z$  diperlihatkan dalam Gambar 2.1. Komponen-komponen kecepatan aliran yang memasuki elemen tersebut adalah  $v_x$  dan  $v_z$ . Laju perubahan kecepatan aliran tersebut dalam arah  $x$  dan  $z$  berturut-

turut adalah  $\partial v_x$  dan  $\partial v_z$ . Sedangkan volume air yang memasuki elemen per satuan waktu adalah:

$$v_x dy dz + v_z dx dy$$

dan volume air yang meninggalkan elemen per satuan waktu adalah:

$$\left( v_x + \frac{\partial v_x}{\partial x} dx \right) dy dz + \left( v_z + \frac{\partial v_z}{\partial z} dz \right) dx dy$$



Gambar 2.1 Rembesan Melalui Suatu Elemen Tanah

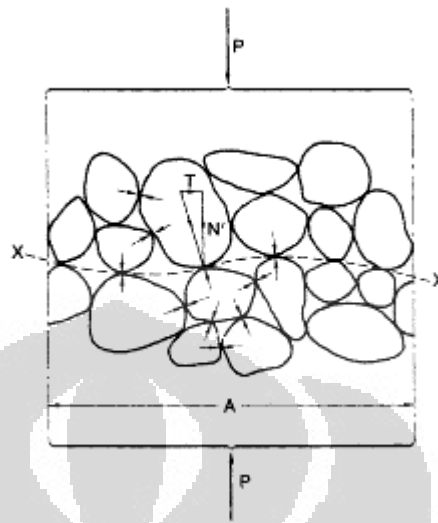
### 2.1.2 Tegangan Efektif

Tanah dapat divisualisasikan sebagai suatu kerangka partikel padat tanah (*solid skeleton*) yang membatasi pori-pori berupa air dan/atau udara. Besarnya pengaruh gaya-gaya yang bekerja dari partikel satu ke partikel lainnya dijelaskan dalam prinsip tegangan efektif untuk tanah jenuh sempurna (Terzaghi, 1923). Tegangan-tegangan yang berhubungan dengan prinsip tersebut adalah:

1. tegangan total ( $\sigma$ ) pada bidang di dalam tanah, yaitu gaya per satuan luas yang ditransmisikan pada arah normal bidang, dengan menganggap bahwa tanah adalah material padat saja;
2. tekanan air-pori ( $u$ ), yaitu tekanan air pengisi pori-pori di antara partikel-partikel padat;
3. tegangan normal efektif ( $\sigma'$ ) pada bidang, yang mewakili tegangan yang dijajarkan hanya melalui kerangka tanah.

Hubungan ketiga tegangan di atas adalah:

$$\sigma = \sigma' + u$$



Gambar 2.2 Interpretasi Tegangan Efektif

Sebuah gaya normal  $P$  yang bekerja pada bidang seluas  $A$  sebagian ditahan oleh gaya-gaya antarpartikel dan sebagian oleh tekanan pada air-pori. Gaya-gaya antarpartikel pada seluruh tanah, baik besar maupun arahnya bersifat acak, tetapi pada tiap titik singgung dengan bidang yang bergelombang (Bidang XX) dapat diuraikan menjadi komponen-komponen gaya yang arahnya normal dan tangensial terhadap bidang XX yang sebenarnya. Komponen normal dinyatakan dengan  $N'$  dan komponen tangensial dengan  $T$ . Tegangan efektif diinterpretasikan sebagai jumlah komponen  $N'$  di dalam luas  $A$ , dibagi dengan luas  $A$ , yaitu:

$$\sigma' = \frac{\sum N'}{A}$$

Tegangan total adalah:

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

Jika di antara partikel-partikel diasumsikan terdapat titik singgung, maka tekanan air-pori akan bekerja pada bidang seluas  $A$ . Agar dapat tercapai keseimbangan pada arah normal terhadap bidang XX:

$$P = \sum N' + uA \quad \text{atau} \quad \frac{P}{A} = \frac{\sum N'}{A} + u$$

jadi,  $\sigma = \sigma' + u$

### 2.1.3 Pengaruh Rembesan terhadap Tegangan Efektif

Air yang mengalir dalam tanah mengerahkan suatu friksi seret atau *frictional drag* yang disebut gaya rembesan atau *seepage force*,  $j_s$ . Jika *head loss* sepanjang jarak aliran  $L$  adalah  $\Delta h$ , gaya rembesan adalah:

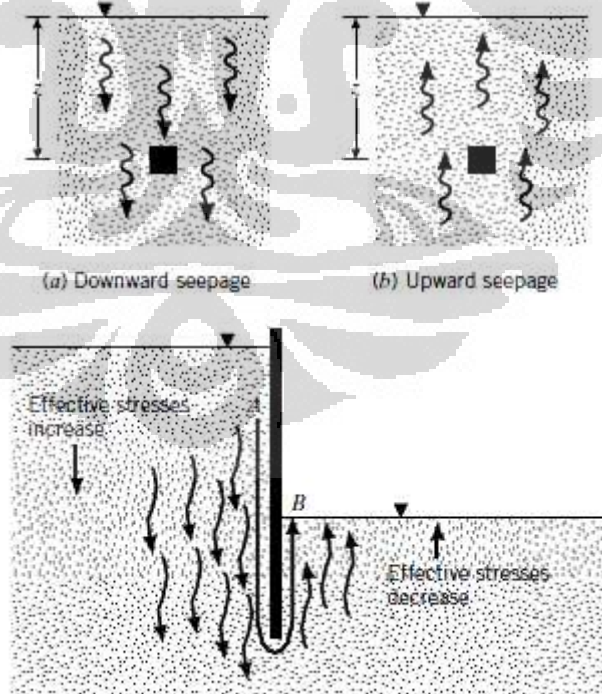
$$j_s = \frac{\Delta h \gamma_w}{L} = i \gamma_w$$

Rembesan ke arah bawah meningkatkan resultan tegangan efektif karena tegangan rembesan memiliki arah yang sama dengan tegangan efektif secara gravitasi.

$$\sigma'_z = \gamma'z + iz\gamma_w = \gamma'z + j_s z$$

Sebaliknya, rembesan ke arah atas menurunkan resultan tegangan efektif karena tegangan rembesan memiliki arah yang berlawanan dengan tegangan efektif secara gravitasi (Muni Budhu, 2011 dalam bukunya, *Soil Mechanics and Foundations* 3<sup>rd</sup> ed.).

$$\sigma'_z = \gamma'z - iz\gamma_w = \gamma'z - j_s z$$



Gambar 2.3 Pengaruh Rembesan terhadap Tegangan Efektif

#### 2.1.4 Kekuatan Geser

Pengetahuan tentang kekuatan geser diperlukan untuk menyelesaikan masalah-masalah yang berhubungan dengan stabilitas massa tanah. Jika suatu titik pada sembarang bidang dari suatu massa tanah memiliki tegangan geser yang sama dengan kekuatan gesernya, maka keruntuhan akan terjadi pada titik tersebut. Kekuatan geser tanah di suatu titik pada suatu bidang tertentu sebagai suatu fungsi linier terhadap tegangan normal pada bidang tersebut di titik yang sama, sebagai berikut:

$$\tau = c + \sigma \cdot \tan \varphi$$

di mana  $c$  dan  $\varphi$  adalah parameter-parameter kekuatan geser, yang berturut-turut didefinisikan sebagai kohesi dan sudut tahanan geser. Berdasarkan pada konsep dasar Terzaghi, tegangan geser pada suatu tanah dapat juga dinyatakan sebagai fungsi dari tegangan efektif sebagai berikut:

$$\tau = c' + \sigma' \cdot \tan \varphi'$$

di mana  $c'$  dan  $\varphi'$  adalah parameter-parameter kekuatan geser pada tegangan efektif. Dengan demikian, keruntuhan akan terjadi pada titik yang mengalami keadaan kritis yang disebabkan oleh kombinasi antara tegangan geser dan tegangan efektif.

Bentuk permukaan runtuh yang mungkin terjadi dalam suatu longsoran dapat bervariasi sehingga dibutuhkan usaha untuk memprediksi secara matematis proses dan perkembangan ketidakstabilan alami tersebut.

Kestabilan dari suatu lereng dinyatakan oleh suatu besaran yang disebut sebagai nilai faktor keamanan (*factor of safety*). Faktor keamanan didefinisikan sebagai rasio kekuatan geser tanah sebagai penahan kestabilan ( $\tau_f$ ) terhadap kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor sebagai pendorong ( $\tau_d$ ).

$$FS = \frac{\tau_f}{\tau_m}$$

dengan:

$FS$  = faktor keamanan

$\tau_f$  = kekuatan geser tanah

$\tau_m$  = kekuatan geser yang bekerja sepanjang bidang longsor

Kondisinya adalah sebagai berikut:

$FS \gg 1$  (jauh dari satu) Kondisi lereng stabil

$FS = 1$  Kondisi lereng dalam keadaan kritis

$FS < 1$  Kondisi lereng sangat rawan terhadap kelongsoran

Prinsip inilah yang kemudian dikembangkan oleh para ahli stabilitas lereng untuk penerapan yang lebih praktis, yang di antaranya adalah: Metode Bishop, Metode Janbu, Metode Fellenius, dan Metode Morgenstern - Price.

Mekanisme keruntuhan lereng akibat curah hujan adalah sebagai berikut: tanah yang pada mulanya bersifat kering, akan bersifat jenuh jika terkena air hujan dengan curah hujan intens. Yang menjadi pertanyaan adalah curah hujan berapa dan selama apakah yang menyebabkan tanah menjadi jenuh. Tekanan air-pori berbanding terbalik dengan tegangan efektif tanah. Pada tanah yang berubah sifat menjadi jenuh, tegangan efektifnya menurun. Hal ini menyebabkan kuat geser tanah pun menurun hingga kondisi keseimbangan lereng tidak dapat lagi dipertahankan. Jika dianalogikan, tanah akan seperti bubur. Dampaknya, kemungkinan terjadinya longsor akan semakin besar.

## 2.2 Konsep Analisis Stabilitas Lereng dengan Berbagai Metode

Stabilitas lereng dapat dianalisis menggunakan metode-metode berikut: *limit equilibrium method*, *limit analysis*, *finite element method*, dan *finite difference method*. *Limit equilibrium* sering dijadikan metode pilihan, tetapi *finite element method* dan *finite difference method* lebih fleksibel dan umum.

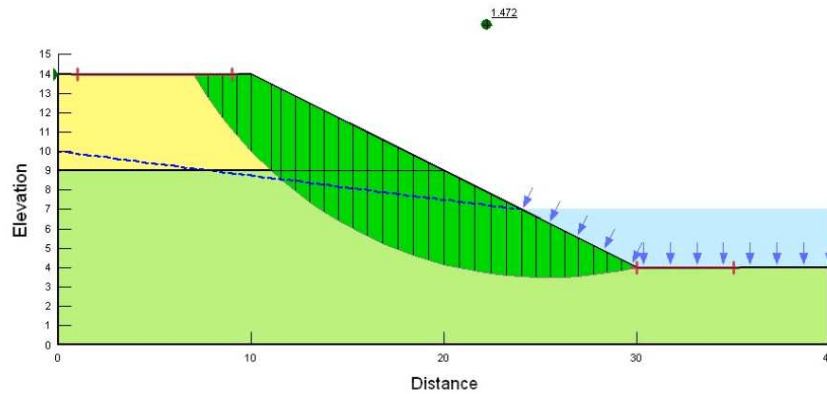
Terdapat dua macam kelongsoran yang umum dianalisis, yaitu: kelongsoran lereng tak berhingga yang sering terjadi pada tanah kasar (*coarse-*

*grained soils*); dan kelongsoran lereng rotasi. Dua jenis bidang gelincir yang diselidiki adalah busur lingkaran (Metode Bishop) dan bidang gelincir tidak lingkaran (*noncircular*) (Metode Janbu). Poin pentingnya adalah sebagai berikut:

1. Bishop (1955) mengasumsikan sebuah bidang gelincir berbentuk lingkaran dan memperhitungkan keseimbangan gaya-gaya horisontal. Ia mengabaikan gaya *seepage* dan mengasumsikan bahwa gaya normal lateral bersifat kolinier. Dalam Metode Bishop yang disederhanakan, resultan gaya geser diasumsikan sama dengan nol.
2. Janbu (1973) mengasumsikan sebuah permukaan keruntuhan yang tidak lingkaran (*noncircular*) dan memperhitungkan keseimbangan gaya-gaya horisontal. Ia membuat asumsi yang sama dengan Bishop (1955), kecuali bahwa faktor koreksi diterapkan untuk menggantikan bidang pemisah gaya geser.
3. Untuk lereng di tanah halus, *effective stress analysis* dan *total stress analysis* dapat digunakan untuk pembebanan jangka pendek; dan *effective stress analysis* untuk pembebanan jangka panjang. Untuk lereng di tanah kasar, hanya *effective stress analysis* yang digunakan untuk pembebanan statis jangka pendek dan jangka panjang. Dalam beberapa kasus, *effective stress analysis* menghasilkan nilai faktor keamanan yang minimum.

Secara lengkap, metode-metode analisis stabilitas lereng berdasarkan *limit equilibrium* adalah: Swedish Method (Fellenius, 1927), Bishop's Simplified Method (Bishop, 1955), Morgenstern and Price (1965), Spencer (1967), dan Janbu (1973). Dari metode-metode tersebut, yang menjadi dasar dalam penggunaan *software* Geostudio 2007 SLOPE/W untuk menganalisis stabilitas lereng adalah pengembangan Metode Morgenstern and Price (1965) berupa pola irisan. Lereng yang aman ditandai dengan nilai perbandingan momen pasif dibagi dengan momen aktif lebih daripada satu.





Gambar 2.4 Analisis Stabilitas Lereng Menggunakan SLOPE/W

Morgenstern and Price (1965) membuat suatu analisis umum di mana seluruh syarat batas dan syarat keseimbangan terpenuhi dan permukaan runtuh dapat berbentuk lingkaran, bukan lingkaran, atau gabungan keduanya. Permukaan tanah dinyatakan oleh fungsi  $y = z(x)$  dan permukaan runtuh coba-coba dinyatakan oleh fungsi  $y = y(x)$ , seperti diperlihatkan pada Gambar 2.4. Gaya-gaya bekerja pada suatu irisan dengan lebar  $dx$  juga diperlihatkan pada gambar tersebut, yang dinotasikan sebagai berikut:

$E'$  = gaya normal efektif pada sisi irisan,

$X$  = gaya geser pada sisi,

$P_w$  = gaya air batas pada sisi,

$dN'$  = gaya normal efektif pada dasar irisan

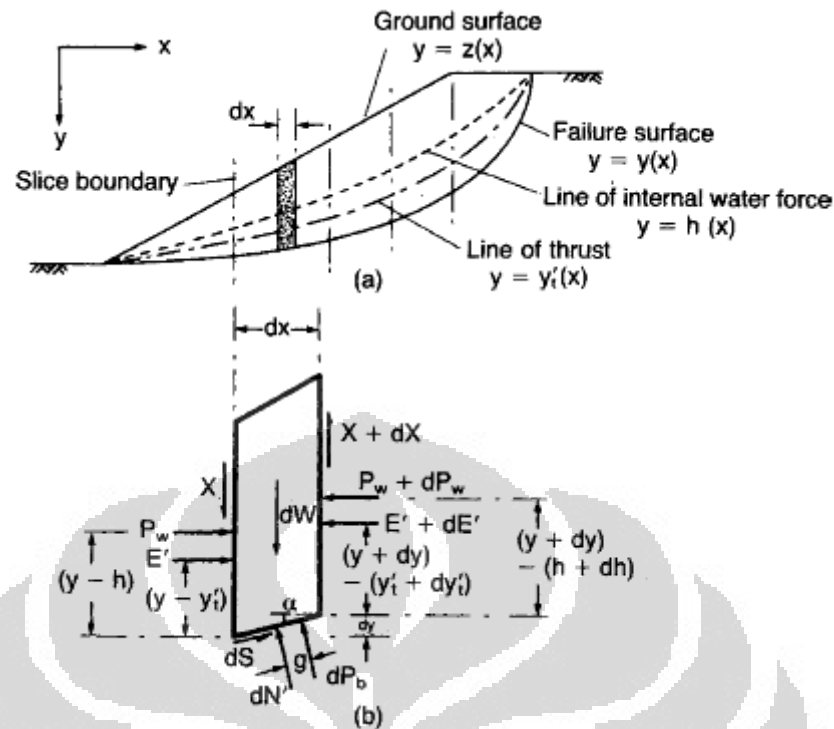
$dS$  = gaya geser pada dasar

$dP_b$  = gaya air batas pada dasar

$dW$  = berat total irisan

Garis gaya tolak (line of thrust) dari gaya normal efektif ( $E'$ ) dinyatakan oleh fungsi  $y = y'_t(x)$  dan garis gaya tolak dari gaya air dalam ( $P_w$ ) dinyatakan oleh fungsi  $y = h(x)$ . Dua persamaan diferensial yang menentukan diperoleh dengan menyamakan momen-momen pada titik tengah dasar. Gaya-gaya yang tegak lurus dan sejajar dengan dasarsama dengan nol. Persamaan tersebut disederhanakan dengan menggunakan gaya normal total ( $E'$ ), di mana:

$$E = E' + P_w$$



Gambar 2.5 Metode Morgenstern - Price

Posisi gaya  $E$  pada sebuah sisi irisan didapat dari persamaan:

$$E y_t = E' y'_t + P_w h$$

Masalah tersebut dibuat statis tertentu dengan mengasumsikan suatu hubungan antara gaya-gaya  $E$  dan  $X$  dalam bentuk:

$$X = \lambda f(x) E$$

di mana  $f(x)$  adalah suatu fungsi yang dipilih untuk mewakili pola variasi  $X/E$  pada massa runtuh dan  $\lambda$  adalah faktor skala. Nilai  $\lambda$  ditentukan sebagai bagian dari penyelesaian dengan menggunakan faktor keamanan  $F$ .

### 2.3 Jenis-jenis Metode Perbaikan Lereng

Jika hasil analisis suatu lereng menunjukkan bahwa nilai  $FS < 1$ , lereng tersebut dinyatakan dalam keadaan berbahaya dan berpotensi longsor. Diperlukan metode-metode untuk menstabilkan lereng yang sudah dalam kondisi bahaya. Pada prinsipnya, perbaikan lereng merupakan suatu penyusunan kembali butir-butir tanah agar lebih rapat dan saling mengunci. Berikut ini beberapa *constrains* yang menjadi dasar untuk pemilihan metode perbaikan lereng:

1. tujuan dari stabilitas lereng yang dilakukan, apakah untuk mencegah kelongsoran atau mengembalikan kekuatan tanah terhadap kelongsoran,
2. waktu yang tersedia untuk perbaikan lereng tersebut,
3. lokasi dari tempat perbaikan lereng itu sendiri, apakah memadai untuk mobilitas alat berat atau sulit diakses alat berat,
4. biaya yang tersedia untuk melakukan perbaikan lereng tersebut.

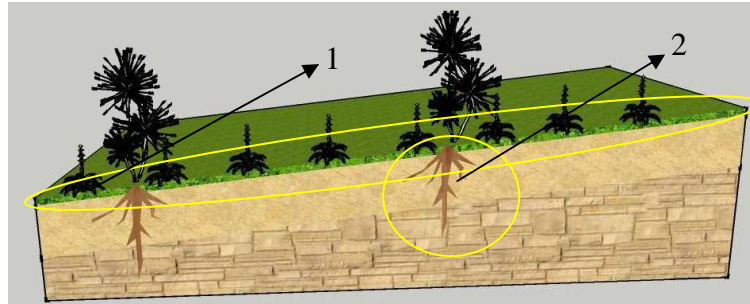
Terdapat dua macam metode perbaikan lereng, yaitu dengan metode sederhana dan metode kompleks.

### 2.3.1 Metode Sederhana

Metode sederhana perbaikan lereng bisa dilakukan dengan penanaman vegetasi dan *removed load*.

#### a. Penanaman Vegetasi *Agroforestry*

Perakaran vegetasi pada umumnya mengikat agregat tanah agar tidak mengalami longsor. Vegetasi berperan dalam aspek hidrologi yaitu menurunkan kelembaban air tanah melalui proses evapotranspirasi, yaitu dengan menyerap air yang mengisi rongga-rongga dalam tanah sehingga *pore-water pressure*-nya aman dari status *excessive*; dan aspek mekanis perkuatan ikatan akar pada partikel tanah pada lereng (jaringan akar dan penjangkaran akar sampai lapisan kedap), sehingga kelongsoran *sliding* dapat dicegah. Di antara faktor yang berpengaruh pada longsor, faktor vegetasi merupakan faktor yang dapat kita kelola, baik melalui pemilihan jenis tanaman maupun pengaturan kerapatan tanaman. Keberadaan pohon di sepanjang lereng sangat mempengaruhi stabilitas lereng melalui fungsi perakaran yang melindungi tanah sehingga mempengaruhi ketahanan geser (*shear strength*) tanah. Besarnya ketahanan geser tanah ditentukan oleh karakteristik sifat fisik tanah.



Gambar 2.6 Metode Perbaikan Lereng dengan Vegetasi

Keterangan: 1. *Sliding surface* yang direduksi oleh pohon-pohon tertanam; 2. Tekanan air-pori berlebih yang direduksi oleh akar pohon.

*Agroforestry* merupakan strategi yang paling tepat untuk meningkatkan stabilitas lereng dengan meningkatkan diversitas pohon yang ditanam dalam suatu lahan untuk meningkatkan jaringan akar-akar yang kuat baik pada lapisan tanah atas maupun bawah. Sistem penghutan kembali baik di dalam dan di luar kawasan dapat dilakukan melalui pola *agroforestry* yang merupakan pola tumpang sari antara tanaman pohon (hutan) dengan tanaman pertanian. Pola ini mampu menutup tanah dengan sempurna sehingga berpengaruh efektif terhadap pengendalian erosi dan peningkatan pasokan air tanah. Oleh sebab itu, untuk konservasi daerah lereng curam rawan longsor sebaiknya dilakukan penghijauan dengan pohon yang sistem perakarannya dalam, dan diselingi dengan tanaman-tanaman (perdu) yang lebih pendek dan ringan, dan bagian dasar ditanami rumput (Wongso, 2010).



Gambar 2.7 Perbaikan Lereng dengan *Agroforestry*

b. *Removed Load*

Beban dalam hal ini mencakup bangunan atau apa saja yang membebani lereng sepanjang bidang longsor dan menyebabkan kenaikan momen pengguling, sehingga menurunkan angka keamanannya. Maksud dari *removed load* adalah menghilangkan beban dari posisinya yang membebani lereng, sehingga lereng tersebut masuk kategori aman. Dengan menghilangkan beban ini, maka nilai dari momen pengguling juga akan berkurang, sehingga secara otomatis nilai *FS* juga akan meningkat. Contoh dari *removed load* ini adalah dengan tidak membangun rumah di sepanjang muka lereng, sehingga potensi longsor yang menelan korban jiwa pun juga dapat dihindari. *Removed load* dapat berupa pemangkasan lereng, pemotongan lereng atau *cut*, biasanya digabungkan dengan pengurugan atau *fill* di kaki lereng, dan pembuatan undak-undak.

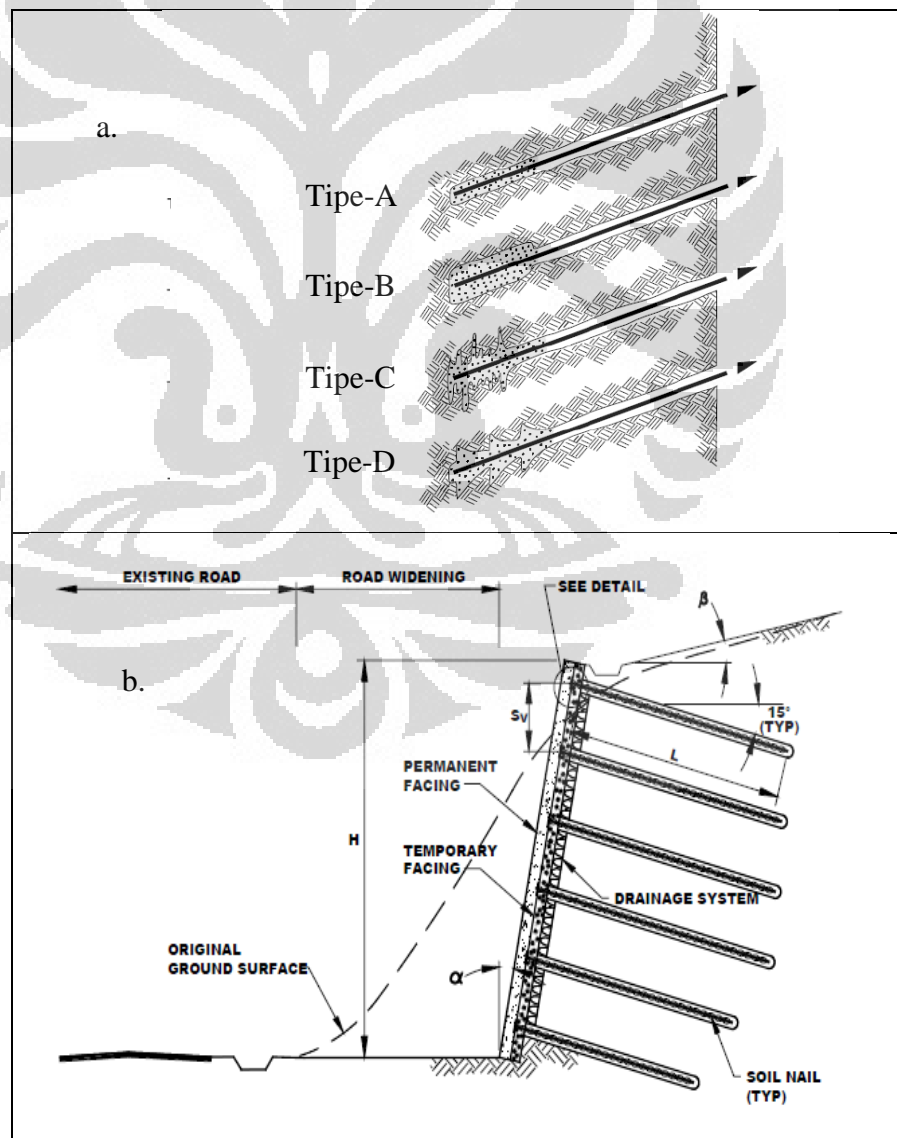
### 2.3.2 Metode Kompleks

Metode kompleks perbaikan lereng dapat dilakukan dengan antara lain dengan memasang salah satu dari: *ground anchor*, *soil nailing*, *geosynthetics*, atau *chemical grouting*. *Ground Anchor* terdiri atas sebuah tendon baja bermutu tinggi, di mana salah satu ujungnya ditanamkan dengan kuat pada suatu massa adukan semen atau tanah yang diberi adukan semen (*di-grout*) dan ujung lainnya diangkurkan pada sebuah pelat dudukan (*bearing plate*) pada unit struktur yang disangga. Sedangkan *soil nailing* adalah teknik perkuatan lereng dengan pemasukan batang-batang baja (*nails*) dengan panjang tertentu yang berjarak rapat (Craig, 2004). Sementara itu, *geosynthetics* bermakna material buatan manusia, terutama *polymer* (sejenis plastik) yang digunakan pada pekerjaan-pekerjaan ketekniksipilan yang berhubungan / kontak dengan tanah dan batuan. Terakhir, *chemical grouting* adalah teknik penyuntikan suatu bahan kimia pada suatu lokasi dalam tanah yang merupakan perlemahan. Jenis tanah yang cocok dalam penggunaan tiap metode tersebut adalah sebagai berikut:

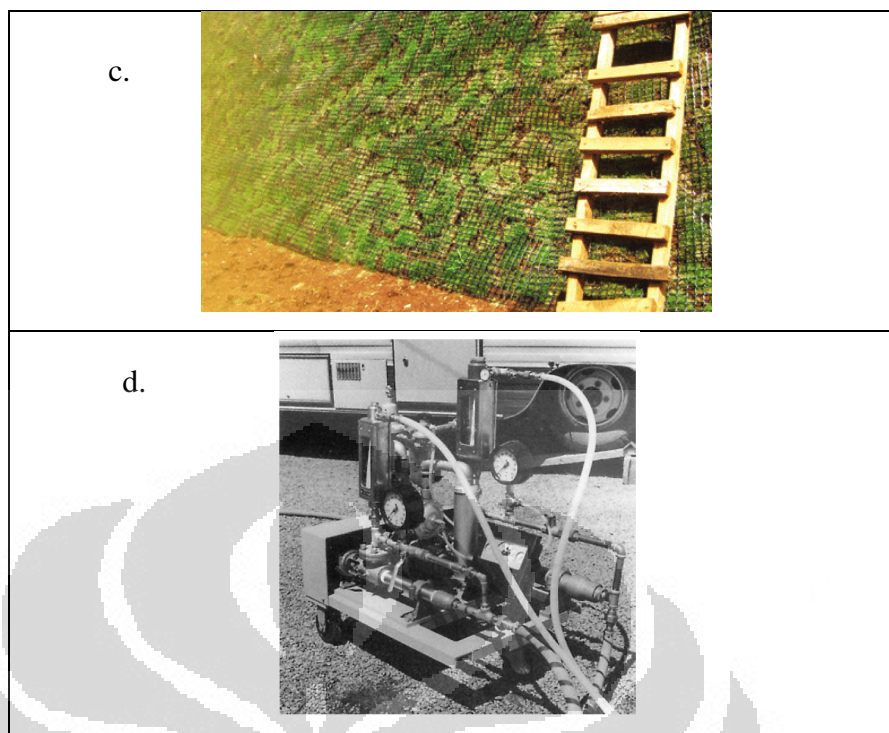
Jenis Metode	Jenis Tanah
<i>Ground Anchor</i>	<ol style="list-style-type: none"> <li>1. <i>Straight shaft gravity-grouted</i> / Tipe-A pada batuan dan endapan tanah kohesif yang sangat kaku hingga keras.</li> <li>2. <i>Straight shaft pressure-grouted</i> / Tipe-B pada tanah berbutir kasar dan batuan bercelah yang bersifat lemah</li> <li>3. <i>Post-grouted</i> / Tipe-C pada endapan tanah kohesif yang sangat kaku hingga keras.</li> <li>4. <i>Underreamed</i> / Tipe-D pada endapan tanah kohesif yang kaku hingga keras.</li> </ol>
<i>Soil Nailing</i>	Tanah residual dan batuan yang terkikis oleh cuaca, tanah kohesif yang keras (lanau kelempungan dan lempung plastisitas rendah), pasir dan kerikil padat, pasir homogen lembut,

	tanah di atas muka air tanah.
<i>Geosynthetics</i>	Tanah berkohesif rendah ( <i>cohesionless soils</i> )
<i>Chemical Grouting</i>	Tanah kohesif ( <i>cohesive soils</i> ) dan batuan bercelah ( <i>fissured rock</i> ). Bergantung pada nilai koefisien permeabilitas tanah ( $k$ ). Tanah dengan nilai $k \leq 10^{-6}$ tak dapat di-grout. Tanah yang di-grout dengan bahan kimia yang umum dipakai memiliki nilai $k$ yang berkisar antara $10^{-1}$ hingga $10^{-3}$ .

Tabel 2.2 Jenis-jenis Tanah yang Cocok untuk Setiap Jenis Metode Kompleks Perbaikan Lereng







Gambar 2.8 Metode Kompleks: a. *Ground Anchor*, b. *Soil Nailing*, c. *Geosynthetics*, d. *Chemical Grouting*

## 2.4 Kelongsoran

Lereng adalah sebuah bidang pada permukaan tanah yang memiliki kemiringan tertentu dan membentuk sudut terhadap luasan tertentu dengan komponen gravitasi yang cenderung menggerakkan tanah ke bawah. Suatu permukaan tanah yang miring dengan sudut tertentu terhadap bidang horisontal dan tak terlindungi, dinamakan lereng tak tertahan (*unrestrained slope*). Lereng ini dapat terjadi secara alamiah atau buatan. Contoh lereng yang terjadi secara alamiah adalah bukit dan tebing sungai. Sedangkan, contoh lereng buatan adalah galian dan timbunan untuk jalan raya dan jalan kereta api, tanggul sungai, tanggul penahan air, bendungan urugan, tebing kanal dan galian sementara.

Masalah yang terjadi pada lereng adalah hilangnya kestabilan sehingga terjadi gerakan-gerakan tanah, retak-retak, bahkan longsor. Jika permukaan tanah tidak datar, komponen berat tanah yang sejajar dengan kemiringan lereng akan menyebabkan tanah bergerak ke arah bawah. Apabila komponen gravitasi terlalu besar sehingga perlawanan terhadap geseran yang mampu dikerahkan oleh tanah pada bidang longsornya terlampaui disebabkan oleh



pergerakan tanah yang relatif cepat, maka akan terjadi gelincir (*sliding*). Rembesan dapat juga merupakan pertimbangan yang penting dalam pergerakan tanah apabila terdapat air. Gaya-gaya yang disebabkan oleh rembesan dan gempa menghasilkan tegangan geser pada seluruh massa tanah. Sedangkan tanah memiliki tahanan geser yang bergantung pada kuat geser tanah dan faktor alamiah seperti akar-akar tumbuhan.

Faktor-faktor yang mengganggu kestabilan lereng dibagi menjadi dua jenis, yaitu:

1. faktor luar, akibat peningkatan tegangan geser:

- tambahan berat volume akibat peningkatan tegangan air rembesan
- penambahan beban luar seperti beban bangunan
- penambangan di bawah permukaan tanah dan pembangunan terowongan
- pemindahan massa tanah akibat penggalian
- pengikisan oleh aliran sungai di kaki lereng
- tekanan air dalam retakan
- beban dinamis seperti gempa

2. faktor dalam, akibat peningkatan tegangan geser:

- penurunan kepadatan tanah
- peningkatan tegangan air-pori
- bentuk geometris lereng yang curam
- pengembangan lempung akibat penyerapan air

Longsor adalah gejala geologi yang terjadi dalam rangka mencari keseimbangan alam, di mana alam mencari keseimbangan baru akibat adanya gangguan atau faktor yang memengaruhi dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah (Mustain dan Amien, 2008). Kelongsoran terjadi jika stabilitas lereng berubah dari kondisi stabil menjadi kondisi tidak stabil. Ketidakstabilan terjadi karena gaya pendorong pada lereng lebih besar dari gaya penahan. Gaya pendorong diakibatkan oleh besarnya sudut kemiringan lereng, air, beban, serta berat jenis tanah batuan. Sedangkan penyebab gaya penahan adalah kekuatan batuan dan kepadatan tanah.

Tanah longsor adalah suatu produk dari proses gangguan keseimbangan alam yang menyebabkan bergeraknya masa tanah, batuan, atau kombinasinya, yang sering terjadi di sepanjang bidang gelincir (*slip surface*) pada lereng alami atau lereng buatan, dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah. Pergerakan tersebut terjadi karena adanya faktor gaya yang bekerja pada lereng. Selanjutnya, gaya yang menahan massa tanah di sepanjang lereng tersebut dipengaruhi oleh kedudukan muka air tanah, sifat fisik tanah, dan sudut dalam tahanan geser tanah yang bekerja di sepanjang bidang luncuran. (Kuswaji, 2008; Sutikno, 1997).

Pada bidang gelincir yang merupakan batas antara massa tanah yang bergerak dan yang diam, bekerjalah gaya geser yang diakibatkan oleh gaya gravitasi. Akibat gaya ini, bagian atas dari massa tanah akan bergeser dari posisi awalnya dan bergerak ke bawah hingga permukaan yang lebih landai. Umumnya, tanah longsor terjadi secara tiba-tiba. Namun, ada pula yang terjadi perlahan-lahan dengan indikasi berupa terbentuknya retakan-retakan pada tanah.

Kelongsoran diklasifikasi untuk memudahkan dalam menentukan penyebab terjadinya longsor dan usaha yang dapat dilakukan untuk mengantisipasinya. Ditinjau dari sifat dan karakteristiknya, bentuk-bentuk longsor adalah sebagai berikut (Tommy Ilyas, 2011):

1. *Slide* (gelincir)

*Slide* atau kelongsoran gelincir adalah gerakan yang disebabkan oleh keruntuhan melalui satu atau beberapa bidang yang dapat diamati ataupun diduga. Kuat geser tanah sepanjang bidang gelincir pada kelongsoran ini masih cukup besar. *Slide* dibagi lagi menjadi dua jenis yaitu: (1) luncuran (*slide*) bila dipengaruhi gerak translasional dan susunan materialnya yang banyak berubah; (2) nendatan (*slump*), bila longsor gelinciran dengan susunan materialnya tidak banyak berubah dan umumnya dipengaruhi gerak rotasional. Termasuk longsor gelinciran adalah: luncuran bongkah tanah maupun bahan rombakan, dan nendatan tanah. Bentuk kelongsoran *slide* adalah:

a. *Rotational Slide*

Dalam kelongsoran rotasi (*rotational slide*), bentuk permukaan runtuh pada potongannya dapat berupa busur lingkaran atau bukan lingkaran. Kelongsoran jenis ini memiliki arah gerak yang berputar. Gaya penggerak pada kelongsoran ini semakin berkurang dengan makin besarnya deformasi akibat gerakan tanah dan massa batuan. Kelongsoran rotasi dibedakan lagi menjadi luncuran (*slip*), kelongsoran rotasi berganda (*multiple rotational slide*), dan luncuran berturut-turut (*successive slip*).

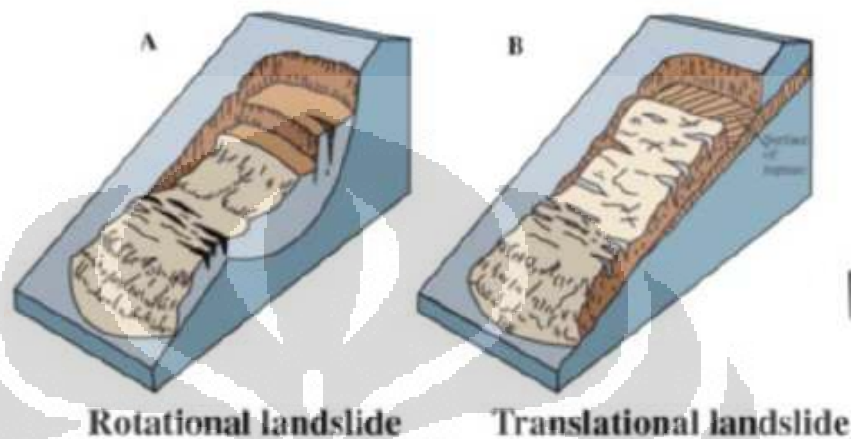
Luncuran (*slip*) terjadi pada batuan homogen atau lapisan lempung. Umumnya, kelongsoran ini terjadi pada lereng dengan perbandingan geometri D/L 0,15 - 0,33 (Skempton and Hutchinson, 1969). Permukaan longsor pada lempung lunak yang homogen berbentuk lingkaran dan massa tanah yang runtuh akan bergerak sebagai satu kesatuan sepanjang permukaan runtuhnya.

Kelongsoran rotasi berganda (*multiple rotational slide*) digerakkan oleh kelongsoran awal yang berupa kelongsoran setempat. Kemudian akan berkembang dan menyebar ke arah belakang sepanjang permukaan runtuh dari dasar. Kelongsoran rotasi berganda, sering terjadi pada lereng-lereng yang aktif tererosi oleh tanah liat yang mengalami *over consolidation* dan tanah liat yang bercelah akibat adanya suatu lapisan tanah yang lebih kuat. Sedangkan luncuran yang berturut-turut (*successive slip*) ditandai dengan adanya kelongsoran rotasi yang dangkal pada lereng tanah liat *over consolidated* yang bercelah.

b. *Translational Slide*

Kelongsoran translasi terjadi jika bentuk permukaan runtuh dipengaruhi oleh adanya kekuatan geser yang berbeda pada lapisan tanah yang berbatasan atau apabila terdapat lapisan tanah yang agak keras yang sejajar dengan permukaan lereng. Kelongsoran translasi cenderung terjadi jika lapisan tanah yang berbatasan berada pada kedalaman yang relatif dangkal di bawah permukaan lereng.

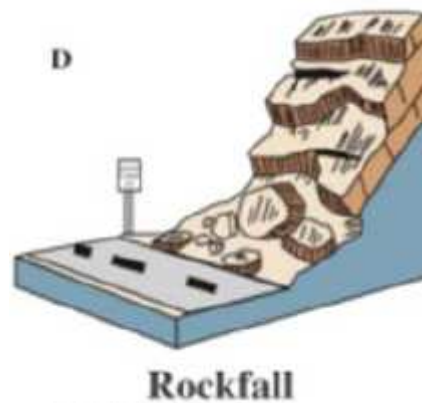
Kelongsoran translasi bergerak dengan besar gaya penggerakannya yang relatif tetap. Mekanisme kelongsoran terjadi pada lapisan tanah yang lunak dan menurun. kelongsoran translasi yang terjadi pada lapisan yang mengandung pasir atau lanau disebabkan oleh tekanan air pori yang sangat berlebihan.



Gambar 2.9 Bentuk Longsoran Rotasi dan Translasi

## 2. *Falls* (Kelongsoran Runtuhan)

*Falls* adalah karakteristik dari lereng yang curam, baik berupa lereng yang tersusun oleh tanah maupun batuan. *Falls* terjadi jika material yang mudah terkikis terletak di bawah lapisan material yang lebih tahan terhadap erosi. Material yang bergerak tersebut dapat terlepas dari lapisan tanah di bawahnya karena terbentuknya permukaan geser akibat pengaruh gravitasi, aliran air dalam tanah yang meningkatkan tekanan hidrostatik, erosi, dan penggalian lereng yang tidak bertanggung jawab. Tanah yang mengalami runtuh akan retak dan terurai selama pergerakan terjadi dan akan menumpuk di sekitar keruntuhan terjadi. Pergerakan material yang retak dan terurai tersebut bergantung pada sifat air di dalam pori dan energy yang dimiliki oleh tanah tersebut.



Gambar 2.10 Bentuk Longsoran *Falls* pada Batuan

### 3. *Topples* (Kelongsoran Jatuhan)

*Topples* adalah salah satu jenis kelongsoran di mana terjadi peristiwa jatuhnya material lereng. Biasanya, material yang jatuh berupa material keras seperti batuan.



Gambar 2.11 Bentuk dan Contoh Longsoran *Topples*

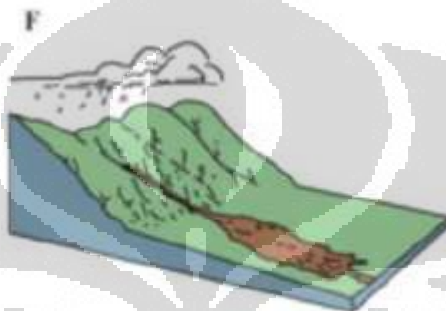
### 4. *Flows* (Kelongsoran Aliran)

*Flows* adalah gerakan lambat dari tanah pada bagian kaki lereng (Skempton and Hutchinson, 1969). Pergerakan tanah ini memiliki karakteristik deformasi yang lebih besar daripada *slides*. *Flows* terjadi jika permukaan geser diskrit sangat besar atau kandungan air dalam tanah terlalu besar sehingga berkelakuan sebagai zat cair. *Flows* sering terjadi pada tanah liat atau lanau selama atau setelah hujan lebat. Keruntuhan disebabkan oleh kenaikan tegangan air-pori secara berangsur-angsur sehingga kekuatan gesernya menurun. Kecepatan gerak bervariasi dari lambat hingga sangat cepat bergantung pada kemiringan lereng dan kandungan air tanah. Tingkat pergerakan

aliran akan sangat cepat jika terjadi pada suatu tanah liat yang sangat lepas. Kelongsoran aliran dibagi lagi menjadi beberapa jenis sebagai berikut:

a. *Debris Flow* (Aliran Reruntuhan)

*Debris flow* adalah sebuah bentuk pergerakan massa tanah secara cepat, yang terjadi pada kombinasi tanah lepas, batuan, zat organik, udara, dan air yang terkerahkan sebagai sebuah tanah liat ke arah bawah lereng.

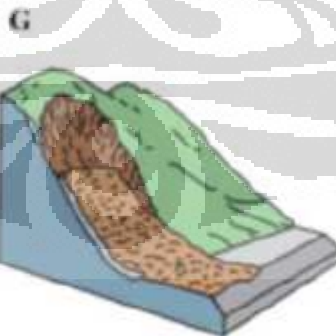


**Debris flow**

Gambar 2.12 Bentuk Longsoran *Debris Flow*

b. *Debris Avalanche* (KelongSORan Reruntuhan)

*Debris avalanche* adalah sebuah jenis dari *debris flow* yang cepat hingga ekstrim. Contoh lembah Sungai *North Fork Toutle* akibat meletusnya gunung pada 18 Mei 1980.

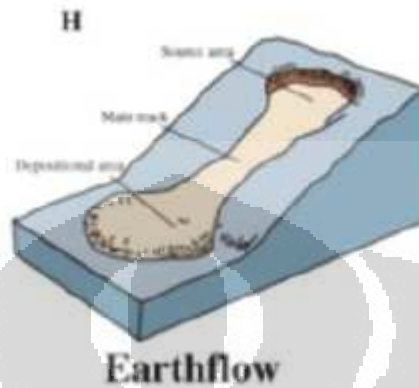


**Debris avalanche**

Gambar 2.13 Bentuk Longsoran *Debris Avalanche*

c. *Earthflow* (Aliran Bumi)

*Earthflows* memiliki karakteristik berbentuk jam pasir (Gambar 2.6). Material lereng mencair dan habis, membentuk sebuah mangkok atau cekungan di atasnya.



Gambar 2.14 Bentuk Longsoran *Earthflow*

d. *Mudflow* (Aliran Lumpur)

*Mudflow* adalah aliran bumi yang terdiri atas material berpartikel tanah sebanyak setengahnya, lanau, dan lempung yang cukup basah.

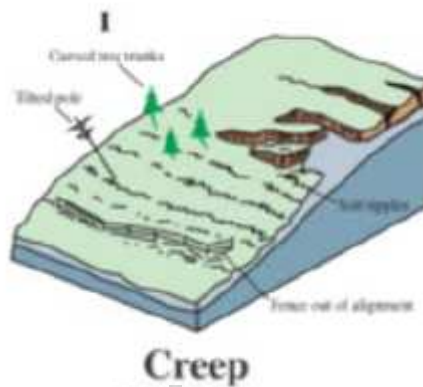


Gambar 2.15 *Mudflow* Sidoarjo

e. *Creep* (Rangkak)

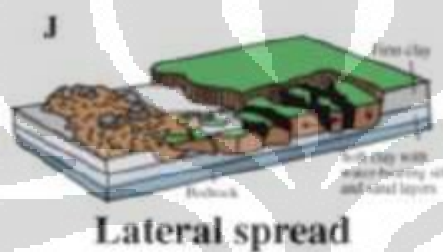
Rangkak adalah longsoran yang tak terlihat atau tak diketahui, bersifat lambat, tetap, bergerak ke bawah, terjadi pada tanah atau batuan.





Gambar 2.16 Bentuk Longsoran *Creep*

### 5. *Lateral Spreads* (Penyebaran Lateral)

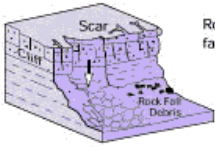
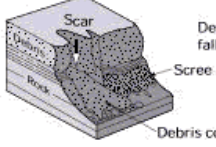
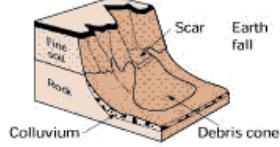
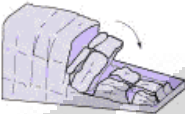
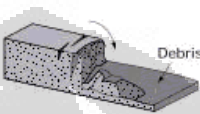
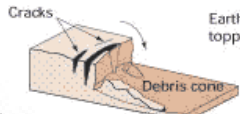
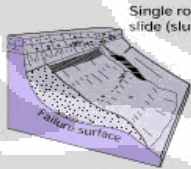
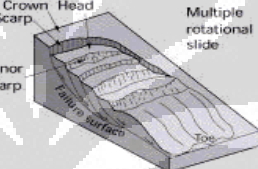

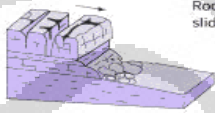
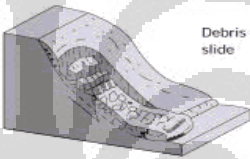
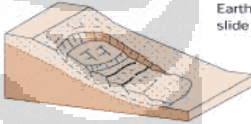
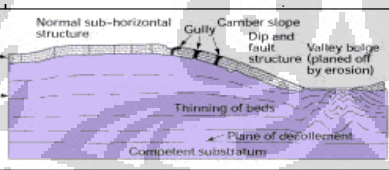

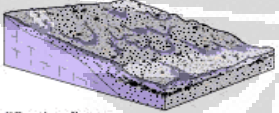
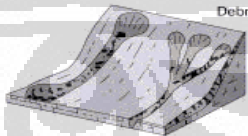
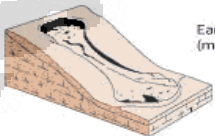
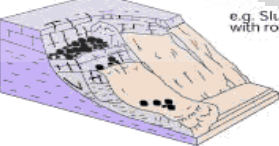
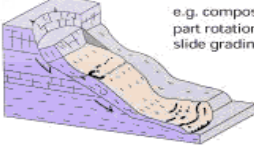


Gambar 2.17 Bentuk Longsoran *Lateral Spreads* beserta Contoh Kasusnya

Kerusakan akibat penyebaran lateral disebabkan oleh Gempa Nisqually, WA. Panjang kerusakan kira-kira 75 kaki (225 m). Difoto oleh tim investigasi *National Science*.



Bentuk-bentuk longsor berdasarkan materialnya adalah sebagai berikut (Tommy Ilyas, 2011):

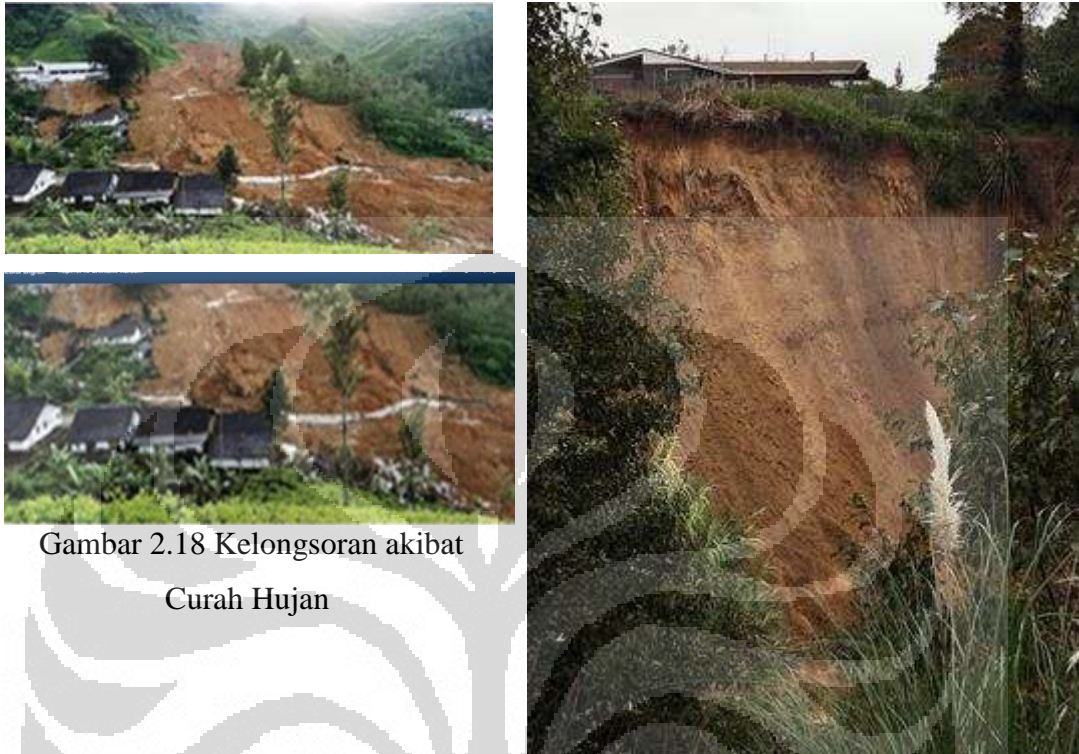
Material		ROCK	DEBRIS	EARTH
Movement type				
FALLS		 Rock fall	 Debris fall Debris cone	 Earth fall Debris cone
		 Rock topple	 Debris topple Debris cone	 Earth topple Debris cone
SLIDES	Rotational	 Single rotational slide (slump)	 Multiple rotational slide	 Successive rotational slides
	Translational (Planar)	 Rock slide	 Debris slide	 Earth slide
SPREADS		 Earth spread		 Earth spread
FLOWS		 Solifluction flows (Periglacial debris flows)	 Debris flow	 Earth flow (mud flow)
COMPLEX		 e.g. Slump-earthflow with rockfall debris		 e.g. composite, non-circular part rotational/part translational slide grading to earthflow at toe

Tabel 2.3 Bentuk-bentuk Longsor Berdasarkan Materialnya

Tiga hal besar penyebab kelongsoran adalah sebagai berikut (Tommy Ilyas, 2011):

1. Curah hujan

Hujan dalam periode yang panjang akan menjenuhkan tanah, melunakkan tanah (*decreasing in shear strength*) dan akhirnya mengakibatkan terjadinya longsor.



Gambar 2.18 Kelongsoran akibat Curah Hujan

## 2. Gempa bumi

Gempa bumi menyebabkan terjadinya gaya dinamis akibat getaran dan rambatan dari pusat gempa (*epicentrum*) yang mengakibatkan ketidakstabilan pada lereng (*slope*).



Gambar 2.19 Kelongsoran akibat Gempa Bumi

### 3. Gunung berapi

Pada saat gunung berapi meletus aliran lahar yang melimpah dari kawah dapat menyebabkan terjadinya ketidak stabilan lereng. Dapat terjadi gempa vulkanik saat terjadi letusan sehingga dapat mengakibatkan ketidakstabilan lereng.



a.

b.

c.

Gambar 2.20 a. Kawah Gunung Berapi; b. Aliran Lahar Dingin;  
c. Kelogsoran akibat Gunung Berapi

Penyebab lain dari kelongsoran antara lain (Tommy Ilyas, 2011):

#### 1. Penyebab geologi

- a. Material yang lemah dan sensitif
- b. Material yang telah terpengaruhi oleh iklim
- c. Material yang terbagi-bagi, beruas-ruas, dan memiliki celah
- d. Material lemah dan tidak begitu keras yang berada di lapisan bawah, adanya lapisan kedap air pada bidang gelincir atau lapisan kontak dengan infiltrasi air
- e. Material yang bersifat impermeable dan/atau tidak keras

#### 2. Penyebab morfologi

- a. Gaya angkat *uplift* yang dipicu oleh gerakan tectonik atau vulkanik
- b. Zaman es yang kembali terjadi
- c. Erosi sungai, arus, atau es yang menerpa *toe* lereng atau bagian tepi samping lereng.
- d. Erosi di bawah tanah (proses pemecahan di bawah tanah, fenomena *piping*)
- e. Proses pengendapan beban lereng atau puncak lereng
- f. Hilangnya vegetasi akibat kebakaran atau kekeringan
- g. Proses pencairan (*thawing*)

- h. Pembekuan dan pencairan cuaca
  - i. Cuaca yang mengembang dan menyusut
3. Penyebab manusia
- a. Penggalian lereng atau kaki lereng
  - b. Pembebeanan lereng atau puncak lereng
  - c. Pendangkalan atau turunnya muka air tanah secara tiba-tiba pada waduk atau pada lapisan akuifer
  - d. Penebangan pohon di hutan
  - e. Irigasi
  - f. Penambangan
  - g. Vibrasi atau getaran buatan
  - h. Kebocoran air ada utilitas perpipaan

Sedangkan, menurut Dwikorita Karnawati (2006), faktor penyebab tanah longsor secara alamiah meliputi morfologi permukaan bumi, penggunaan lahan, litologi, struktur geologi, curah hujan, dan kegempaan. Selain faktor alamiah, juga disebabkan oleh faktor aktivitas manusia yang mempengaruhi suatu bentang alam, seperti kegiatan pertanian, pembebanan lereng, pemotongan lereng, dan penambangan.

### **2.5 Curah Hujan Pemicu Longsor**

Hujan pemicu longsor adalah hujan yang memiliki curah tertentu, sehingga air hujan mampu meresap ke lereng dan mendorong tanah untuk longsor. Secara umum terdapat dua tipe hujan pemicu longsor di Indonesia, yaitu: tipe hujan deras; dan tipe hujan normal, tapi berlangsung lama. Tipe hujan deras misalnya adalah hujan yang dapat mencapai 70 mm per jam atau lebih dari 100 mm per hari. Tipe hujan deras hanya akan efektif memicu longsor pada lereng-lereng yang tanahnya mudah menyerap air (Dwikorita Karnawati 1996, 1997), seperti misalnya pada tanah lempung pasir dan tanah pasir. Pada lereng demikian, longsor dapat terjadi pada awal musim hujan. Contoh tipe hujan normal adalah hujan yang kurang dari 20 mm per hari. Hujan tipe ini apabila berlangsung selama beberapa minggu hingga beberapa bulan dapat efektif memicu longsor pada lereng yang tersusun

oleh tanah yang lebih kedap air, misalnya lereng dengan tanah lempung (Dwikorita Karnawati, 2000). Pada lereng ini, longsorannya umumnya terjadi mulai pada pertengahan musim hujan.

## **2.6 Kelongsoran di Indonesia (Pulau Jawa) dan Mancanegara yang dipicu Curah Hujan**

### **2.6.1 Pulau Jawa**

Secara umum, jenis tanah pelapukan di Indonesia adalah hasil letusan gunung berapi yang bersifat subur dan memiliki komposisi mayoritas lempung dengan minoritas pasir. Tanah pelapukan yang berada di atas batuan kedap air pada bidang tanah tidak rata atau lereng, dengan kemiringan sedang hingga terjal, berpotensi longsor pada musim hujan. (Vulcanological Survey of Indonesia - Departemen ESDM, 2008).

Badan Meteorologi, Klimatologi, dan Geofisika (BMKG) mengevaluasi curah hujan ekstrim harian untuk daerah Jawa pada Juni 2010 sebagai berikut:

- Curah hujan hebat (50 - 100 mm/hari):  
Menes Pandeglang, Leuwidamar Lebak, Ciledug, Serang, Curug Tangerang, Tanjung Priok Jakarta Utara, Sukanagara Cianjur, Jatibarang Indramayu, Karang Kendal, Cirebon, Pasir Ukem Karawang, Sueangga Sukabumi, Kuningan.
- Curah hujan sangat lebat (> 100 mm/hari):  
Cengkareng, Citeko, Darmaga, Atang Sanjaya Bogor, Sindang Barang Cianjur, Ciatujuh Tasikmalaya, Jatiwangi, Jejeg Tegal, Kemiri Purbalingga.

Kasus-kasus kelongsoran di Pulau Jawa, Indonesia adalah sebagai berikut:

#### **a. Kulon Progo, 2003**

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi DIY pada 7 Maret 2003. Curah hujan tercatat mencapai 115,5 mm.

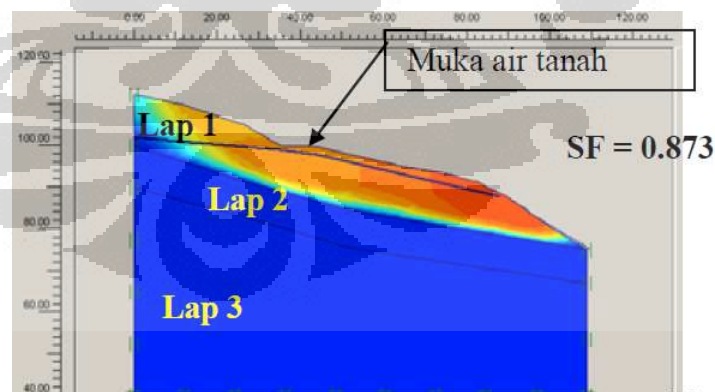




Gambar 2.21 Tanah Longsor akibat Curah Hujan Tinggi di Kabupaten Kulon Progo, DIY

b. Jember, 2006

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Kecamatan Panti, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur pada 1 Januari 2006 sekitar pukul 22.00 WIB. Curah hujan tercatat mencapai 187 mm. Jenis kelongsoran adalah kelongsoran gabungan. Berikut adalah topografi lereng beserta parameter stabilitas lerengnya (Musta'in dan Amien, 2010):



Lapisan	Jenis Tanah	Model	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{av}$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu$	$\phi$	$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	N-SPT	E kN/m <sup>2</sup>
1	Lempung	MC	15.56	8.65	0.25	3 <sup>o</sup>	18.5	2	4200
2	Lanau-Pasir	MC	17.11	11.3	0.25	10 <sup>o</sup>	46.7	11	9600
3	Cadas	MC	20.7	17	0.25	35 <sup>o</sup>	73.83	50	32500

Lapisan	Jenis Tanah	Model	$\gamma_{sat}$ kN/m <sup>3</sup>	$\gamma_{av}$ kN/m <sup>3</sup>	$\nu$	$\phi$	$c_u$ kN/m <sup>2</sup>	N-SPT	E kN/m <sup>2</sup>
1	Lempung	MC	16.50	9.76	0.25	4 <sup>o</sup>	20.87	4	5400
2	Lanau-Pasir	MC	20.67	17	0.25	10 <sup>o</sup>	39.87	27	19200
3	Cadas	MC	20.7	17	0.25	35 <sup>o</sup>	73.83	50	32500

Gambar 2.22 Topografi dan Parameter Stabilitas Lereng Jember, 2006

c. Karanganyar, 2007

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Dusun Mogol, Desa Ledoksari, Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya koordinat  $111^{\circ} 07' 24,9''$  BT dan  $07^{\circ} 40' 36,8''$  LS pada 26 Desember 2007 sekitar jam 3.00 WIB. Curah hujan tercatat mencapai 194 mm. Jenis kelongsoran adalah kelongsoran bahan rombakan. Tanah pelapukan di lokasi bencana berupa lempung pasir lunak, mudah hancur dan luruh bila terkena air karena telah melewati batas kejenuhan, coklat, permeabilitas tinggi, plastisitas sedang, berkerikil dengan tebal lebih dari 3 m. Ketebalan tanah pelapukan: 6 m – 8 m yang diduga merupakan lapukan batuan tufa, tidak tampak adanya breksi vulkanik pada daerah ini atau terdapat dengan bagian yang kecil. Panjang akar pohon yang tumbang hanya 2 m. Berikut adalah topografi lereng beserta foto di lapangan:



Gambar 2.23 Topografi dan Foto Longsor Karanganyar, 2007

## d. Cianjur, 2008

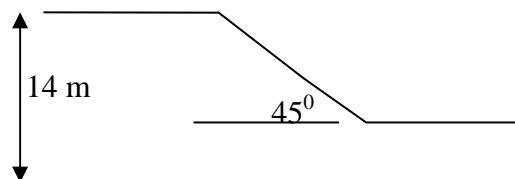
Kasus kelongsoran ini berlokasi di Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat pada 13 November 2008 jam 19.30 WIB. Hujan lebat terjadi pada pukul 16.00 - 21.00 WIB. Tanah hasil pelapukan bersifat sangat gembur, rapuh, mudah lepas-lepas, labil, berukuran lempung-pasir halus dengan ketebalan tinggi. Jenis kelongsoran adalah aliran debris.



Gambar 2.24 Longsor Cianjur, 2008

## e. Bogor, 2009

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Kampung Adat Urug, Desa Kiara Pandak, Kecamatan Sukajaya, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat  $06^{\circ}37'15''$  LS dan  $106^{\circ}30'26,3''$  BT pada 11 September 2009 sekitar pukul 19:00 WIB. Tebal tanah pelapukan berkisar antara 1,5 m hingga 5 m. Pelapisan tanah dari atas ke bawah adalah :terlapukkan secara menyeluruh (cokelat tua), terlapukkan sebagian (cokelat muda), dan batuan yang sedikit terlapukkan (putih). Kedalaman lapisan kedap air adalah 2 m - 4 m. Geometri lereng adalah sebagai berikut:



Gambar 2.25 Geometri Lereng Bogor, 2009



## f. Wonosobo, 2011

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Dusun Wonoaji, Desa Tieng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah pada 20 Desember 2011. Curah hujan tercatat mencapai 75 mm.



Gambar 2.26 Foto Longsor Wonosobo, 2011

## g. Depok, 2012

Kasus kelongsoran ini menimpa dinding saluran drainase di seberang Halte FISIP, pinggir Jalan Prof. Dr. Sumitro Djojohadikusumo, Universitas Indonesia, Kota Depok, Provinsi Jawa Barat pada 13 Januari 2012 pukul 16.30 WIB. Kelongsoran saluran tersebut tercatat sepanjang 20 m. Dimensi saluran drainase adalah: lebar = 1,2 m; tebal = 20 cm, kedalaman kira-kira 2,5 m.



a.

b.

Gambar 2.27 Kelongsoran Saluran Drainase Depok, 2012: a. Foto Melintang Arah Barat, b. Foto Melintang Arah Timur

## 2.6.2 Mancanegara

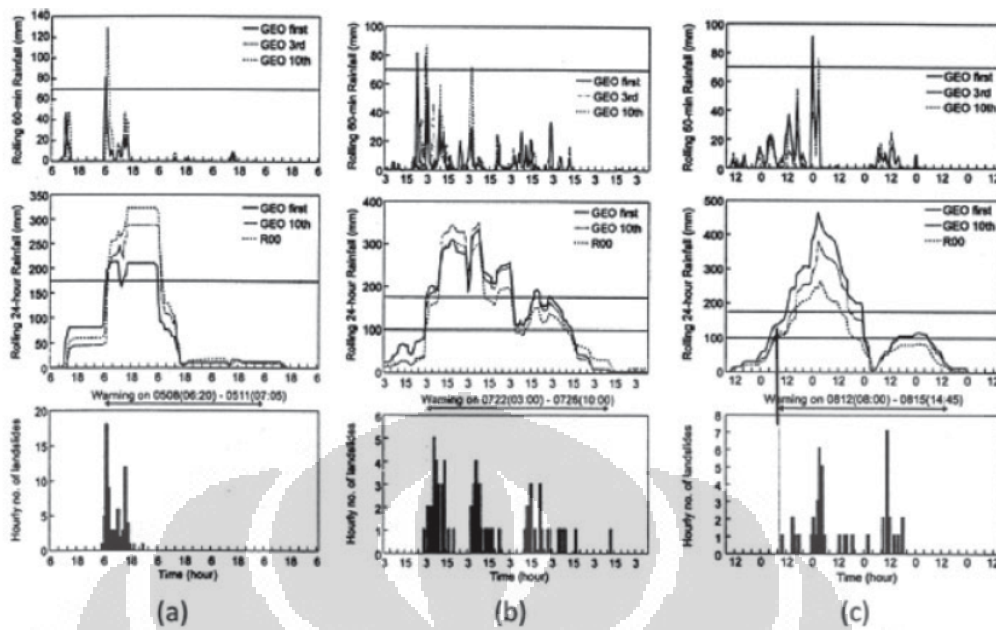
### a. Hong Kong, 1972

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Poshan Road, Hong Kong pada 18 Juni 1972. Curah hujan tercatat mencapai 650 mm. Tipe kelongsoran adalah aliran debris dengan volume sumber longsor 40.000 m<sup>3</sup> dan jarak luncur hingga 270 m ke arah bawah lereng. Sudut kemiringan lereng berkisar 35<sup>0</sup> di sisi jalan. Retakan telah terjadi di area longsor yang dipicu oleh badai hujan Rose yang terjadi 11 bulan sebelumnya. GEO Hong Kong (1992) menyimpulkan bahwa longsor terjadi karena pekerjaan konstruksi di atas lereng yang bersamaan dengan hujan lebat.



Gambar 2.28 Longsor Aliran Debris di Hong Kong, 1972

Penilaian terhadap ketidastabilan lereng dilakukan dengan korelasi empiris antara curah hujan dan kelongsoran yang terjadi (ATC Hong Kong, 1997). Penilaian tersebut meliputi: (i). intensitas curah hujan terhadap *piezometric levels*; (ii). *piezometric levels* terhadap pergerakan lereng; (iii). pergerakan lereng terhadap kejadian longsor. Berikut adalah hubungan antara hujan lebat dan kelongsoran di Hong Kong: (a). kejadian 8-11 Mei 1992; (b). kejadian 22-26 Juli 1994; (c). kejadian 12-15 Agustus 1995:



Gambar 2.29 Metode Korelasi Berdasarkan Curah Hujan 1 jam dan 24 jam

Keefektifan metode ini berdasarkan pada curah hujan 24 jam di Hong Kong mampu mereduksi jumlah korban longsor (ATC, 1997). Berikut adalah tabulasinya:

Date of event	Maximum rainfall (mm)					Landslide consequence				
	Royal Observatory			Other location		Number of landslides			Casualties	
	24 hr	1 hr	Antecedent 4 day	24 hr	1 hr	GEO	Newspaper	FSD	Killed	Injured
18/6/72	275	99	403	300	98	NA	dozens	14	147	103
25/8/76	416	52	96	500	82	NA	314	23	26	31
29/5/82	394	44	1	430	111	551	498	15	22	26
16/8/82	362	68	0	370	95	138	62	6	5	4
21/5/89	388	37	28	552	51	340	100	3	2	3
8/5/92	324	110	65	385	110	350	40	9	3	5
22/7/94	310	70	36	362	101	184	200	14	5	4
13/8/95	326	44	57	468	82	113	98	11	3	6

Note: GEO = Geotechnical Engineering Office; FSD = Fire Services Department

Tabel 2.4 Keefektifan Metode Mereduksi Jumlah Korban Longsor Hong Kong

b. Jepang, 1998

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Taishin, Fukushima, Jepang pada 27 Agustus 1998. Curah hujan tercatat mencapai 1000 mm. Tipe kelongsoran adalah aliran debris.





Gambar 2.30 Longsor Debris di Jepang, 1998

c. Taiwan, 2004

Kasus kelongsoran ini berlokasi di Ruas jalan T-18 dan T-21 di Taiwan pada 30 Juni 2004. Curah hujan tercatat mencapai 1000 mm. Terdapat berbagai tipe longsor yaitu: runtuh batuan, longsor gelincir, aliran debris, runtuh debris batuan (Liao dkk, 2006).



Gambar 2.31 Longsor Taiwan, 2004: (a) longsor tipe runtuh batuan, (b) longsor gelincir, (c) aliran debris, dan (d) runtuh debris batuan (Liao dkk., 2006)

d. Filipina, 2012

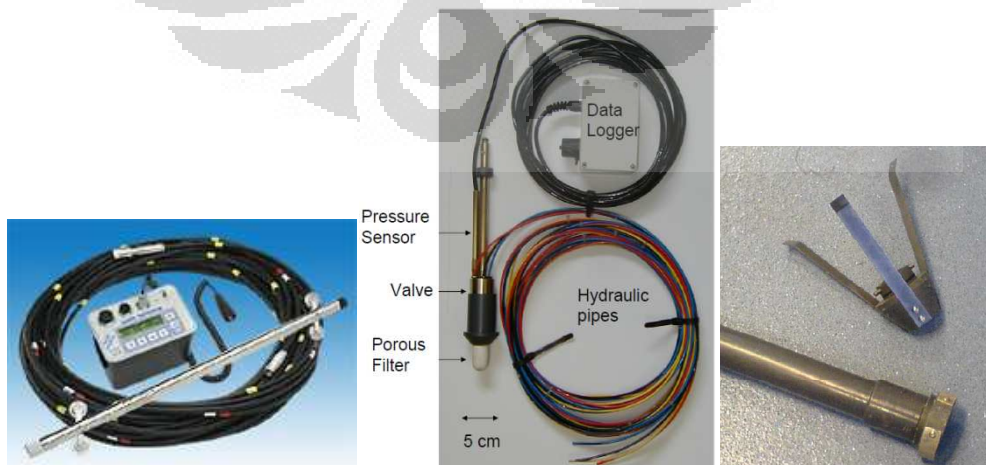
Kasus kelongsoran ini berlokasi di Pantukan, Lembah Compostela, Pulau Mindanao, Filipina Selatan pada 5 Januari 2012. Tanah longsor tersebut mengakibatkan petak kehancuran dengan panjang sekitar 300 meter dan lebar 60 meter.



Gambar 2.32 Longsor Filipina Selatan, 2012

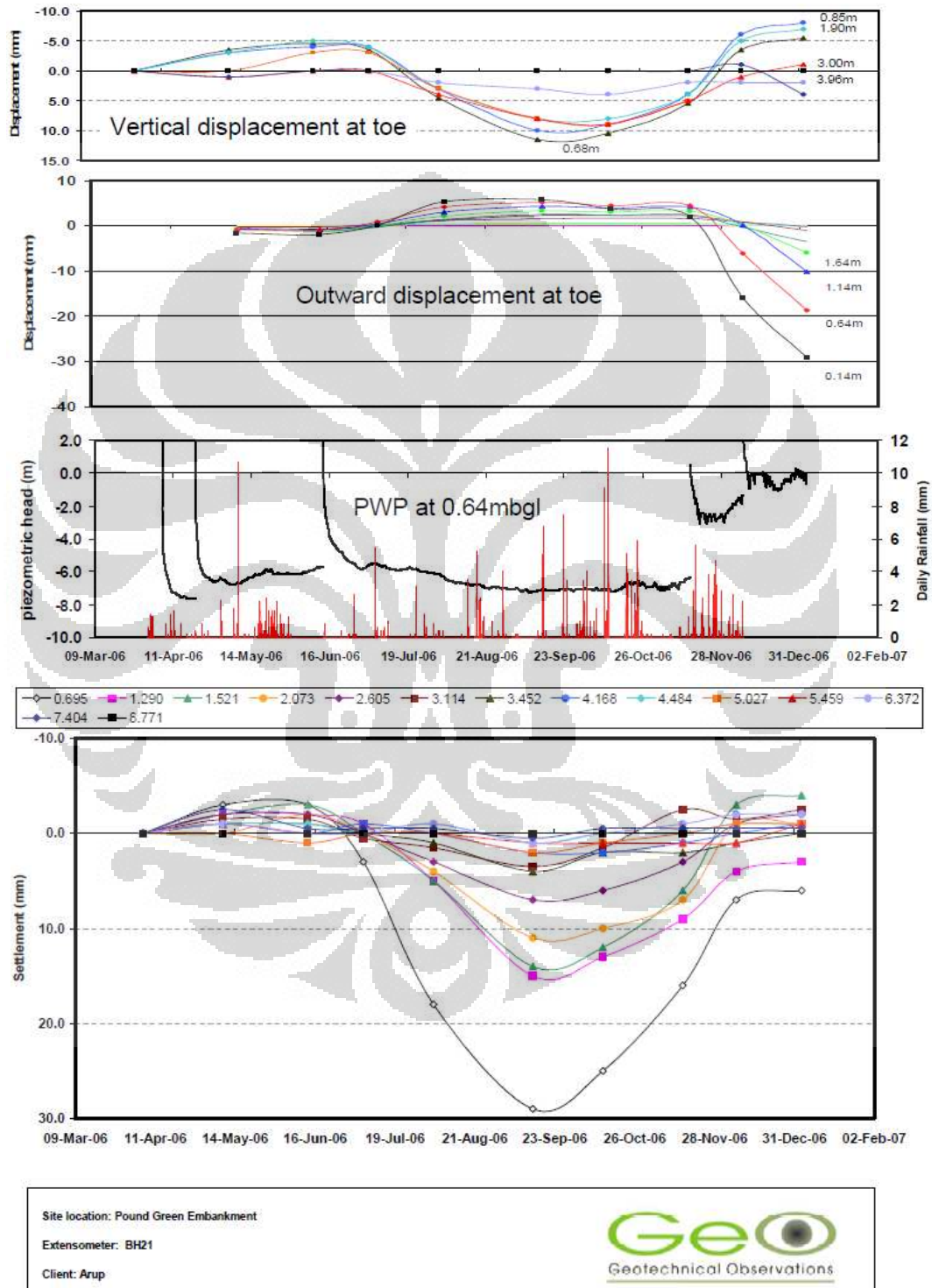
## 2.7 Cara Pengamatan Stabilitas (monitoring dan instrumentasi) oleh CLIFFS

Selain untuk mengetahui keadaan tanah, Investigasi Geoteknik dapat juga ditujukan untuk melakukan suatu pengamatan. Terdapat berbagai instrumentasi dalam pengamatan stabilitas yang secara khusus digunakan untuk memonitor pergerakan tanah beserta air di dalam tanah pada suatu lereng atau tanggul. Untuk mendeteksi pergerakan lateral tanah, digunakan *inclinometer*. Sedangkan, untuk mendeteksi pergerakan vertikal tanah, digunakan *extensometer*. Sementara itu, untuk mengukur tekanan air-pori positif dan negatif, digunakan *piezometer*.



Gambar 2.33 *Inclinometer*, *Piezometer*, dan *Extensometer* (Kiri ke Kanan)

Berikut ini adalah contoh hasil pengamatan yang dilakukan oleh CLIFFS (Climate Impact Forecasting for Slopes) pada suatu tanggul di Inggris, sejak 9 Maret 2006 hingga 2 Februari 2007 yang menggunakan instrumentasi *inclinometer*, *piezometer*, dan *extensometer*.

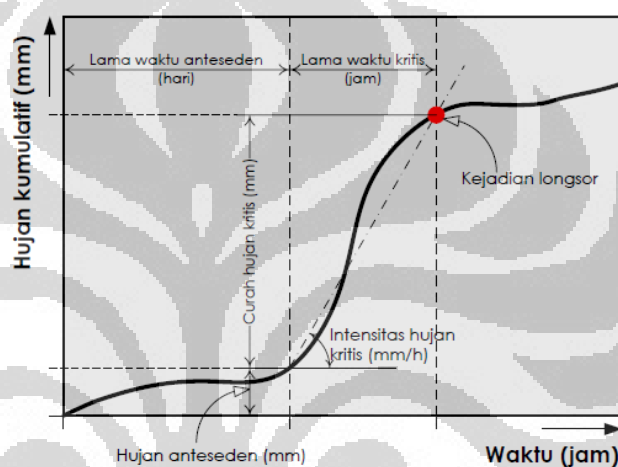


Gambar 2.34 Hasil Monitoring CLIFFS Menggunakan Instrumentasi

## 2.8 Prinsip Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor

### 2.8.1 Ambang Hujan dan Pendekatannya

*Rainfall threshold* atau ambang hujan ialah batas kritis (maksimum atau minimum) jumlah hujan yang turun hingga mencapai tanah (Reichenbach dkk., 1998). Hujan kritis adalah hujan yang diukur dari awal kejadian, yaitu pada saat intensitas hujan meningkat sangat drastis, hingga waktu kejadian tanah longsor (Gambar 2.35). Peningkatan intensitas hujan yang sangat tajam ini menyebabkan lonjakan kurva hujan kumulatif yang tiba-tiba (Aleotti, 2004).



Gambar 2.35 Parameter Hujan yang Digunakan untuk Ambang Hujan Pemicu Tanah Longsor (dimodifikasi dari Aleotti, 2004)

Hujan dapat dikategorikan berdasarkan cakupan wilayah yaitu hujan global, regional dan lokal. Hujan global ditentukan dengan menggunakan data yang tersedia di seluruh belahan dunia. Hujan global merupakan hujan yang lebih umum tidak bergantung pada kondisi lokal, pola, dan riwayat hujan yang terjadi pada wilayah tertentu. Cara yang paling mudah untuk mendefinisikan hujan global ini adalah dengan mengetahui nilai batas bawah pada semua data rekaman hujan yang dihasilkan pada peristiwa tanah longsor. Hujan regional didefinisikan sebagai kumpulan data hujan pada wilayah-wilayah yang memiliki kesamaan karakteristik secara meteorologi, geologi, dan fisiografis. Hujan lokal secara tegas dan implisit mempertimbangkan kondisi iklim dan geomorfologi suatu wilayah.

Data hujan yang memicu terjadinya tanah longsor dari berbagai jenis hujan di atas dipisahkan dengan data hujan yang tidak memicu terjadinya tanah longsor. Hujan dapat ditentukan dengan menggunakan dua pendekatan yaitu permodelan empirik (*empirical based model*) dan permodelan proses fisik (*physical-process model*) (Guzzetti, dkk. 2005).

a. Permodelan Empirik

Hujan empirik (*empirical based model*) ditentukan dengan cara mempelajari kondisi hujan yang terjadi pada longsor lereng. Sebagian besar pemodelan empirik menunjukkan hasil yang sangat baik pada lokasi di mana model tersebut dikembangkan. Namun, kurang tepat jika digunakan di tempat lainnya walaupun berada dalam suatu wilayah yang sama (Crosta, 1989). Ambang hujan dalam model empirik menggunakan data riwayat hujan dari beberapa kejadian, baik yang menyebabkan atau tidak memicu tanah longsor. Secara umum, ambang hujan empirik ini dapat dikelompokkan menjadi empat kategori yaitu:

- i. ambang intensitas – lama waktu hujan (intensity – duration/ID)
- ii. ambang berdasarkan jumlah total kejadian hujan
- iii. ambang kejadian – lama waktu hujan (event – duration/ED)
- iv. ambang kejadian– intensitas hujan (event – intensity/EI)

Hubungan intensitas – lama waktu hujan paling banyak digunakan dalam beberapa pustaka. Model dituangkan menjadi suatu kurva yang dikenal sebagai *I-D curve*. Kurva empirik ini adalah kurva batas bawah (*lower limit curve*) kejadian longsor pada saat hujan. Kurva ini akan memberikan hasil yang lebih baik bila menggunakan pula data hujan yang tidak menyebabkan terjadinya tanah longsor. Gambar 2.36 dan 2.37 menunjukkan hubungan antara intensitas hujan dan lama waktu pada pemodelan hujan empirik yang dikembangkan oleh Chelborad dkk. (2006) untuk jenis longsor dangkal di Seattle, Washington dan Chen, dkk. (2005) untuk aliran debris di Taiwan.

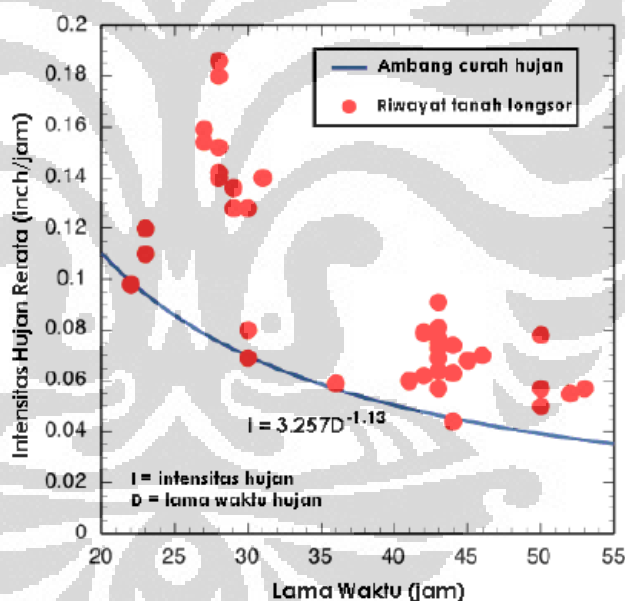


Karena ambang hujan didefinisikan secara empirik, maka persamaan-persamaannya bervariasi dari satu lokasi ke lokasi yang lain. Sehingga, ketepatan hubungan tersebut dapat dikategorikan dalam lingkup global, regional dan lokal. Tabel 2.5 menampilkan 52 model persamaan empirik yang diusulkan oleh beberapa peneliti. Tiap-tiap persamaan empirik tersebut ditampilkan dalam suatu kurva seperti pada Gambar 2.35. Berdasarkan persamaan-persamaan empirik pada Tabel 2.5, kurva I-D dapat dituliskan dalam suatu bentuk yang umum yaitu:  $I = c + \alpha \cdot D^\beta$  dengan:

$I$  = intensitas hujan,

$D$  = lama waktu hujan,

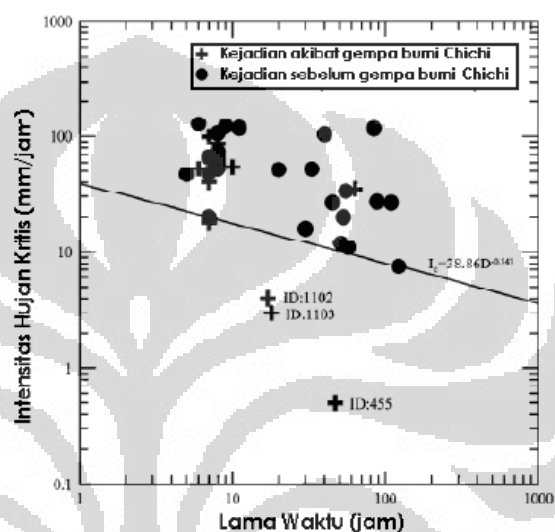
$c$ ,  $\alpha$ , dan  $\beta$  = parameter empirik



Gambar 2.36 Ambang Intensitas Hujan dan Lama Waktu untuk Jenis Longsoran Dangkal (Chleborad dkk., 2006)

Persamaan empirik pada Tabel 2.5 memiliki batasan intensitas dan lama waktu masing-masing. Secara umum, batasan lama waktu hujan berkisar antara 1 hingga 100 jam, dan rentang intensitas dari 1 hingga 200 mm (Gambar 2.35). Sebagian besar persamaan ambang I-D (45 persamaan) memiliki nilai parameter  $c = 0$ . Untuk  $c = 0$ , maka persamaan mengikuti model *simple power*

law. Keseluruhan persamaan yang disajikan dalam Tabel 2.5 memiliki nilai eksponensial ( $\beta$ ) negatif yang berkisar antara -2,0 hingga - 0,19, dan parameter  $\alpha$  berada dalam rentang 4,0 hingga 176,4. Ketersediaan informasi untuk ambang hujan regional dapat dikembangkan menjadi suatu sistem peringatan dini tanah longsor (*early warning system*) bila dikombinasikan dengan perkiraan atau pengukuran hujan pada wilayah tersebut.



Gambar 2.37 Ambang Hujan Empirik untuk Aliran Debris di Taiwan (Chen dkk., 2005)

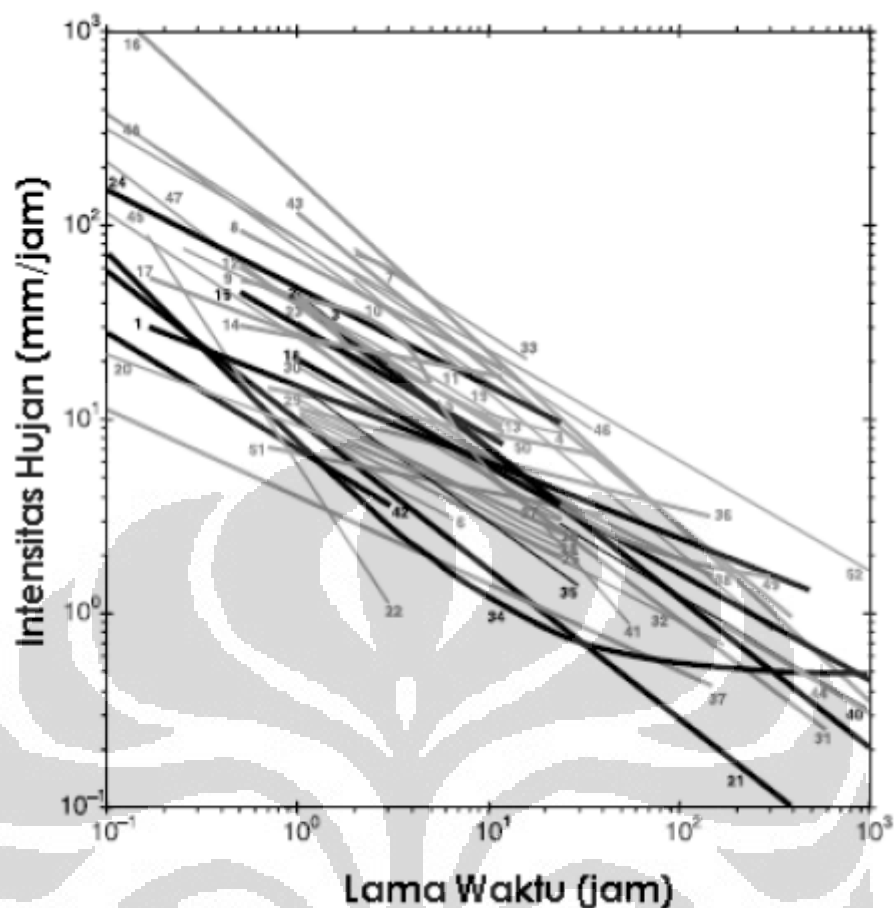
No.	Sumber	Sifat	Wilayah	Jenis Longsor	Persamaan	Batasan
1	Caine (1980)	G	Dunia	Sh, D	$I = 14,82D^{-0,38}$	$0,167 < D < 500$
2	Moser & Hohensinn (1983)	R	Austria	S	$I = 41,66D^{-0,77}$	$1 < D < 1000$
3	Cancelli & Nova (1985)	L	Northern Italy	S	$I = 44,67D^{-0,78}$	$1 < D < 1000$
4	Cannon & Ellen (1985)	L	San Fransisco	D	$I = 6,9 + 38D^{-1,0}$	$2 < D < 24$
5	Cannon & Ellen (1985)	L	San Fransisco	D	$I = 2,5 + 300D^{-2,0}$	$5,5 < D < 24$
6	Wieczorek (1987)	L	Santa Cruz	D	$I = 1,7 + 9D^{-1,0}$	$1 < D < 6,5$
7	Jibson (1989)	R	Indonesia	D	$I = 92,06 - 10,68D$	$2 < D < 4$
8		R	Puerto Rico	D	$I = 66,18D^{-0,62}$	$0,5 < D < 12$
9		R	Brazil	D	$I = 63,38 - 22,19D$	$0,5 < D < 2$
10		R	China	D	$I = 49,11 - 6,81D$	$1 < D < 5$
11		R	Hong Kong	D	$I = 41,83D^{-0,58}$	$1 < D < 12$
12		R	Japan	D	$I = 39,71D^{-0,62}$	$0,5 < D < 12$
13		R	California	D	$I = 35,23D^{-0,54}$	$3 < D < 12$
14		R	California	D	$I = 26,51D^{-0,19}$	$0,5 < D < 12$
15		G	Dunia	D	$I = 30,53D^{-0,57}$	$0,5 < D < 12$
16	Gudagno (1991)	R	Southern Italy	D	$I = 176,40D^{-0,90}$	$0,1 < D < 1000$
17	Rodolfo & Arguden (1991)	L	Mayon, Philippine	L	$I = 27,3D^{-0,38}$	$0,167 < D < 3$
18	Ceriani dkk (1992)	R	Northern Italy	A	$I = 20,1D^{-0,55}$	$1 < D < 1000$
19	Larsen & Simon (1993)	R	Puerto Rico	A	$I = 91,46D^{-0,62}$	$2 < D < 312$

No.	Sumber	Sifat	Wilayah	Jenis Longsor	Persamaan	Batasan
20	Arboleda & Martinez (1996)	L	Philippine	L	$I = 9,23D^{-0,27}$	$0,08 < D < 7,92$
21	Clarizia dkk (1996)	G	Dunia	S	$I = 10D^{-0,77}$	$0,1 < D < 1000$
22	Tungol & Regalado (1996)	L	Philippine	L	$I = 5,94D^{-1,50}$	$0,167 < D < 3$
23	Zimmermann dkk (1997)	R	Switzerland	A	$I = 32D^{-0,70}$	$1 < D < 45$
24	Paronuzzi dkk (1998)	R	Alps, Italy	D	$I = 47,742D^{-0,507}$	$0,1 < D < 24$
25	Bolley & Olliaro (1999)	L	Piedmont, Italy	D	$I = 9,521D^{-0,4958}$	$1 < D < 24$
26		L	Piedmont, Italy	D	$I = 11,698D^{-0,4783}$	$1 < D < 24$
27		L	Piedmont, Italy	D	$I = 11D^{-0,4489}$	$1 < D < 24$
28		L	Piedmont, Italy	D	$I = 10,67D^{-0,5043}$	$1 < D < 24$
29		L	Piedmont, Italy	D	$I = 12,649D^{-0,5324}$	$1 < D < 24$
30		L	Piedmont, Italy	D	$I = 18,675D^{-0,585}$	$1 < D < 24$
31	Calcaterra dkk (2000)	R	Campania, Italy	A	$I = 28,1D^{-0,74}$	$1 < D < 600$
32	Montgomery dkk (2000)	L	Oregon	A	$I = 9,9D^{-0,52}$	$1 < D < 170$
33	Wieczorek dkk (2000)	L	Virginia	D	$I = 116,48D^{-0,63}$	$2 < D < 16$
34	Crosta & Frattini (2001)	G	Dunia	Sh	$I = 0,48 + 7,2D^{-1,0}$	$0,1 < D < 1000$
35	Marchi dkk (2002)	L	Torent, Italy	A	$I = 15D^{-0,70}$	$1 < D < 30$
36	Ahmad (2003)	R	Jamaica	Sh	$I = 11,5D^{-0,28}$	$1 < D < 150$
37	Jakob & Weatherly (2003)	R	Vancouver, Canada	Sh	$I = 4,0D^{-0,45}$	$0,1 < D < 150$
38	Aleotti (2004)	R	Piedmont, Italy	Sh	$I = 19D^{-0,50}$	$4 < D < 120$
39	Barbero dkk (2004)	L	Piedmont, Italy	A	$I = 44,668D^{-0,78} \times N$	$1 < D < 1000$
40	Floris dkk (2004)	L	Valzangona, Italy	A	$I = 18,83D^{-0,59}$	$24 < D < 3360$
41	Baum dkk (2005)	L	Seattle, Washington	S	$I = 82,73D^{-1,13}$	$20 < D < 55$
42	Cannon & Gartner (2005)	G	Dunia	D	$I = 7D^{-0,60}$	$0,1 < D < 3$
43	Chien dkk (2005)	R	Taiwan	A	$I = 115,47D^{-0,80}$	$1 < D < 400$
44	Corominas dkk (2005)	R	Spain	A	$I = 17,96D^{-0,59}$	$D > 168$
45	Gianneochini (2005)	L	Tuscany, Italy	Sh	$I = 26,871D^{-0,638}$	$0,1 < D < 35$
46		L	Tuscany, Italy	Sh	$I = 85,584D^{-0,781}$	$0,1 < D < 35$
47		L	Tuscany, Italy	Sh	$I = 38,363D^{-0,743}$	$0,1 < D < 12$
48		L	Tuscany, Italy	Sh	$I = 76,199D^{-0,682}$	$0,1 < D < 12$
49	Hong dkk (2005)	R	Shikoku, Japan	A	$I = 1,35 + 55D^{-1,0}$	$24 < D < 300$
50	Jan & Chen (2005)	R	Taiwan	D	$I = 13,5D^{-0,20}$	$0,7 < D < 40$
51		R	Taiwan	D	$I = 6,7D^{-0,20}$	$0,7 < D < 40$
52	Zezere dkk (2005)	L	Lisbon, Portugal	A	$I = 84,3D^{-0,57}$	$0,1 < D < 2000$

Keterangan:

Sifat : G = global, R = regional, L = lokal. Jenis Longsor : D = debris, S = longoran gelincir, Sh = longoran dangkal, L = lahar, A = semus. Persamaan : I = intensitas hujan (mm/h), D = lama waktu hujan (jam)

Tabel 2.5 Persamaan-persamaan Empirik Ambang Intensitas Hujan – Lama Waktu Pemicu Longsor (Guzzetti dkk., 2007)



Gambar 2.38 Kurva Intensitas Hujan – Lama Waktu (Angka pada Grafik adalah Nomor Urut Persamaan Sesuai Tabel 2.5)

Gambar di atas menunjukkan ambang lokal sedikit lebih besar daripada ambang regional. Hal ini mengindikasikan bahwa pada lama waktu tertentu, prediksi hujan yang memicu longsor dari ambang lokal lebih besar daripada intensitas hujan rerata ambang regional dan global. Rentang lama waktu pada ambang lokal sangat terbatas bila dibandingkan dengan ambang regional dan global. Ambang hujan regional dan local masih dapat digunakan untuk memprediksi di wilayah lain yang memiliki karakteristik morfologi dan litologi yang sama apabila kurva ID mempertimbangkan pengaruh meteorology dan perubahan iklim. Untuk itu beberapa usaha yang dapat dilakukan adalah dengan cara membuat normalisasi intensitas hujan dengan nilai empirik dari iklim local setempat. Normalisasi yang lazim dilakukan adalah membagi intensitas hujan dengan curah hujan tahunan rata-rata (mean annual

precipitation/MAP) (Cannon, 1988; Jibson, 1989; Ceriani dkk., 1992; Paronuzzi dkk., 1998; Wiczorek dkk., 2000; Aleotti dkk., 2002; Bacchini and Zannoni, 2003).

#### b. Permodelan Proses Fisik

Model fisika atau proses (process-based model) digunakan untuk mengorelasikan data hujan lokal maupun regional dengan data karakteristik wilayah seperti kemiringan lereng, jenis tanah, litologi, geologi, dan sebagainya. Model fisika ini lazimnya didasarkan pada pendekatan modelan hidraulik - hidrologi. (Montgomery dan Dietrich, 1994; Crosta, 1998; Terlien, 1998). Permodelan fisik dikalibrasikan menggunakan data hujan dari pengukuran hujan dengan lokasi serta waktu dimana terjadinya longsor. Permodelan fisika ini kurang dikembangkan secara luas karena membutuhkan peralatan yang kompleks seperti pengukur hujan, pengukur tekanan air (piezometer dan tensiometer) untuk memperoleh data kondisi suatu wilayah. Model fisika ini memodelkan ambang hujan berdasarkan model hidrologi dan hidraulika (Borga dkk, 1998; Cho dan Lee, 2002; Frattini dkk, 2004). Untuk mengevaluasi longsor atau tidaknya suatu lereng, permodelan fisika ini juga diintegrasikan dengan analisis stabilitas lereng seperti model lereng tak-hingga (infinite slope model) yang biasanya digunakan dalam disiplin geoteknik (Wu and Sidle, 1995; Iverson, 2000). Model hidrologi yang banyak digunakan dalam permodelan fisika adalah model infiltrasi air seperti model fisik Green dan Ampt, persamaan Philip atau persamaan Richard (Chow dkk., 1988). Secara konsep, ambang hujan yang dihasilkan dari model fisika ini bersifat lokal hingga regional. Pradel dan Raad (1993) mengusulkan suatu kurva hubungan intensitas dan lama waktu hujan untuk mengevaluasi keruntuhan lereng jenis longsor dangkal (Gambar 2.39). Model fisika dibuat berdasarkan model infiltrasi Green – Ampt. Pada model ini, diasumsikan lereng akan mengalami keruntuhan bila permukaan tanah mencapai derajat

jenuh air hingga zona pembasahan (wetting front). Berdasarkan model tersebut, waktu yang diperlukan  $T_w$  untuk menjenuhkan permukaan lereng hingga kedalaman  $Z_w$  adalah:

$$T_w = \frac{\mu}{k_s} \left[ Z_w - S \cdot \ln \left( \frac{S + Z_w}{S} \right) \right]$$

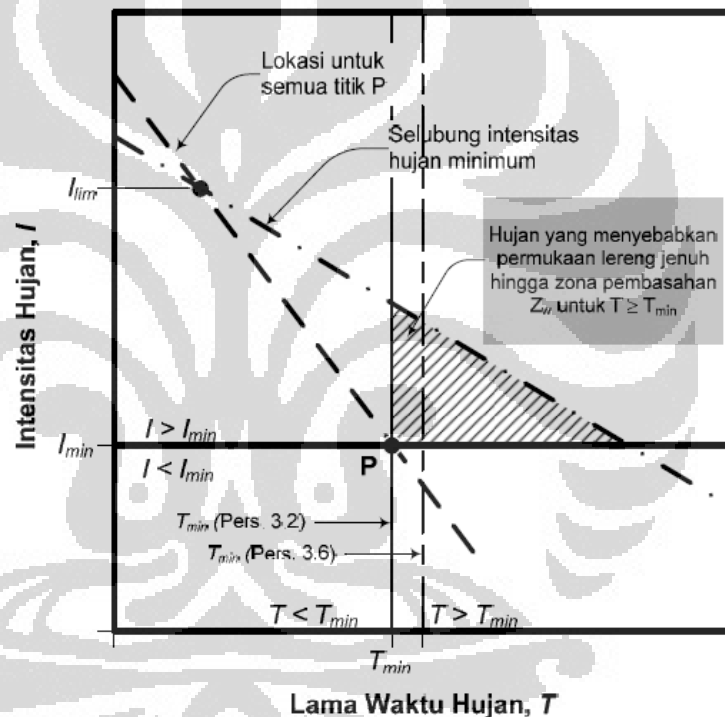
dengan,

$k_s$  = koefisien permeabilitas tanah,

$\mu$  = porositas tanah,

$S$  = tekanan air pori negatif (suction) pada zona pembasahan,

$Z_w$  = kedalaman zona pembasahan



Gambar 2.39 Ambang Intensitas Hujan yang Menyebabkan Permukaan Lereng Jenuh Air Hingga Zona Pembasahan (dimodifikasi dari Pradel & Raad, 1993)

Kecepatan infiltrasi air  $v_i$  yang masuk ke dalam permukaan tanah, menurut model Green – Ampt:

$$v_i = k_s \left( \frac{S + Z_w}{Z_w} \right)$$

Model fisik ini menganggap bahwa sebelum mengalami keruntuhan, suatu lereng harus mencapai derajat jenuh air.

Mengacu asumsi ini maka intensitas hujan harus lebih besar dari kecepatan infiltrasi dan curah hujan harus berlangsung lebih lama dari waktu  $T_w$ . Kedua kondisi ini dapat menentukan kedalaman zona pembasahan yang diperlukan untuk mencapai kondisi jenuh air. Maka:

$$I_{\min} = T_w$$

$$I_{\min} = U_i$$

Maka akan dihasilkan hubungan antara intensitas hujan  $I_{\min}$  dan lama waktu hujan  $T_{\min}$  :

$$I_{\min} = \frac{\mu}{T_{\min}} \left[ Z_w - S \cdot \ln \left( \frac{S + Z_w}{S} \right) \right] \left( \frac{S + Z_w}{Z_w} \right)$$

Cho dan Lee (2002) memodifikasi persamaan di atas dengan mempertimbangkan pengaruh air yang berada di atas permukaan lereng (*ponding*). *Ponding* terjadi bila permukaan tanah mencapai jenuh air. Maka, waktu yang diperlukan untuk mencapai derajat jenuh air hingga ke zona pembasahan menjadi:

$$T_{w(p)} = T_p + \frac{\mu}{k_z} \left[ Z_w - Z_p + S \cdot \ln \left( \frac{S + Z_p}{S + Z_w} \right) \right]$$

dengan

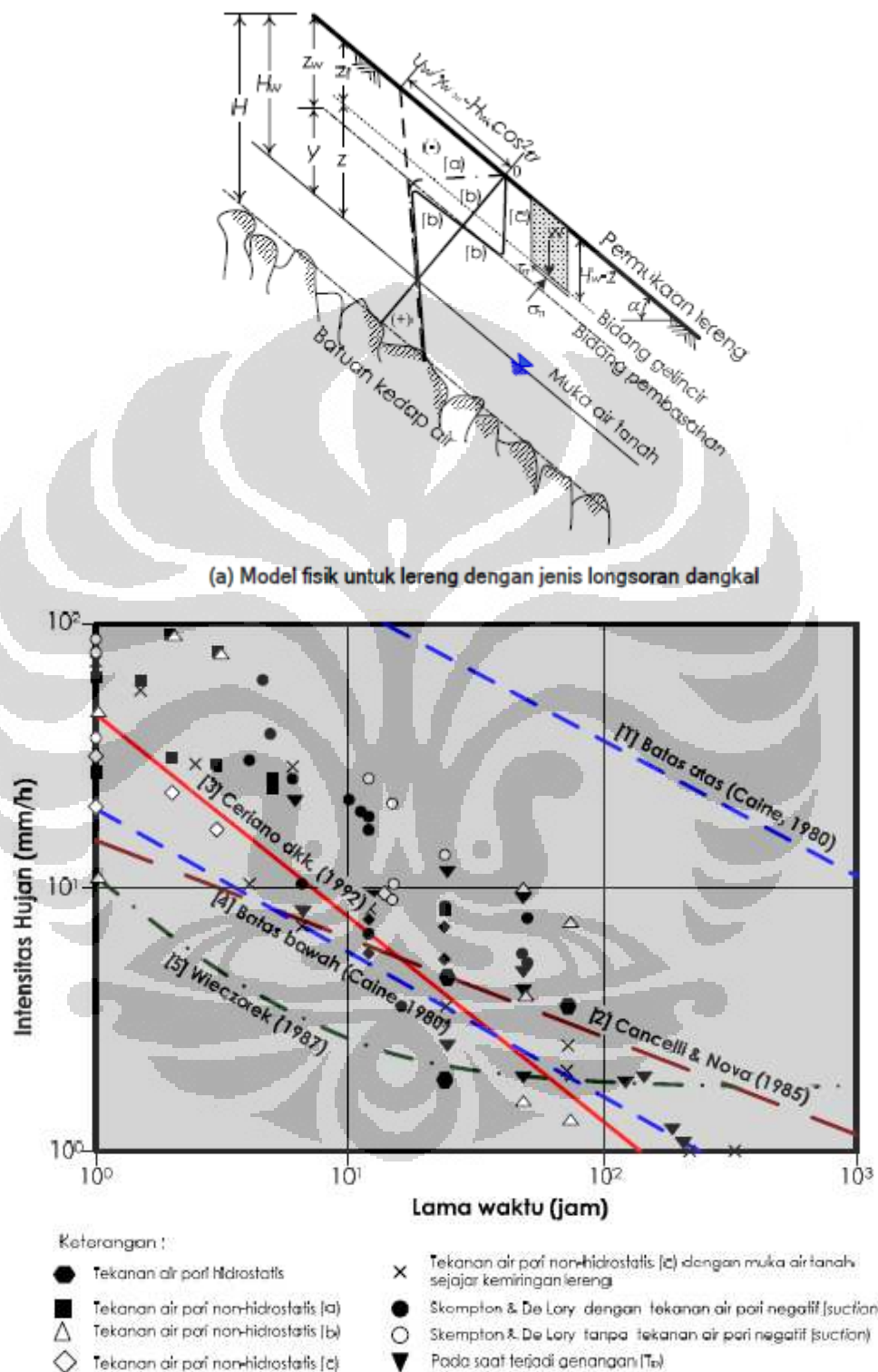
$$T_p = \frac{k_z \cdot \mu \cdot S}{(U_i - k_z)}$$

$T_p$  adalah waktu yang dicapai pada saat terjadi *ponding*. Hubungan intensitas – lama waktu hujan tersebut dapat dibuat dengan berbagai kala ulang hujan untuk menentukan curah hujan kritis pemicu longsor.

Crosta (1998) menggunakan model analisis lereng tak-hingga dan model rembesan air tanah paralel dengan kemiringan lereng (Gambar 2.40a). Stabilitas lereng ditentukan dengan beberapa kondisi tekanan air pori. Selanjutnya, hasil analisis stabilitas lereng ini divalidasi dengan kurva ID (Gambar 2.40b). Ambang hujan batas bawah yang diusulkan oleh Caine (1980)



lebih sesuai digunakan sebagai ambang hujan untuk lokasi lereng yang dikaji oleh Crosta (1998).



Gambar 2.40 Validasi Kurva Ambang Hujan dengan Model Fisik (dimodifikasi dari Crosta, 1998)



Matsushi dan Matsukura (2007) mengembangkan model ambang hujan untuk jenis longsoran dangkal berdasarkan data pengukuran tekanan air pori yang dikombinasikan dengan analisis lereng tak-hingga. Hubungan antara intensitas hujan dan waktu/durasi diberikan melalui persamaan sebagai berikut:

$$I = 176,7 D^{-0,91} \quad ; \text{ untuk } 8 \text{ h} < D < 80 \text{ h}$$

$$I = 44,9 D^{-0,70} \quad ; \text{ untuk } 2 \text{ h} < D < 15 \text{ h}$$

Muntohar dan Liao (2009) membuat kurva ambang hujan ternormalisasi berdasarkan model fisik infiltrasi hujan dan stabilitas lereng tak-hingga. Model ini menganggap bahwa longsor dipicu oleh kombinasi intensitas hujan dan hujan kumulatif selama periode tertentu. Intensitas hujan dan hujan kumulatif tersebut dinormalisasi dengan parameter fisik lereng (yaitu sudut kemiringan lereng), hidraulik (yaitu kadar air volumetrik dan koefisien permeabilitas tanah jenuh air) dan mekanik tanah (yaitu tekanan *suction*). Persamaan di bawah ini memberikan rumusan hujan kumulatif dan intensitas hujan ternormalisasi.

$$NAR = \frac{R(t)}{(k_s \cdot \cos \beta \cdot \psi_f \Delta \theta)}$$

$$NRI = \frac{I(t)}{(k_s \cdot \cos \beta \cdot \psi_f \Delta \theta)}$$

dengan:

$NAR$  = hujan kumulatif ternormalisasi (h/mm),

$NRI$  = intensitas hujan ternormalisasi (mm-1),

$R(t)$  = hujan kumulatif (mm) pada waktu  $t$ ,

$I(t)$  = intensitas hujan (mm/h) pada waktu  $t$ ,

$k_s$  = koefisien permeabilitas tanah jenuh air (mm/h),

$\Delta \theta$  = kadar air volumetrik tanah,

$\psi_f$  = tinggi tekanan suction pada zona pembasahan (mm),

$\beta$  = sudut kemiringan lereng

Ketiga parameter pembagi yaitu  $k_s$ ,  $\Delta\theta$ , dan  $\psi_f$  merupakan parameter yang digunakan dalam persamaan infiltrasi Green-Ampt.

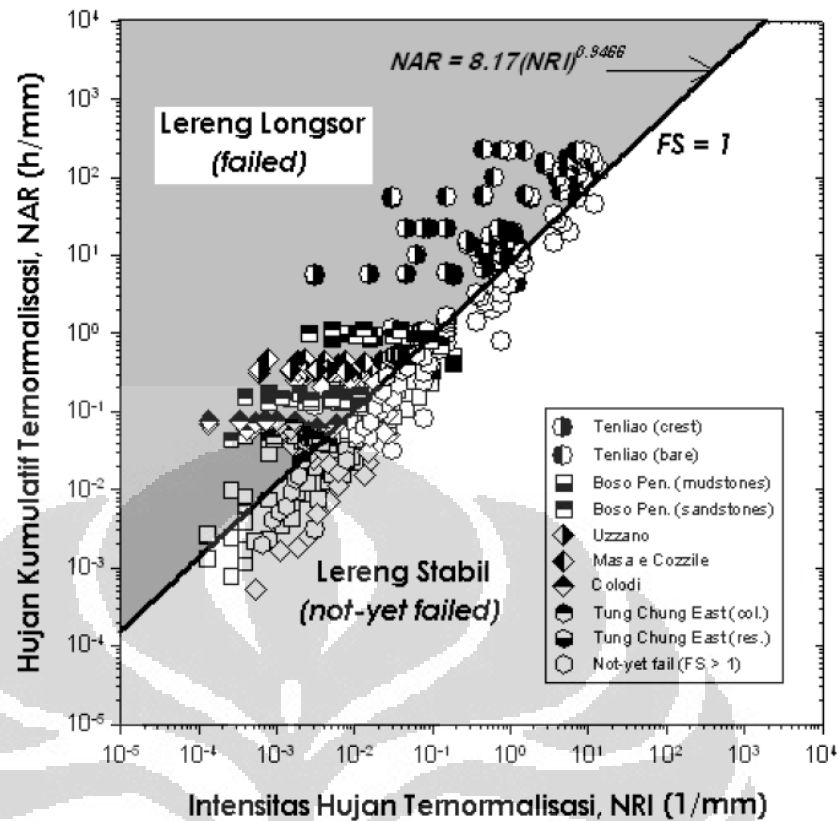
Prinsip dari model yang dikembangkan adalah menghubungkan hujan yang menghasilkan lereng dalam kondisi kritis dimana nilai faktor keamanan lereng sama dengan satu ( $FS = 1$ ). Bila dibuatkan menjadi suatu grafik (Gambar 2.41), garis yang menghubungkan nilai-nilai hujan pada kondisi  $FS = 1$  diberikan oleh Persamaan berikut:

$$NAR = 8,17 (NRI)^{0,9466}$$

Persamaan di atas tidak hanya memberikan informasi tentang potensi longsor pada kurun waktu hujan tertentu, tetapi dapat pula digunakan untuk memperkirakan lama waktu hujan kritis yang memicu longsor. Turunan persamaan tersebut adalah gradien dari garis ( $\Delta y/\Delta x$ ) dalam Gambar 2.41 yang merupakan lama waktu hujan ( $\Delta T$ ) dan dinyatakan sebagai berikut:

$$\Delta T = 7,734 (NRI)^{-0,0534}$$

Satuan dari  $\Delta T$  adalah jam (h)



Gambar 2.41 Kurva Ambang Hujan Ternormalisasi Berdasarkan Model Fisik (Muntohar dan Liao, 2009)

Pemodelan fisika lebih sesuai dikembangkan untuk menentukan jumlah hujan, lokasi dan waktu yang memungkinkan terjadinya longsor, mempermudah dalam pembuatan sistem peringatan dini tanah longsor. Akan tetapi, keterbatasan model fisika ini kesulitan ketersediaan data yang akurat terutama untuk cakupan wilayah yang lebih luas. Informasi detail tentang kondisi hidrologi, litologi, morfologi, dan karakteristik tanah yang merupakan parameter untuk mengetahui kemungkinan terjadinya tanah longsor jarang sekali tersedia lengkap, sehingga membutuhkan instrumentasi dan penyelidikan lapangan yang lebih lanjut.

### 2.8.2 Kelebihan dan Keterbatasan Ambang Hujan

Keunggulan utama yang dimiliki oleh metode batasan empirik hujan untuk memprediksi terjadinya tanah longsor adalah sederhana dan tidak mahal ketika akan memprediksi wilayah yang cukup luas. Ketika informasi tentang tanah longsor dan hujan tersedia, plot data dapat dilakukan dan garis batasan dapat digunakan untuk menentukan batas awal terjadinya longsor pada lereng.

Kendala praktis yang sering dijumpai untuk menentukan ambang hujan berupa ketersediaan data yang valid, resolusi dan lamanya hujan. Selama berlangsungnya hujan, alat pengukur curah hujan mencatat data intensitas hujan yang terjadi, kemudian sesaat setelah hujan reda data tersebut dikirimkan oleh sebuah jaringan yang kemudian akan dikumpulkan sebagai data tanah longsor, sehingga kejadian tunggal yang terjadi secara intens (“ekstrim” dengan periode di atas 100 tahun) tidak dapat merepresentasikan kondisi ketidakstabilan di wilayah tersebut. Penggunaan ambang hujan yang didasarkan pada kejadian yang ekstrim dapat menimbulkan kesalahan untuk memprediksi kapan dan di mana terjadinya longsor. Oleh sebab itu, rekaman data hujan yang panjang dari berbagai wilayah yang kondisi metereologinya berbeda-beda harus dianalisis untuk menemukan ambang hujan yang sesuai. Sayangnya, informasi yang memadai tentang jumlah curah hujan yang terjadi jarang tersedia (Guzzeti dkk, 2005).

Ambang hujan menggunakan hubungan antara intensitas hujan dan lama waktu, tidak memperhatikan kejadian hujan yang terdahulu. Karena itu, penggunaan metode ini kurang tepat bila digunakan untuk memprediksi kejadian longsor tipe longsor dalam (*deep-seated*) atau longsor dengan intensitas hujan yang rendah, sehingga penentuan batasan hujan menggunakan hubungan kurva I-D tidak dapat dipakai untuk memprediksi tanah longsor yang terjadi beberapa jam setelah hujan berhenti dan tidak mampu memberikan gambaran yang spesifik dan jelas lokasi terjadinya tanah longsor. Selain itu, ambang hujan

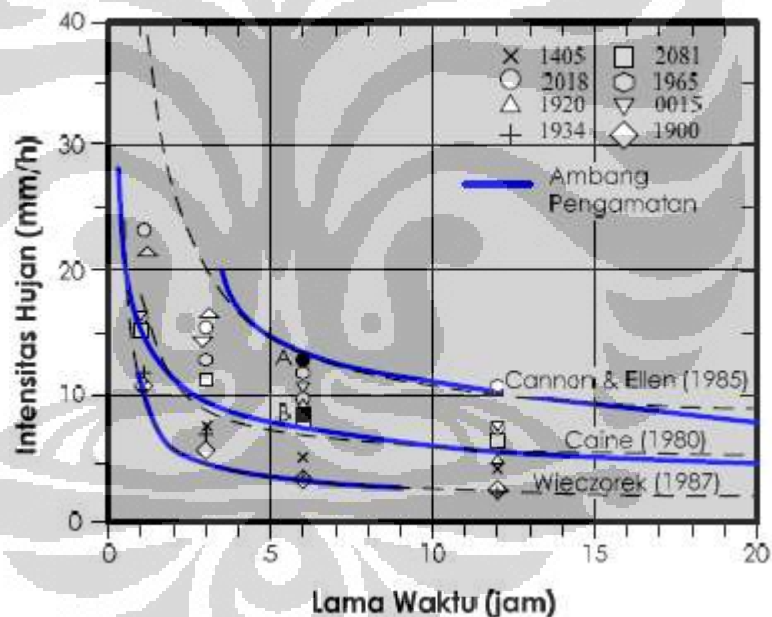
menggunakan metode ini, membutuhkan data yang kualitasnya dan resolusi tinggi (minimal data hujan per jam), yang tersedia secara lokal dan pada kurun waktu yang singkat (kurang lebih 20-30 tahun). Karena proses analisis yang cukup sulit, metode ini tidak dapat digunakan untuk menilai stabilitas lereng ketika terjadi badai dan tidak dipakai untuk memprediksi periode berkala terjadinya tanah longsor (*the return period of landslide*) (D'Odorico, dkk, 2005).

### 2.8.3 Aplikasi Ambang Hujan untuk Peringatan Dini

Hubungan antara hujan dan tanah longsor telah banyak diketahui, tetapi masih terdapat banyak ketidakpastian hujan yang dapat memicu terjadinya longsor. Setidaknya terdapat beberapa pertanyaan tentang hujan pemicu longsor, yaitu apakah didasarkan pada hubungan hujan anteseden – intensitas hujan yang turun pada hari di mana terjadi longsor, ataukah hubungan antara hujan pemicu – intensitas hujan yang turun pada saat terjadi terjadinya longsor. Pengalaman dari beberapa wilayah di belahan dunia memberikan hasil yang berbeda-beda terhadap peran hujan anteseden sebagai pemicu tanah longsor (Morgenstern, 1992). Model empirik ambang hujan dapat dikembangkan menjadi sistem peringatan dini (*early warning system / EWS*) tanah longsor. EWS ini meliputi perkiraan dan pengukuran hujan (*forecasting and measurement*), pemantauan pada saat hujan dan kejadian longsor (*real-time monitoring*). Dengan demikian, ambang hujan pemicu longsor ini adalah elemen penting dalam EWS.

Salah satu EWS yang pertama dikembangkan adalah oleh USGS di kawasan San Fransisco Bay (Keefer et al., 1987). EWS ini didasarkan pada perkiraan jumlah curah hujan (*quantitative precipitation rainfall forecast/QPRF*) yang disediakan dari 40 jaringan pengukur curah hujan dari National Weather Service (masing-masing perkiraan dapat dilakukan untuk 6 jam kemudian) dengan jaringan telemetri lebih dari 40 alat pengukur curah hujan. Data ini kemudian

dikombinasikan dengan ambang hujan pemicu longsor berdasarkan model empiric (Cannon and Ellen, 1985). Kombinasi antara ambang hujan dengan data yang berasal dari pengamatan dan pengukuran (*real-time monitoring*) pada jaringan telemetri hujan dan perkiraan cuaca (pada Gambar 2.42), dapat digunakan untuk mengeluarkan peringatan dini tanah longsor. Prinsip dari sistem ini adalah bila hasil pengukuran curah hujan yang nyata dari waktu ke waktu berimpit atau sama dengan ambang hujan, maka peringatan kejadian longsor dikeluarkan. Konsep sistem ini juga yang dikembangkan di Hong Kong (Brand et al., 1984), Italia (Sirangelo and Braca, 2001), Jepang (Onodera et al., 1974), Selandia Baru (Crozier, 1999), Afrika Selatan (Gardland and Olivier, 1993), dan Virginia (Wieczorek and Guzzetti, 1999).

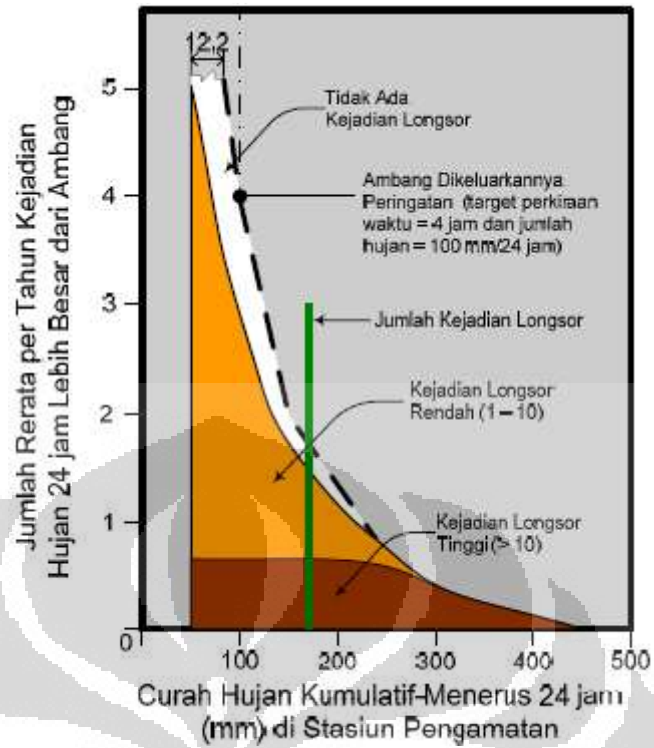


Gambar 2.42 Ambang Hujan yang Dikombinasikan dengan Pengukuran Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor (Dimodifikasi dari Keefer dkk., 1987)

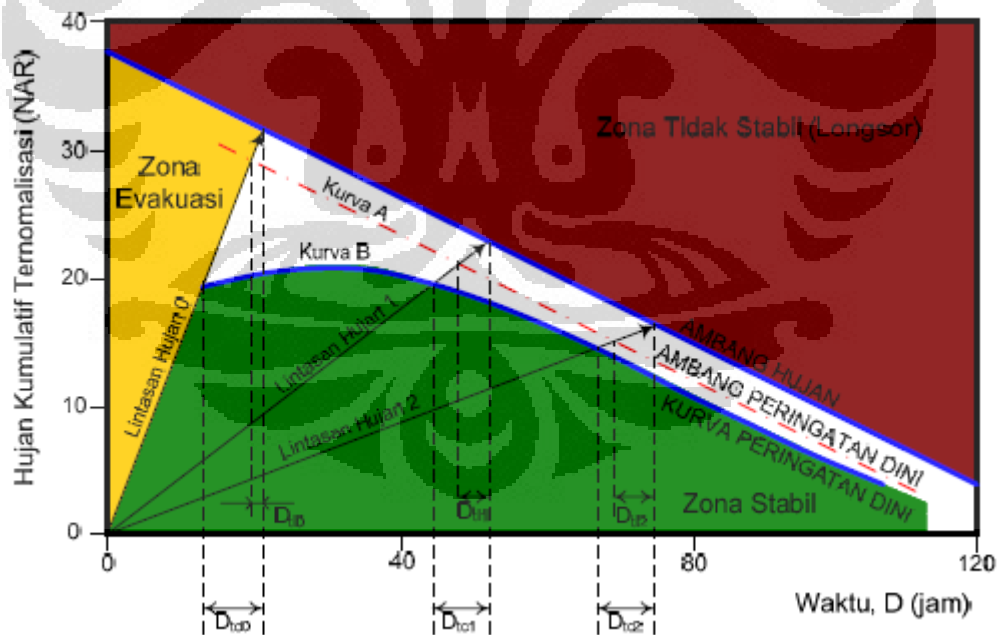
Di Hong Kong, Geotechnical Engineering Office (GEO) mengembangkan EWS dengan sistem komputer otomatis yang terintegrasi dengan jaringan telemetri dan pengamatan radar, serta citra satelit untuk memantau pergerakan dan pembentukan awan pembawa hujan (Premchitt, 1997). Peringatan longsor dibuat

berdasarkan hujan 24 jam dan hujan per jam. Penentuan tingkat bahaya yang dikeluarkan berdasarkan tingkat kejadian longsor. Penentuan tingkat peringatan dibuat dua kali dari frekuensi tingkat kejadian longsor. Jika tingkat kejadian longsor saja yang digunakan, maka waktu peringatan sebelum kejadian sejumlah longsor akan sangat pendek dan kemungkinan pula kejadian longsor yang sebenarnya terjadi sebelum pemberian peringatan. Bila jumlah kejadian tidak dapat diperkirakan tetapi curah hujan yang terjadi meningkat hingga tingkat kejadian longsor, maka peringatan dini harus dikeluarkan (Gambar 2.42). Peringatan kejadian longsor (*landslip warning*) dikeluarkan bila hujan 24 jam yang terukur melebihi 175 mm, atau hujan 1 jam melebihi 70 mm di seluruh wilayah penting. Pada keadaan ini, radio dan televisi lokal diminta untuk memberitakan tentang peringatan dini kepada masyarakat selama rentang waktu tertentu.

Ambang peringatan (*warning threshold*) dapat pula dimulai dari batas atas hingga mendekati ambang hujan (*triggering threshold*) yang sesungguhnya (RBMCI, 1985), yaitu suatu batas yang mengaktifkan prosedur darurat pada wilayah yang rentan terhadap longsor (Diagram 2.1). Ambang peringatan selanjutnya dapat diidentifikasi dari kondisi curah hujan yang melewati batas atas grafik. Sebagai contohnya, ambang peringatan ditentukan sebagai kurva yang sejajar (*parallel*) dengan ambang hujan (kurva A dalam Gambar 2.44), atau kurva yang mana waktu kritis ( $D_{tc}$ ) tetap konstan terhadap lintasan curah hujan kritis,  $D_{tc1} = D_{tc2}$  (kurva B dalam Gambar 2.44).



Gambar 2.43 Jumlah Rata-rata Per Tahun Kejadian Longsor pada Variasi Jumlah Hujan (dimodifikasi dari Premchitt, 1997)



Gambar 2.44 Kriteria untuk Kurva Peringatan Longsor berdasarkan pada Ambang Hujan (dimodifikasi dari Aleotti, 2004)



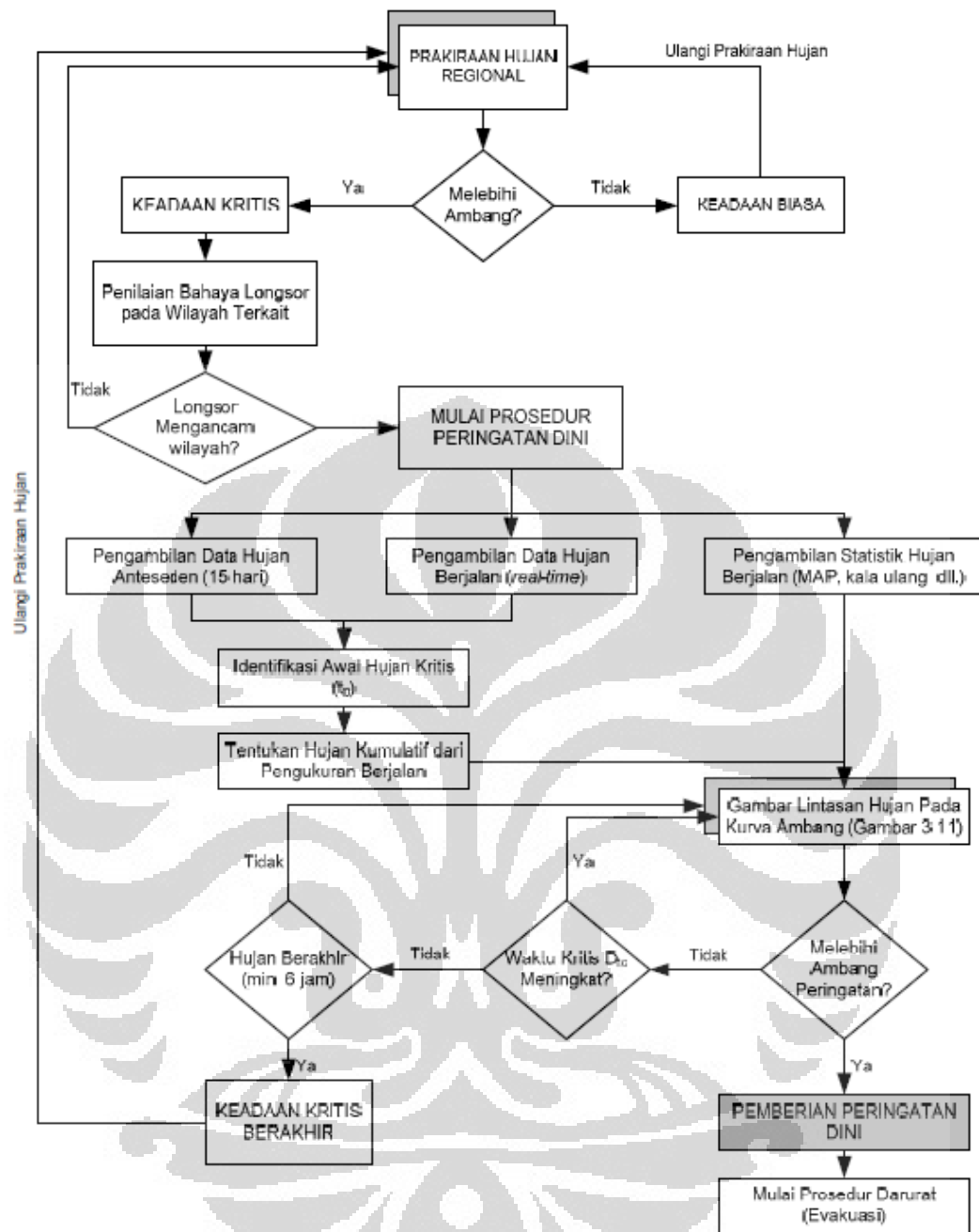


Diagram 2.1 *Flowchart* Proses Pengeluaran Peringatan Dini Longsor (Dimodifikasi dari Aleotti, 2004)

## BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini merupakan rangkaian proses yang saling berkaitan satu sama lain, di mana hasil dari proses sebelumnya merupakan masukan bagi proses berikutnya. Penelitian ini akan dibagi dalam lima proses utama, yaitu sebagai berikut:

1. Proses Pengumpulan Data
2. Proses Permodelan Numerik berupa Pengecekan Stabilitas Lereng
3. Proses Perumusan

### 3.1 Proses Pengumpulan Data

Proses penelitian ini diawali dengan pengumpulan data curah hujan yaitu: intensitas curah hujan atau *rainfall intensity* ( $I$ ) dan durasi hujan ( $D$ ); serta data lereng yang berasal dari kasus-kasus kelongsoran tertentu di Pulau Jawa selama satu dekade terakhir, yaitu:

1. Citatah, 1993
2. Kulon Progo, 2003
3. Jember, 2006
4. Karanganyar, 2007
5. Cianjur, 2008
6. Bogor, 2009
7. Ciwidey, 2010
8. Wonosobo, 2011

berdasarkan pada berbagai sumber, umumnya dari Pusat Teknologi Sumber Daya Lahan Wilayah dan Mitigasi Bencana - Kedeputan Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam - Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT). Data lereng adalah sebagai berikut: panjang lereng ( $L$ ), ketinggian lereng ( $H$ ), kemiringan lereng ( $\alpha$ ), berat jenis tanah ( $\gamma$ ), kohesi tanah ( $C$ ), sudut geser ( $\phi$ ) dan perkiraan elevasi muka air tanah.

Walaupun digunakan studi kasus kelongsoran, diasumsikan lereng tersebut belum diketahui akan longsor atau tidak karena akan dilakukan pengecekan stabilitas lereng dengan analisis balik. Alasan lainnya adalah data lereng di luar Jabodetabek yang didapatkan bersifat sekunder. Terdapat nilai kemiringan lereng ( $\alpha$ ) yang merupakan nilai rentang, misalkan  $\alpha = 45^{\circ} - 63^{\circ}$ , bukanlah nilai yang benar-benar tepat.

Untuk melengkapi data kasus-kasus kelongsoran, digunakan data sekunder berupa data geologi tanah setempat beserta data curah hujan setempat saat terjadi kelongsoran dari stasiun hujan terdekat berdasarkan sumber informasi yang dapat dipertanggungjawabkan keabsahannya, maupaun hasil penelitian sebelumnya. Kendala utama dalam proses ini adalah pencarian data sekunder menggunakan studi parametrik dengan melihat data geologi tanah di setiap daerah tinjauan. Data curah hujan dan data lereng itulah yang merupakan input permodelan dalam pengecekan stabilitas lereng dengan analisis balik.

### 3.2 Proses Permodelan Numerik

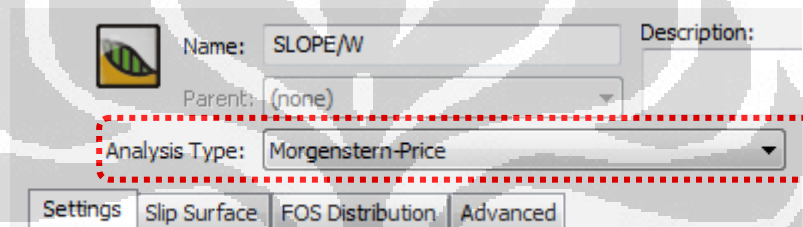
Untuk mendapatkan pemahaman yang baik mengenai penerapan parameter-parameter yang berpengaruh pada lereng akibat curah hujan, dilakukan pengecekan stabilitas lereng yang diekspektasikan terganggu akibat curah hujan. Studi parametrik dilakukan dengan menggunakan permodelan numerik. Permodelan numerik yang digunakan adalah SLOPE/W yang merupakan Perangkat Lunak Geoteknik dua dimensi khusus Stabilitas Lereng yang bekerja berdasarkan metode keseimbangan batas. *Software* ini digunakan karena relatif mudah dalam mengoperasikannya dan memang yang paling sering dipakai dalam rangka analisis Stabilitas Lereng.

Proses permodelan numerik ini merupakan titik kritis dari penelitian yang dilakukan. Pada proses ini, akan dilakukan *input* data untuk dimodelkan oleh kedua *software*. Permodelan numerik dilakukan sesuai dengan apa yang di-*input*, sehingga *input* data harus diverifikasi terlebih dahulu agar hasilnya valid. Hal ini dilakukan guna mencegah “*garbage in-garbage out*”. Artinya, bahwa bila input yang kita masukkan adalah berupa data sampah, maka yang akan keluar berupa data sampah juga.

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada program SLOPE/W dalam menjalankan permodelan stabilitas lereng adalah sebagai berikut:

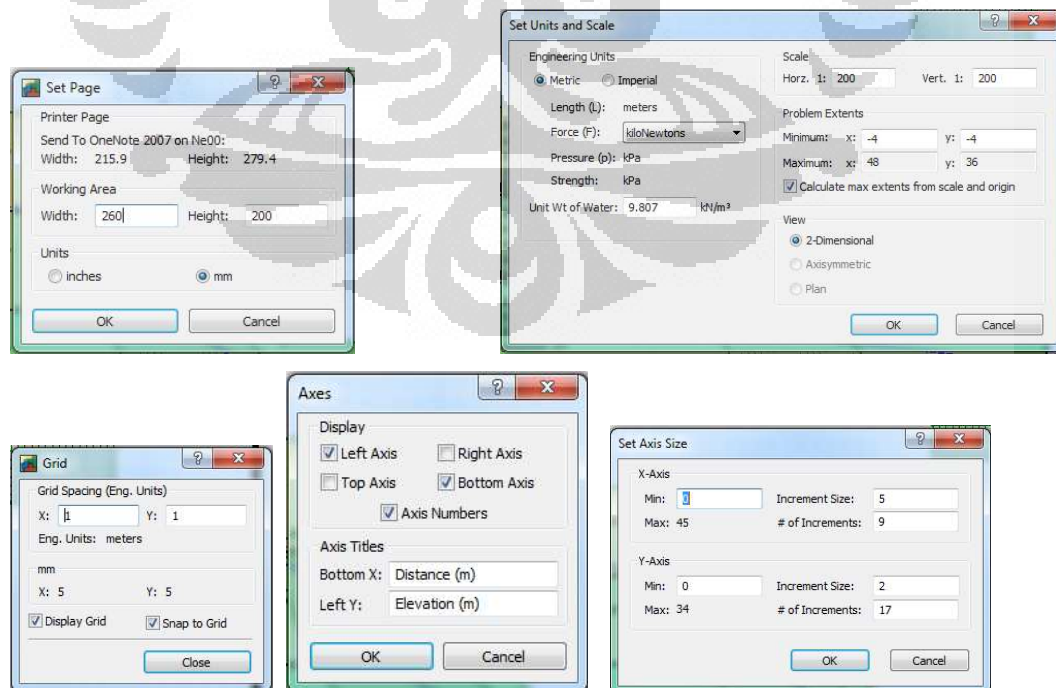
### 1. Input

- Menentukan jenis analisis yang digunakan.



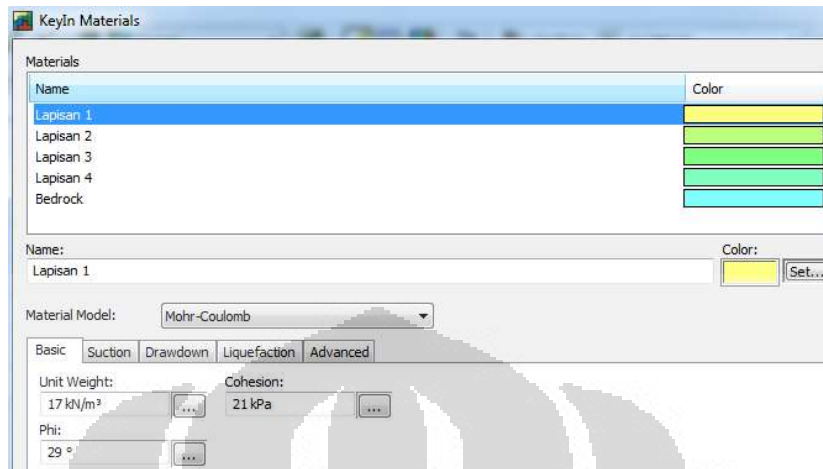
Gambar 3.1 Penentuan Jenis Analisis

- Pengaturan umum, berupa penentuan ukuran halaman, skala, grid, dan axis.



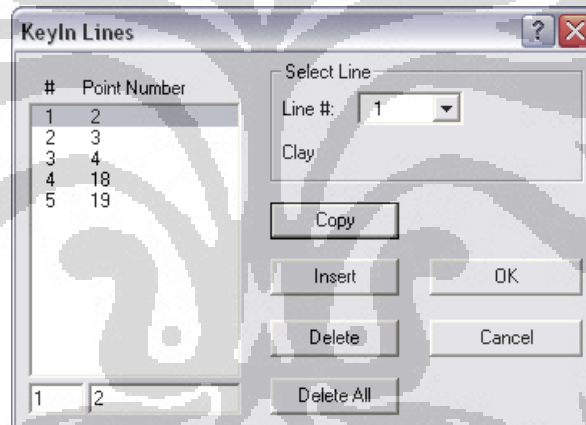
Gambar 3.2 Pengaturan Awal pada SLOPE/W

- Menentukan properti material tanah yang digunakan.



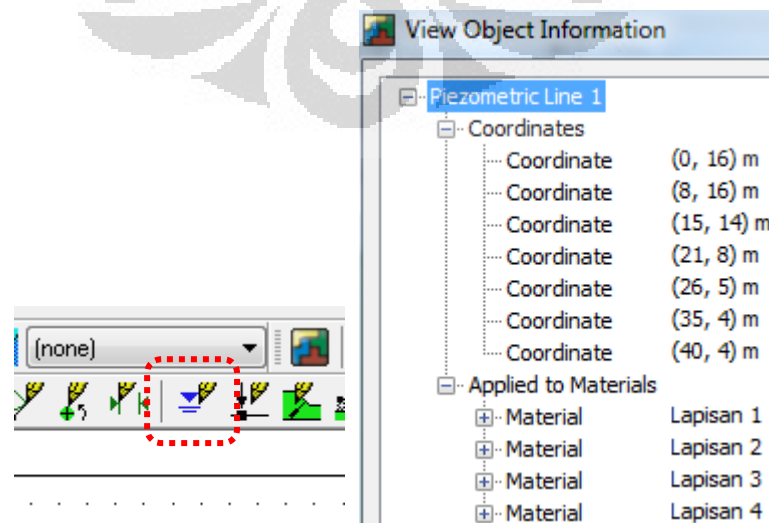
Gambar 3.3 Penentuan Properti Tanah pada SLOPE/W

- Menentukan garis-garis untuk membentuk geometri permodelan.



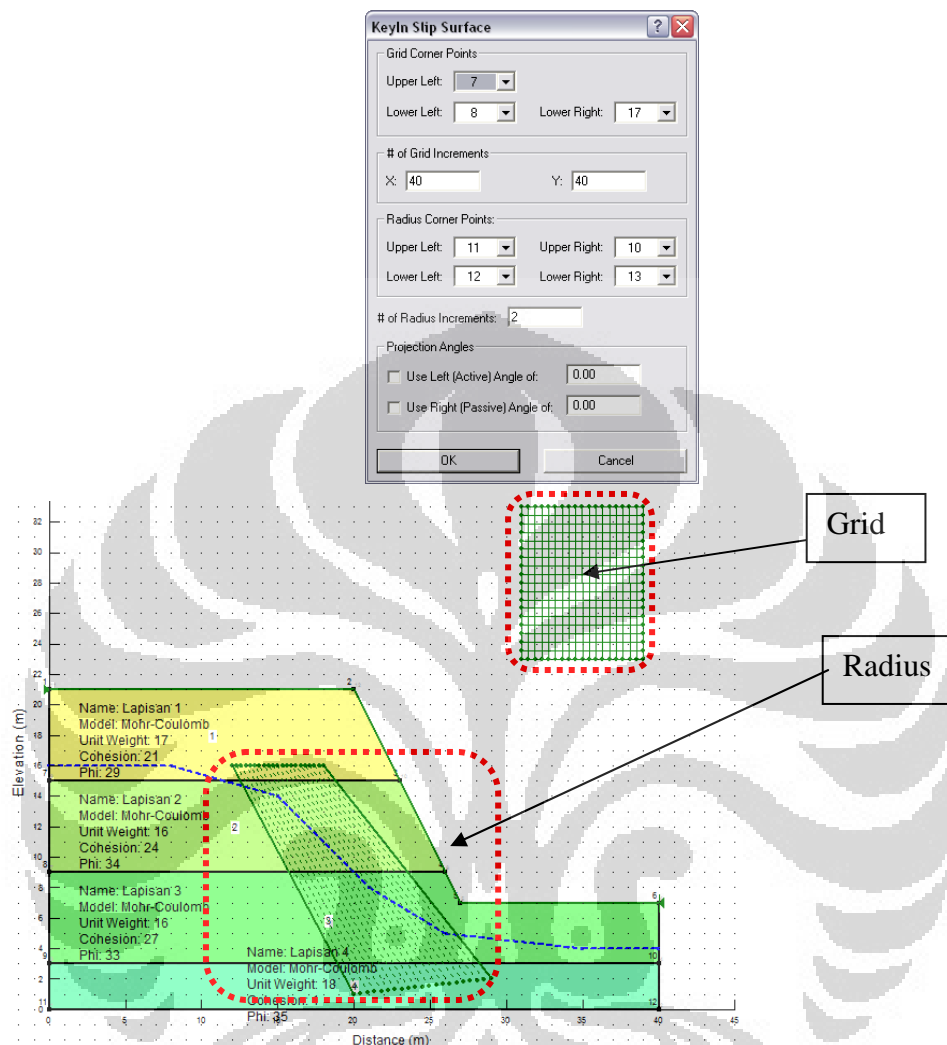
Gambar 3.4 Penggambaran Garis pada SLOPE/W

- Menentukan garis tekanan air pori pada geometri yang telah dibuat.



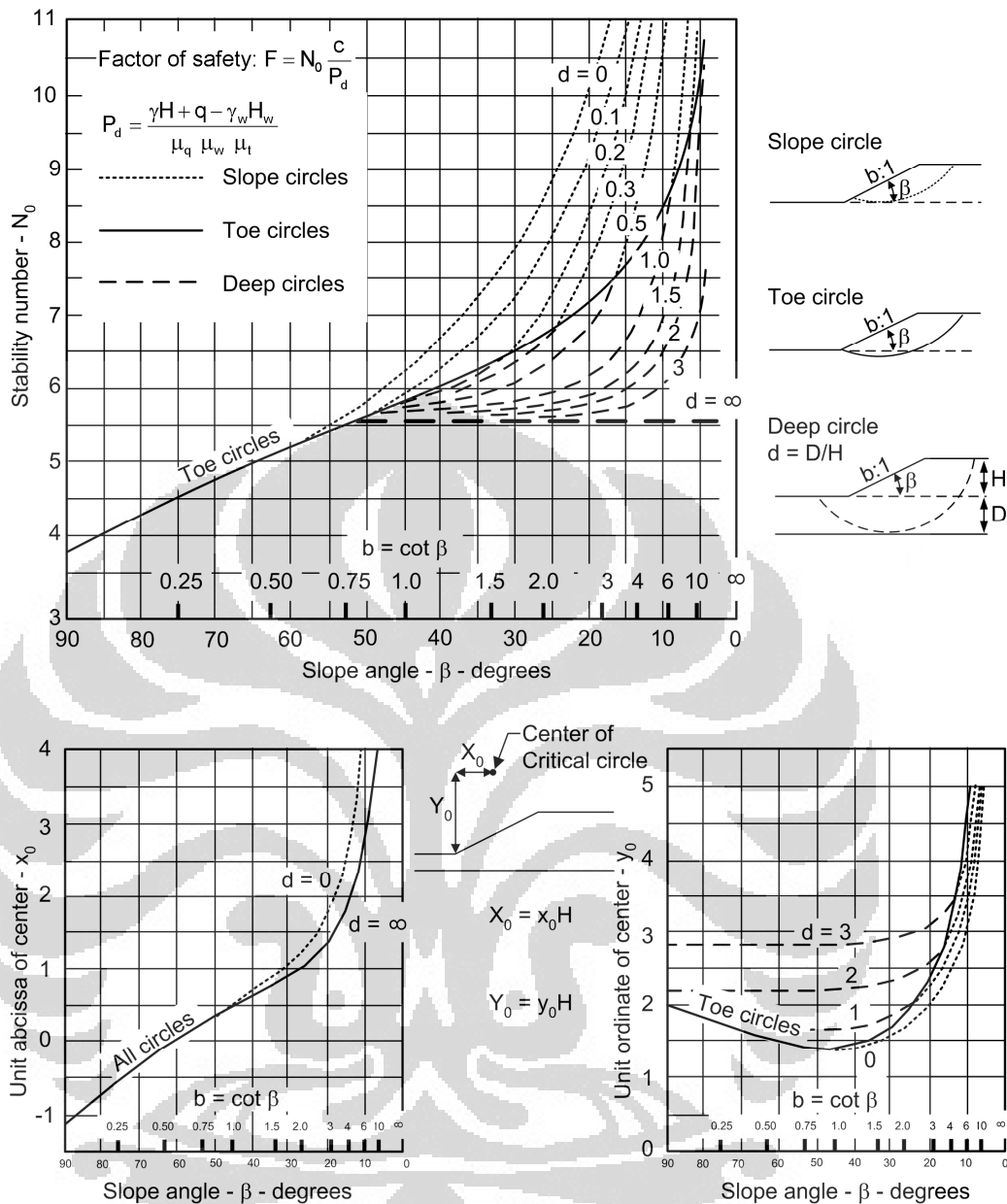
Gambar 3.5 Pemilihan *Menu Toolbar* untuk Menggambar Garis Tekanan Air Pori

- Menentukan slip surface grid dan radius.



Gambar 3.6 Grid dan Radius Keruntuhan

Dalam menentukan titik putar lingkaran, digunakan referensi yang tergambar di bawah ini:



Gambar 3.7 Grafik Stabilitas Lereng untuk Tanah  $\phi = 0$  (Janbu 1968)

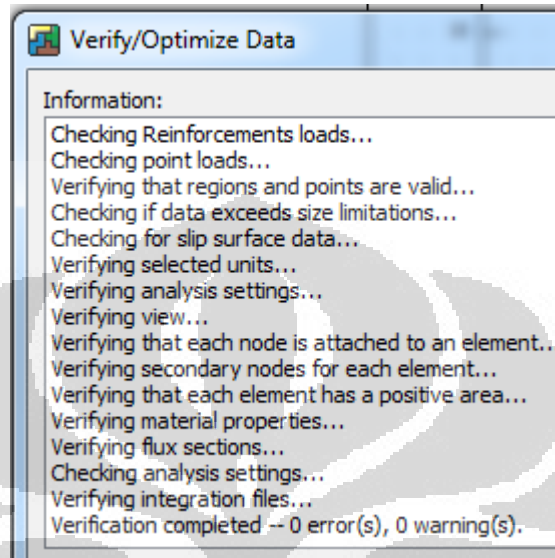
Sumber: Walsh, Michael. (2003). *Engineering and Design Slope Stability*, E-3p. Washington: Department of the Army - US. Army Corps of Engineers

Akan tetapi, metode grafik ini hanya sebagai acuan awal. Pada berbagai macam variasi permodelan dengan SLOPE/W dalam setiap kasus kelongsoran, letak koordinat grid dan radius harus sama persis. Jika dalam proses iterasi didapatkan titik pusat lingkaran di sisi grid, posisi grid harus

digeser dengan metode trial and error hingga didapatkan titik di tengah, tidak lagi di pinggir.

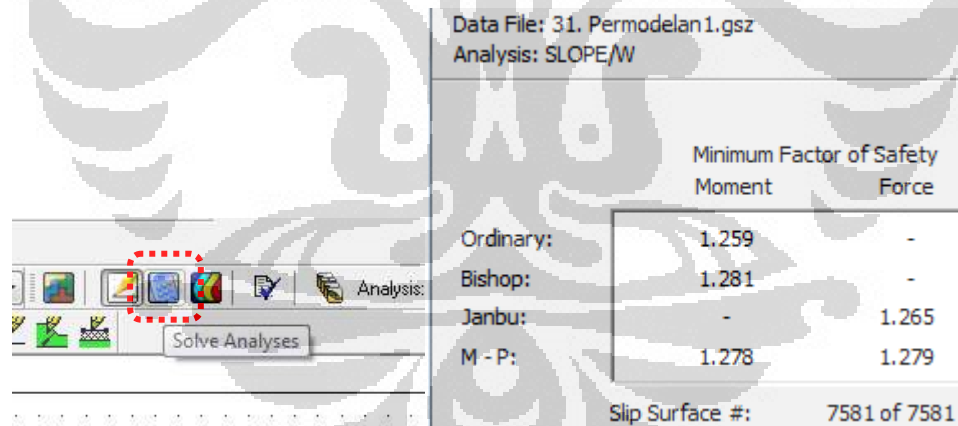
## 2. Calculation

- Memverifikasi input



Gambar 3.8 Pemverifikasian Input Permodelan SLOPE/W

- Melakukan proses perhitungan (solve)

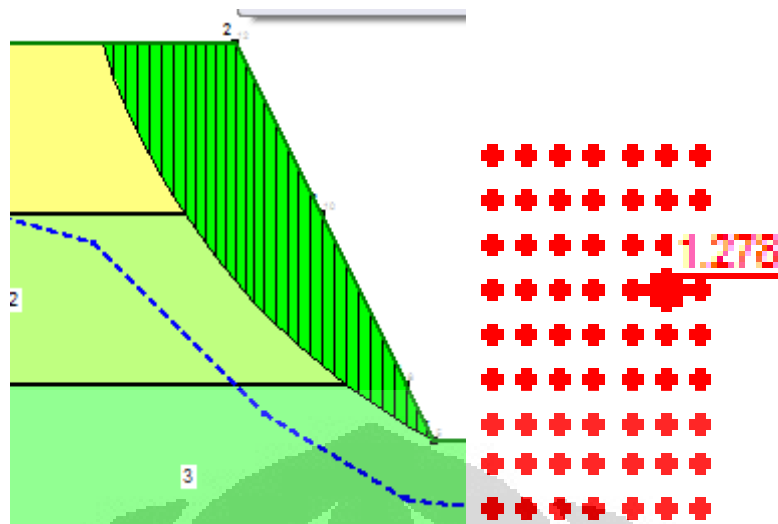


Gambar 3.9 Faktor Keamanan di SLOPE/W

## 3. Output

- Hasil perhitungan berupa gambar daerah keruntuhan dan nilai faktor keamanan pada lereng yang diamati.





Gambar 3.10 Slip Surface sebagai Output SLOPE/W

Pengecekan stabilitas lereng dilakukan dengan *back analysis* / analisis balik, yaitu menggunakan studi parametrik berdasarkan data geologi tanah daerah tinjauan; dan variasi naiknya tinggi muka air tanah akibat tingginya intensitas curah hujan. Hal ini untuk melihat apakah lereng sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Sifat analisis ini adalah berulang agar analisis menjadi lebih akurat. Dalam analisis balik, variasi parameter sebagai dampak dari tingginya curah hujan, diterapkan pada lereng. Kemudian dilakukan pengecekan kestabilan lereng. Akan terlihat apakah variasi tersebut berbahaya atau tidak terhadap kestabilan lereng. Parameter yang diubah-ubah adalah variasi berat jenis tanah, *cohesion*, sudut geser, dan elevasi muka air tanah.

Dalam pengecekan ini, digunakan model kesetimbangan batas SLOPE/W untuk mengetahui faktor keamanan setiap model lereng berdasarkan distribusi tekanan air-pori sementara dan parameter kuat geser tanah. Kedalaman bidang gelincir minimum pun ditentukan, yaitu sebesar ( $X$  m), digunakan untuk mendapatkan faktor keamanan kritikal. Hasil analisis kestabilan lereng ini akan menggambarkan pengaruh variasi parameter-parameter sebagai dampak curah hujan intens terhadap kestabilan lereng.

Berdasarkan pada proses pengecekan stabilitas lereng, dapat diketahui intensitas curah hujan yang berbahaya terhadap kelongsoran pada tiap-tiap model lereng yang dianalisis. Sebaliknya, curah hujan di bawah intensitas ini tidak berbahaya terhadap kelongsoran.

Variasi permodelan untuk setiap kasus kelongsoran, diawali dengan penentuan angka faktor keamanan lereng eksisting (varian ke-1). Kemudian, akan ditinjau perubahan angka faktor keamanan terhadap naiknya nilai berat jenis tanah (varian ke-2), turunnya parameter kuat geser tanah yaitu kohesi (varian ke-3.1) dan sudut geser (varian ke-3.2), naiknya elevasi muka air tanah (varian ke-4), kombinasi naiknya elevasi muka air tanah dan berat jenis tanah (varian ke-5), kombinasi naiknya elevasi muka air tanah dan berat jenis tanah sekaligus menurunnya kohesi dan sudut geser (varian ke-6). Variasi permodelan diakhiri dengan penentuan kombinasi nilai-nilai berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser untuk setiap lapisan tanah, serta elevasi muka air tanah, yang menghasilkan angka faktor keamanan mendekati satu karena mengindikasikan lereng mulai longsor (varian ke-7).

### 3.3 Proses Perumusan

Proses terakhir dari penelitian ini adalah perumusan hubungan antara dampak-dampak dari intensitas curah hujan, dan lama waktu hujan, yaitu: berat jenis, kohesi, sudut geser, elevasi muka air tanah, dan tekanan air-pori terhadap faktor keamanan lereng yang ditinjau.

Metodologi penelitian skripsi ini disederhanakan dalam bentuk penyajian *flowchart* atau diagram alir sebagai berikut:

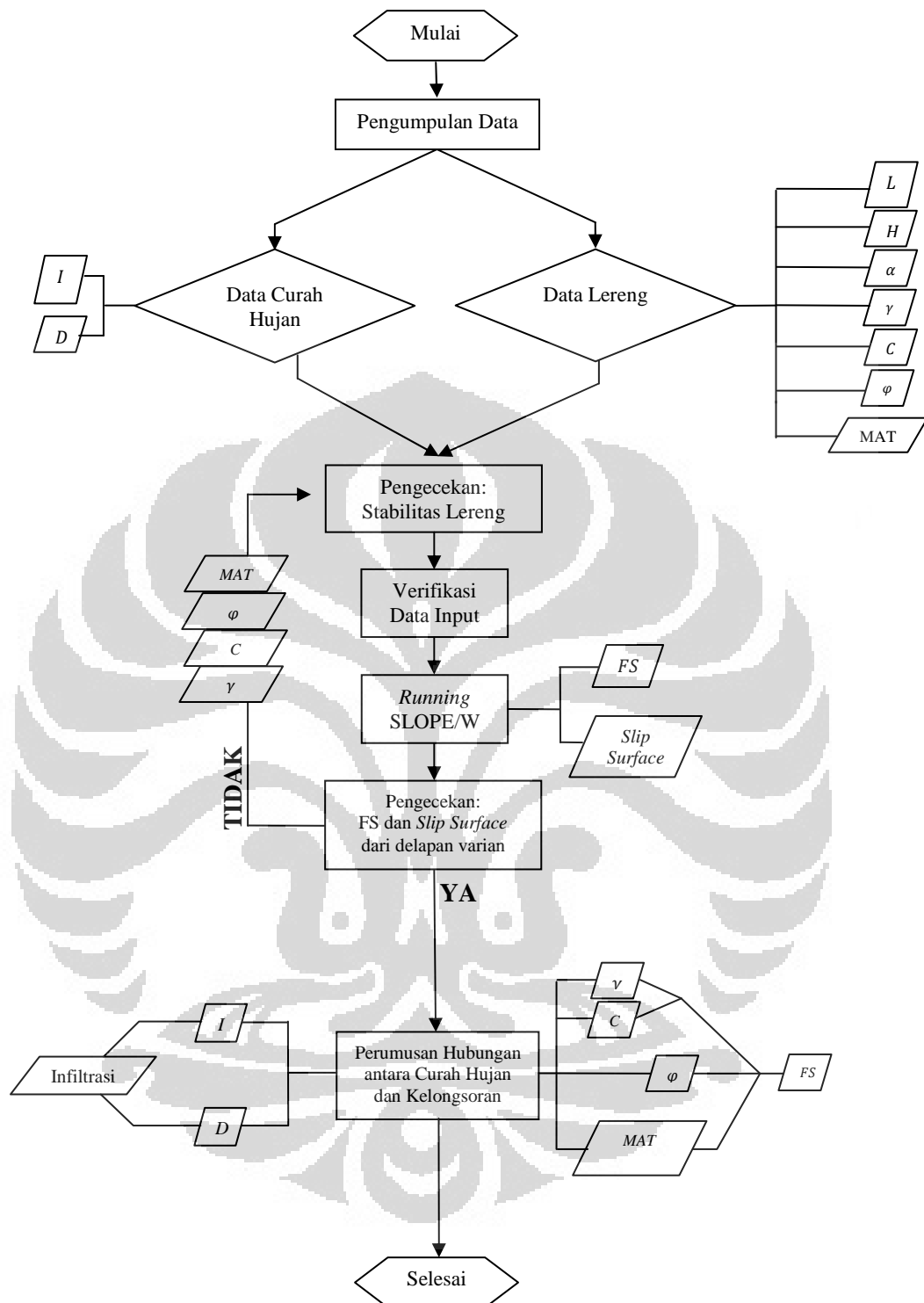
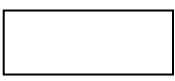
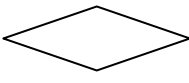

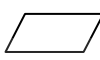

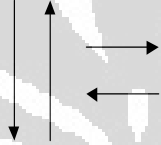


Diagram 3.1 *Flowchart* Metodologi Penelitian

	Proses
	Pilihan
	Mulai dan Selesai
	Data
	Penghubung Antarhalaman
	Garis Penghubung

Tabel 3.1 Keterangan *Flowchart*

## BAB IV PERMODELAN

Untuk mendapatkan pemahaman yang baik mengenai stabilitas lereng akibat hujan, studi parametrik dilakukan dengan menggunakan permodelan numerik perangkat lunak SLOPE/W. Studi ini difokuskan untuk menentukan perubahan faktor keamanan lereng studi kasus akibat kondisi tanah yang menjadi jenuh, menurunnya parameter-parameter kuat geser, dan naiknya muka air tanah.

### 4.1 Permodelan (Apa, Mengapa, Bagaimana)

Sebuah permodelan numerik adalah pemahaman replika ataupun simulasi matematis dari proses fisik obyek dunia nyata (National Research Council Report, 1990). Permodelan, bersama dengan profil tanah dan perilaku tanah, adalah tiga komponen penting dalam rekayasa geoteknik (Burland, 1987), seperti halnya pada gambar berikut.

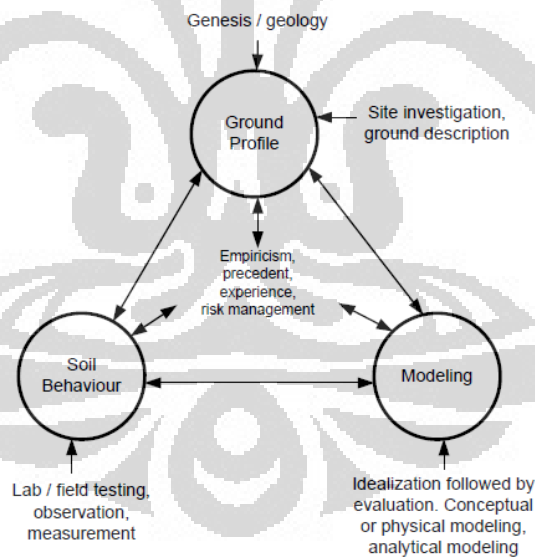


Figure 2-4 The enhanced Burland triangle (after Anon. 1999)

Gambar 4.1 Segitiga Burland

Komponen profil tanah pada dasarnya melibatkan definisi, karakteristik, dan gambaran lokasi. Sedangkan komponen perilaku tanah mencakup uji laboratorium, *in situ test*, dan pengukuran lapangan. Sementara itu, permodelan bisa berupa konseptual, analitis, dan fisik. Tiga komponen tersebut harus diikat bersama oleh empirisme dan preseden. Segitiga Burland jelas menggambarkan

pentingnya permodelan dalam rekayasa geoteknik, sehingga harus dilakukan dengan hati-hati dan dengan pemahaman yang lengkap tentang prosesnya.

Dengan permodelan, permasalahan geoteknik dapat dianalisis dengan membuat: prediksi kuantitatif, perbandingan metode alternatif, identifikasi parameter, dan pemahaman proses. Keutamaan permodelan numerik adalah mengenai proses, bukan mengenai prediksi. Daya tarik permodelan adalah bahwa adanya penggabungan dari perbedaan hitungan tangan dengan kekuatan komputer digital (Anderson dan Woessner, 1992).

Permodelan numerik efektif dimulai dengan membuat terkaan tentang solusi yang akan terlihat (Carter, 2000). Geometri di lapangan dapat disederhanakan. Model yang terlalu kompleks sangat sulit untuk dikenali dan diinterpretasikan hasilnya. Kesulitan numerik dapat diminimalisasikan dengan menghilangkan segmen yang tidak esensial dari modelnya, terutama selama tahap awal analisis. Sifat dan fungsi properti material dapat disederhanakan untuk memeriksa bahwa model yang dibuat telah diatur dengan benar dan untuk memverifikasi bahwa kondisi batas telah didefinisikan dengan baik. Pemeriksaan hasil penting dilakukan untuk memastikan bahwa permodelan yang dibuat masuk akal. Permodelan numerik perlu diulang-ulang sampai solusinya masuk akal dan prosesnya dapat dipahami. Melalui proses permodelan, dapat dipelajari sesuatu yang baru mengenai perilaku kompleks dari rekayasa geoteknik secara fisik yang nyata.

Analisis stabilitas lereng merupakan salah satu jenis permodelan numerik dalam rekayasa geoteknik, yang menggunakan prinsip keseimbangan batas khususnya metode irisan, dan dapat dibuktikan dengan hitungan tangan. Hal ini karena stabilitas adalah isu utama dalam setiap proyek: “akankah struktur tetap stabil atau runtuh?” Konsep metode irisan mudah dipahami dan diterapkan di perangkat lunak komputer, bahkan dapat dikerjakan pada *spreadsheet*.

#### **4.2 Fenomena Geoteknik - yang Dipengaruhi oleh Intensitas Curah Hujan dan Lama Waktu Hujan - sebagai Input Permodelan**

Curah hujan sebagai salah satu komponen iklim, akan mempengaruhi kadar air (*water content*;  $w$ , %) dan kejenuhan air (*saturation*;  $S_r$ , %). Pada beberapa kasus

longsor, air hujan seringkali menjadi pemicu terjadinya longsor. Hujan dapat meningkatkan kadar air dalam tanah dan lebih jauh akan menyebabkan kondisi fisik tubuh lereng berubah-ubah. Kenaikan kadar air tanah akan memperlemah sifat fisik-mekanik tanah (mempengaruhi kondisi internal tubuh lereng) dan menurunkan faktor keamanan lereng.

Kehadiran air tanah dalam tubuh lereng biasanya menjadi masalah bagi kestabilan lereng. Kondisi ini tak lepas dari pengaruh luar, yaitu iklim (diwakili oleh curah hujan) yang dapat meningkatkan kadar air tanah, derajat kejenuhan, atau muka air tanah. Kehadiran air tanah akan menurunkan sifat fisik dan mekanik tanah. Kenaikan muka air tanah meningkatkan tekanan pori yang berarti memperkecil ketahanan geser dari massa lereng, terutama pada material tanah. Kenaikan muka air tanah juga memperbesar debit air tanah dan meningkatkan erosi di bawah permukaan (*piping* atau *subaqueous erosion*). Akibat lebih banyak fraksi halus (lanau) dari masa tanah yang dihanyutkan, ketahanan massa tanah akan menurun.

Berdasarkan pemaparan di atas, dalam permodelan menggunakan perangkat lunak SLOPE/W, input yang divariasikan adalah karakteristik tanah — (berat jenis,  $\gamma$ ; kohesi,  $C$ ; dan sudut geser,  $\phi$ ) dan elevasi muka air tanah. Sedangkan, geometri lereng eksisting tetap, tidak divariasikan. Setelah menemukan nilai faktor keamanan yang didapat dari data primer maupun sekunder, kemudian dilakukan variasi parameter sampai didapat faktor keamanan mendekati 1,000 yang mengindikasikan lereng mulai longsor. Akan dicari berapakah nilai berat jenis tanah, kohesi, dan sudut geser tanah, serta kenaikan muka air tanah, yang menyebabkan nilai faktor keamanan model lereng tersebut mendekati 1,000.

Berikut adalah spesifikasi analisis menggunakan perangkat lunak SLOPE/W Version 5.20 *Licensed*:

No.	Jenis Parameter	Penjelasan
1.	<i>Analysis Type:</i>	<i>Morgenstern-Price, Bishop, Ordinary, and Janbu</i>
2.	<i>Setting: PWP</i> <i>Condition from:</i>	<i>Piezometric Line</i>
3.	<i>Slip Surface:</i> <i>Direction of</i>	<i>Left to right</i> (7 permodelan kasus longsor) dan <i>Right to Left</i> (1 permodelan kasus longsor)

	<i>Movement</i>	
4.	<i>Slip Surface Option</i>	<i>Grid &amp; Radius</i>
5.	Elevasi MAT	Diasumsikan kemiringan elevasi MAT hampir mengikuti kemiringan lereng.
6.	<i>Grid &amp; Radius</i>	Letak dan koordinatnya ditentukan dengan cara <i>trial and error</i> agar nilai FS yang didapat merupakan yang terendah di antara 9 FS yang mengelilinginya.

Tabel 4.1 Spesifikasi Analisis SLOPE/W

### 4.3 Permodelan Kasus-kasus Kelongsoran

Terdapat delapan kasus kelongsoran yang ditinjau, yaitu: (1). Citatah, Bandung, 1993; (2). Kulon Progo, 2003; (3). Jember, 2006; (4). Karanganyar, 2007; (5). Cianjur, 2008; (6). Bogor, 2009; (7). Ciwidey, Bandung, 2010; dan (8). Wonosobo, 2011. Dari tiap-tiap kasus kelongsoran, diperlukan data primer sebagai berikut: (1). lokasi, (2). waktu, (3). curah hujan, (4). durasi hujan, (5). geometri lereng, (6). geologi tanah, dan (7). parameter tanah. Namun, tidak semua data primer diperoleh. Keterbatasan data primer studi kasus kelongsoran dilengkapi dengan melakukan studi parametrik, melihat pada jenis tanah setempat, dan melihat pada korelasi antarparameter yang sering digunakan, terdapat pada: Appendix A - Buku Soil Mechanics and Foundations (3<sup>rd</sup> ed.) halaman 723 - 725 karangan Muni Budhu (2011), dan Kuliah *Advanced Foundation Engineering* oleh Ass. Prof. Eric Vincens mengenai *Slope Stability*.

Kasus Longsor	Citatah Bandung 1993	Kulon Progo 2003	Jember 2006	Karanganyar 2007
<b>Data Primer</b>				
1. Lokasi	YES	YES	YES	YES
2. Waktu	YES	YES	YES	YES
3. Curah hujan	YES	YES	YES	YES
4. Durasi hujan	YES	YES	NO	NO
5. Geometri lereng	NO	NO	YES	YES
6. Geologi tanah	YES	NO	YES	YES
7. Parameter tanah	NO	NO	YES	NO



Kasus Longsor	Cianjur 2008	Bogor 2009	Ciwidey Bandung 2010	Wonosobo 2011
<b>Data Primer</b>				
1. Lokasi	YES	YES	YES	YES
2. Waktu	YES	YES	YES	YES
3. Curah hujan	NO	NO	YES	YES
4. Durasi hujan	YES	NO	YES	NO
5. Geometri lereng	NO	YES	NO	NO
6. Geologi tanah	YES	YES	NO	NO
7. Parameter tanah	NO	NO	NO	NO

Sumber data:  **PUSAT TEKNOLOGI SUMBERDAYA LAHAN WILAYAH DAN MITIGASI BENCANA**  
KEDEPUTIAN TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBERDAYA ALAM  
BADAN PENGAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

Tabel 4.2 Keterbatasan Data Primer Studi Kasus Kelongsoran

<b>TABLE A.1 Typical Values of Unit Weight for Soils</b>			
Soil type	$\gamma_{sat}$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	
Gravel	20–22	15–17	
Sand	18–20	13–16	
Silt	18–20	14–18	
Clay	16–22	14–21	

<b>TABLE A.9 Ranges of Friction Angles (degrees) for Soils</b>			
Soil type	$\phi'_{cs}$	$\phi'_p$	$\phi'_r$
Gravel	30–35	30–50	
Mixture of gravel and sand with fine-grained soils	28–33	30–40	
Sand	27–37 <sup>a</sup>	32–50	
Silt or silty sand	24–32	27–35	
Clays	15–30	20–30	5–15

<sup>a</sup>Higher values (32° to 37°) in the range are for sands with significant amounts of feldspar (Bolton, 1986). Lower values (27° to 32°) in the range are for quartz sands. The peak delation angle,  $\alpha_p$ , ranges from 0 to 15°.

Sumber: Appendix A - Soil Mechanics and Foundations (3rd ed.) p.723-725 Muni Budhu (2011)

	$\gamma$ (kN/m <sup>3</sup> )	$C'$ (kPa)	$\phi'$ (°)	$C'_{res}$ (kPa)	$\phi'_{res}$ (°)	$C_u$ (kPa)
Peat	13 à 15	0 à 10	25 à 32	0	25 à 30	14 à 18
NC clay	15 à 19	0 à 10	28 à 34	0 à 5	10 à 15	< 25
OC clay	18 à 20	10 à 40	15 à 25	0 à 5	6 à 15	80 à 200
Silt	17 à 19	0 à 40	25 à 35	0	20 à 30	40 à 50
Sand	16 à 21	0	30 à 45 (1)	0	25 à 35	
Gravel	16 à 22	0	35 à 48 (1)	0	30 à 35	

Sumber: Materi Kuliah Ass. Pro. Dr. Eric Vincens (2012)

Tabel 4.3 Korelasi Parameter-Parameter yang Sering Digunakan

Ada juga referensi nilai kohesi dan sudut geser untuk tanah wilayah Jawa (Wesley, L. D. 2012) sebagai berikut:


No. Golongan Tanah	Deskripsi Tanah	Cohesion (kPa)	Phi (deg)
Golongan 1	Tanah yang berasal dari formasi endapan lama	6 – 40	20 – 29
Golongan 2	Tanah endapan lunak yang muda / Tanah merah (lempung yang banyak mengandung <i>halloysite</i> )	14 – 23	31 – 37
Golongan 3	Tanah yang berasal dari gunung berapi (tanah residu)/ <i>allophane clays</i>	13 – 18	37 – 40

Tabel 4.4 Referensi Nilai Kohesi dan Sudut Geser untuk Tanah Jawa

Sumber data: Mekanika Tanah untuk tanah endapan dan residu ; Bab 12. Sifat-sifat Tanah di Pulau Jawa ; Halaman 559-577 Laurence D. Wesley (2012)

#### 4.3.1 Permodelan Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993

##### a. Sumber Data

Citatah - Bandung 1993	
1. Lokasi	Dusun Citatah, Desa Rajamandala, Kecamatan Padalarang, Kabupaten Bandung, Jawa Barat (Km 24+500)
2. Waktu	15 Februari 1993
3. Curah hujan	93 mm/hari
4. Durasi hujan	Durasi hujan tiap hari dalam Februari 1993 terlampir.
5. Geometri lereng	Berdasarkan pada Data Lapangan (Zakaria, 2010) dalam Jurnal Geologi BPPT, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• kemiringan lereng lebih curam dari 22,29<sup>0</sup> hingga 44,28<sup>0</sup></li> <li>• terdapat kode longsor: </li> <li>• simbol kemiringan lereng longsor citatah tergolong curam (Kode C)</li> </ul>
6. Geologi tanah	Berdasarkan pada data lapangan yang diteliti oleh Departemen PU, yaitu: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Landu kuning coklat lunak di elevasi +1.40 m hingga ± 0.00 m</li> <li>• Lanau kelempungan, abu-abu hitam di elevasi ± 0.00 m hingga -1.00 m</li> <li>• Lempung kelanauan + batu lempung di elevasi -1.00 m hingga -3.00 m</li> </ul> <p>Kenaikan muka air tanah maksimum adalah 0,5 m (detail data lapangan terlampir)</p>

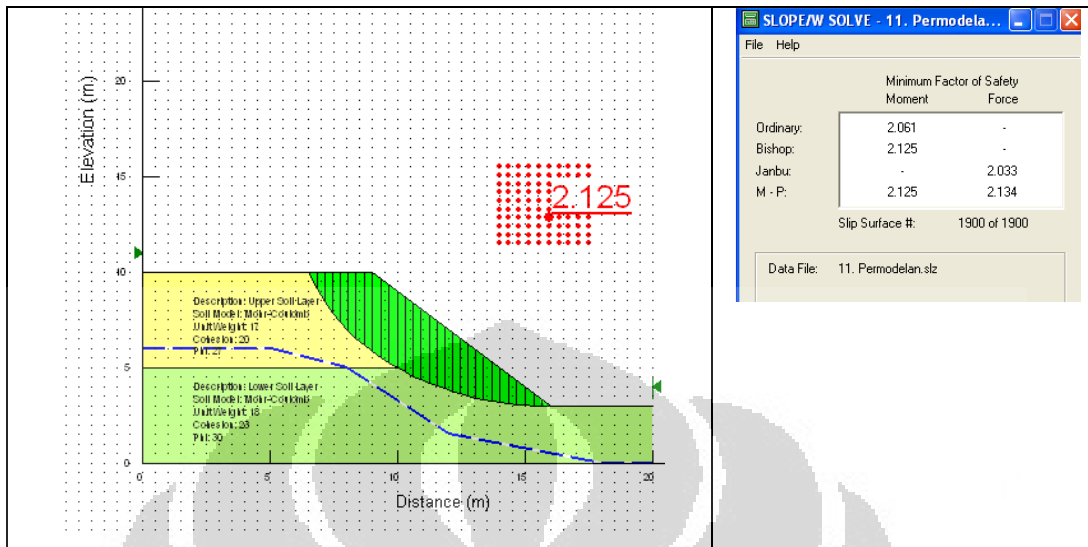
	<p>Berdasarkan pada Data Lapangan (Zakaria, 2010) dalam Jurnal Geologi BPPT, yaitu:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• terdapat longsoran dengan jenis tanah: lempung menyerpih</li> <li>• longsoran membentuk suatu sistem longsoran dengan ukuran terbesar sampai terkecil</li> <li>• hasil uji mekanika tanah di lima titik pada kedalaman 1,00 m - 2,45 m:</li> </ul> $\gamma_{wet} (kN/m^3) = 16, 17, 18, 18, 16$ $C (kPa) = 20, 17, 16$ $\varphi(^{\circ}) = 17, 16, 15, 15, 27$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• Terdapat peta kontur wilayah sekitar Citatah dengan elevasi 500 m - 520 m</li> </ul> <p>(detail data lapangan terlampir)</p>
7. Parameter tanah	<p>Karakteristik setiap lapisan tanah diasumsikan sebagai berikut:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• lapisan 1 (atas):</li> </ul> $\gamma = 17 kN/m^3; C = 20 kPa; \varphi = 27^{\circ}$ <ul style="list-style-type: none"> <li>• lapisan 2 (bawah):</li> </ul> $\gamma = 18 kN/m^3; C = 23 kPa; \varphi = 30^{\circ}$

Tabel 4.5 Sumber Data Kelongsoran Citatah - Bandung, 1993

Sumber data: [1] Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 2 Juni 2010: 93-112 - Model Starlet, suatu Usulan untuk Mitigasi Bencana Longsor dengan Pendekatan Genetika Wilayah (Studi Kasus: Longsoran Citatah, Padalarang, Jawa Barat) dan [2] Laporan Penelitian Efektivitas Penggunaan Drainase Bawah Permukaan pada Daerah Longsoran Citatah KM.24+500 Bandung, Jawa Barat hlm. 9-14

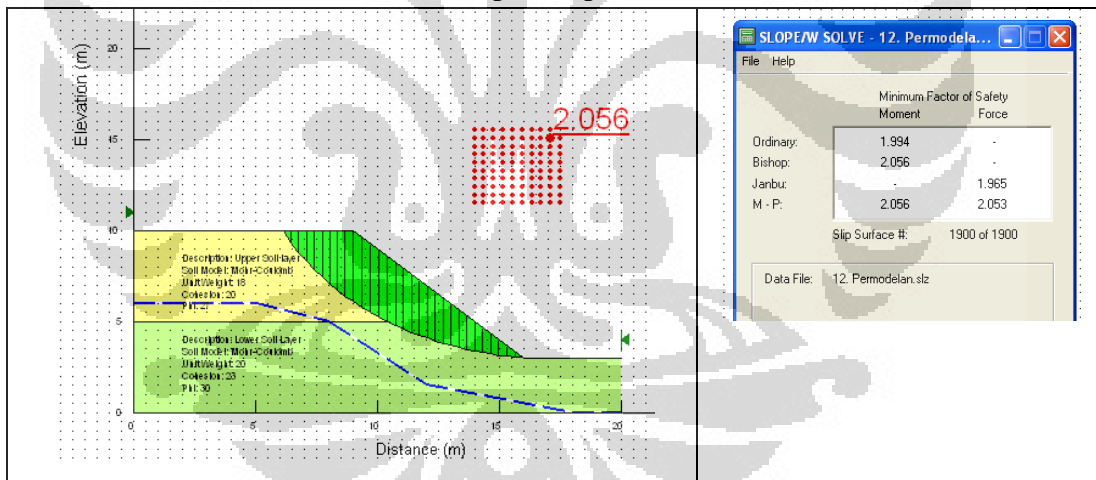
## b. Variasi Permodelan

- Eksisting



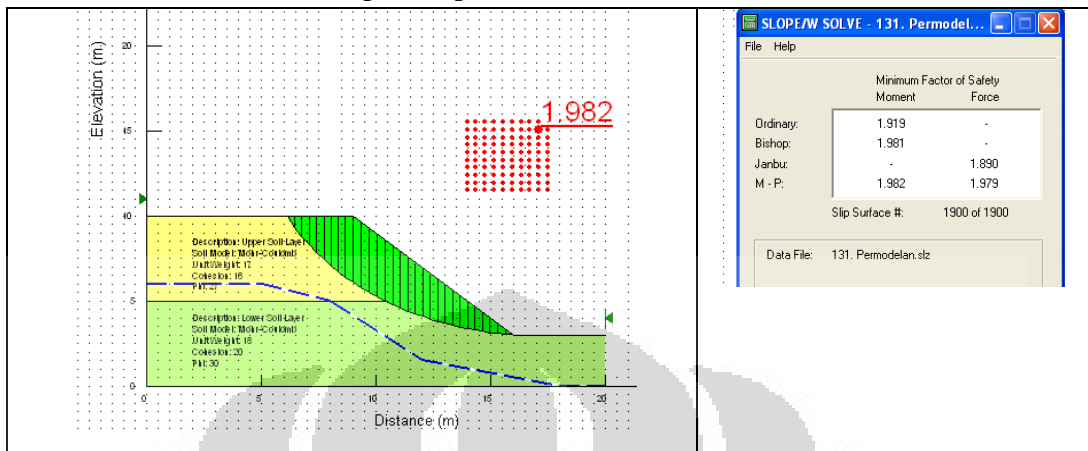
Gambar 4.2 Permodelan Eksisting dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- Tanah menjadi jenuh
- *Unit weight* meningkat menjadi  $18 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan atas dan  $20 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan bawah



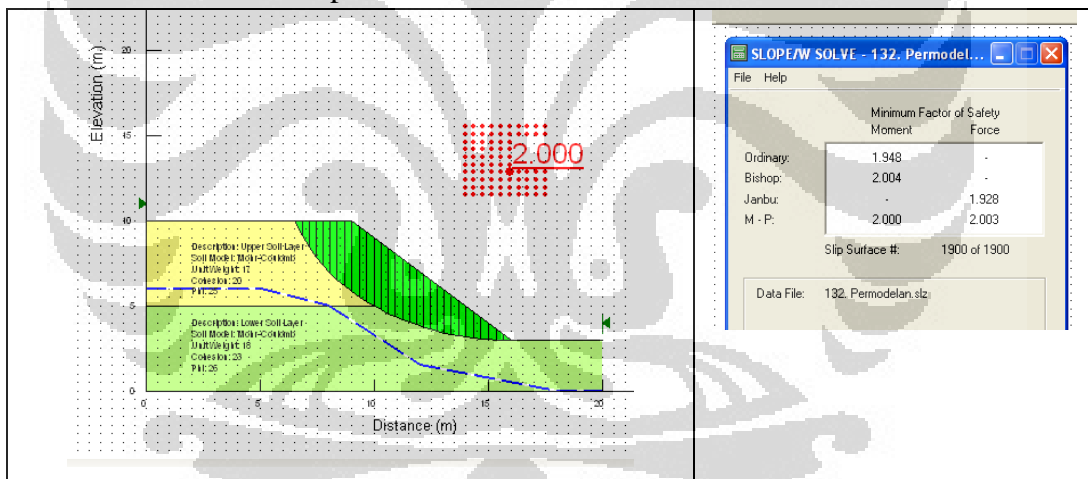
Gambar 4.3 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 18 kPa pada lapisan atas & 20 kPa pada lapisan bawah



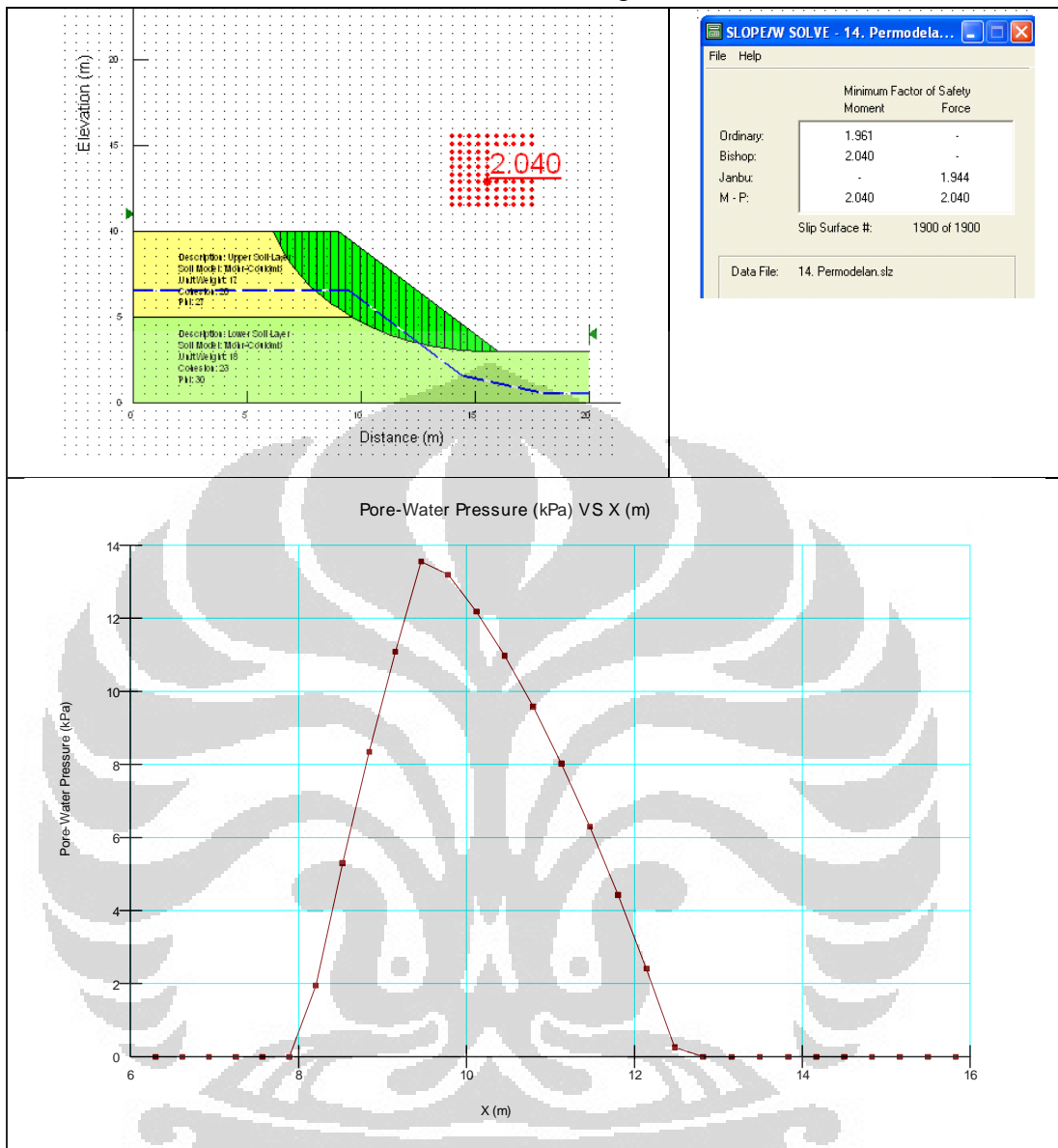
Gambar 4.4 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- *Phi* menurun menjadi  $25^{\circ}$  pada lapisan atas &  $26^{\circ}$  pada lapisan bawah



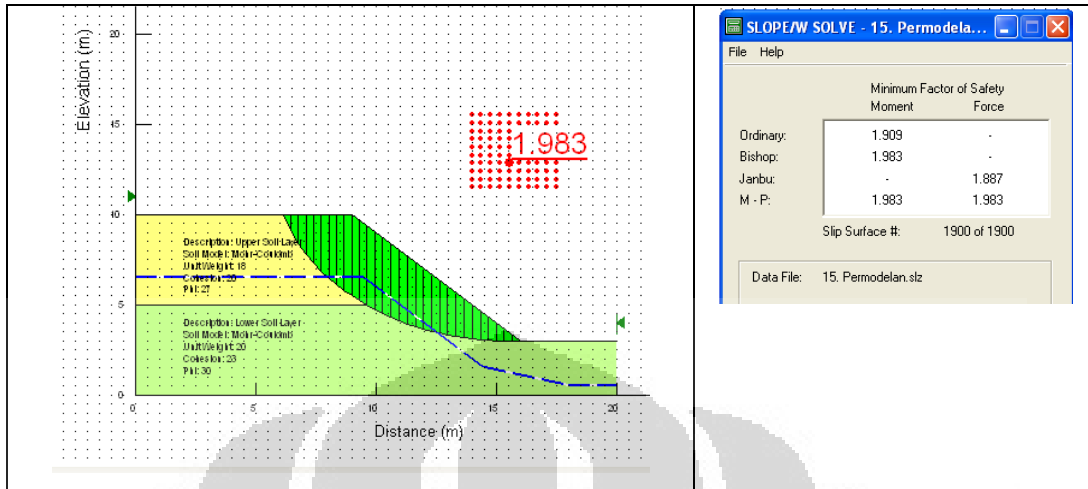
Gambar 4.5 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- Elevasi muka air tanah meningkat



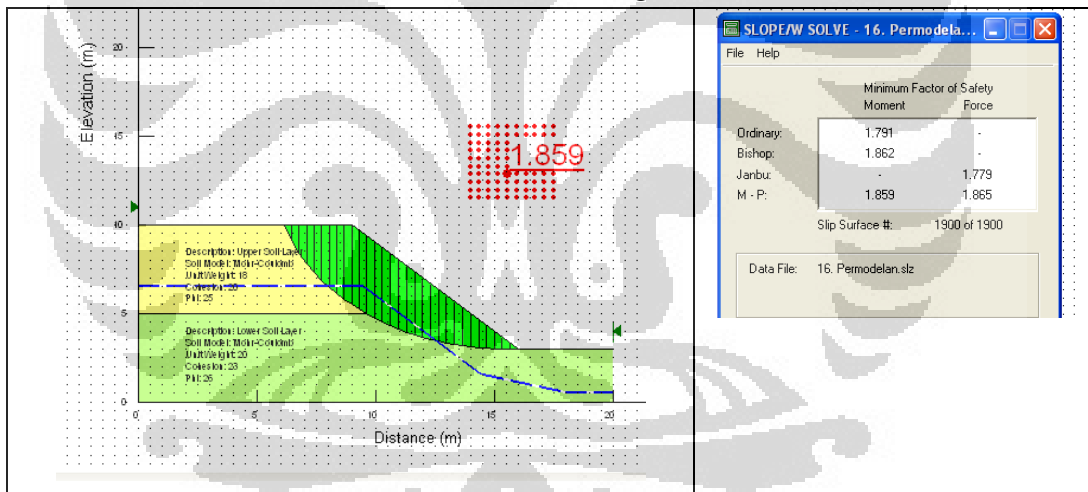
Gambar 4.6 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat dan FS-nya serta Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) (Citatah - Bandung, 1993)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



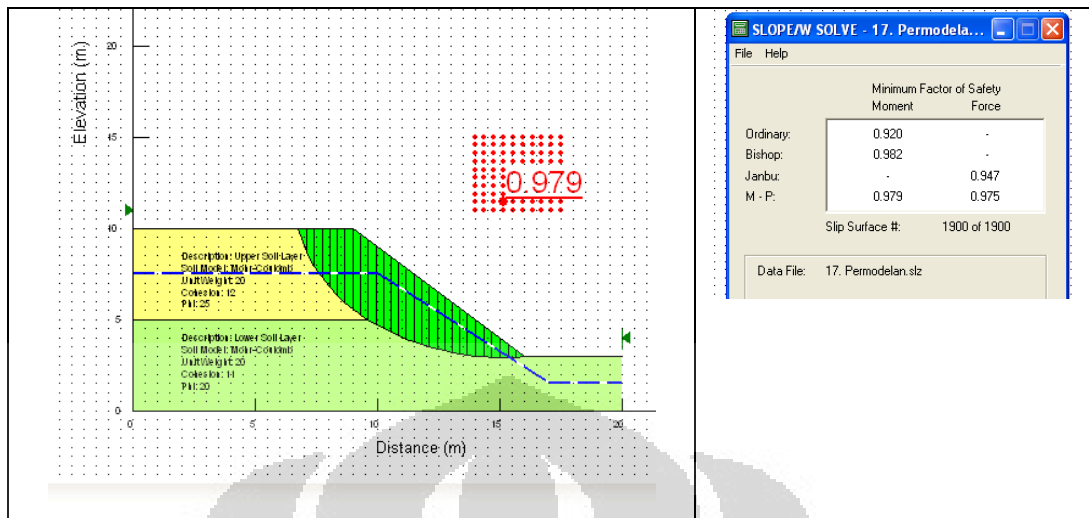
Gambar 4.7 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- Kombinasi (tanah jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.8 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

- Kondisi Kritis (FS Mendekati 1,000)




Gambar 4.9 Permodelan Kondisi Kritis, Beserta FS-nya (Citatah - Bandung, 1993)

#### 4.3.2 Permodelan Kasus Longsor Kulon Progo, 2003

a. Sumber Data:

Kulon Progo 2003																												
1. Lokasi	Kecamatan Kalibawang, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi DIY																											
2. Waktu	7 Maret 2003																											
3. Curah hujan	115,5 mm/hari (Curah hujan kumulatif = 248,1 mm) Tabel 2 Curah hujan yang memicu tanah longsor di Kalibawang 2001 - 2004 (Kyi dkk., 2007)																											
	<table border="1"> <thead> <tr> <th rowspan="2">Tanggal</th> <th colspan="3">Hujan Tercatat</th> </tr> <tr> <th>Harian (mm/d)</th> <th>Lama (hari)</th> <th>Kumulatif (mm)</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>20 November 2001</td> <td>47.5</td> <td>5</td> <td>128.9</td> </tr> <tr> <td>25 Desember 2002</td> <td>7.1</td> <td>5</td> <td>185.2</td> </tr> <tr> <td>6 Januari 2003</td> <td>3.8</td> <td>3</td> <td>237.1</td> </tr> <tr> <td>7 Maret 2003</td> <td>115.5</td> <td>5</td> <td>248.1</td> </tr> <tr> <td>12 Desember 2004</td> <td>32.9</td> <td>6</td> <td>245.6</td> </tr> </tbody> </table> <p>Kyi, S.S., Nguyen, T.D., Aoki, K., Mito, Y., Suryolelono, K.B., Karnawati, D., and Pramumijoyo, S., 2007, Landslide risk microzonation by using multivariate statistical analysis and GIS. International Journal of Japanese Committee for Rock Mechanics, Vol. 3 No. 1, pp.7-15.</p>	Tanggal	Hujan Tercatat			Harian (mm/d)	Lama (hari)	Kumulatif (mm)	20 November 2001	47.5	5	128.9	25 Desember 2002	7.1	5	185.2	6 Januari 2003	3.8	3	237.1	7 Maret 2003	115.5	5	248.1	12 Desember 2004	32.9	6	245.6
Tanggal	Hujan Tercatat																											
	Harian (mm/d)	Lama (hari)	Kumulatif (mm)																									
20 November 2001	47.5	5	128.9																									
25 Desember 2002	7.1	5	185.2																									
6 Januari 2003	3.8	3	237.1																									
7 Maret 2003	115.5	5	248.1																									
12 Desember 2004	32.9	6	245.6																									
4. Durasi hujan	5 hari																											



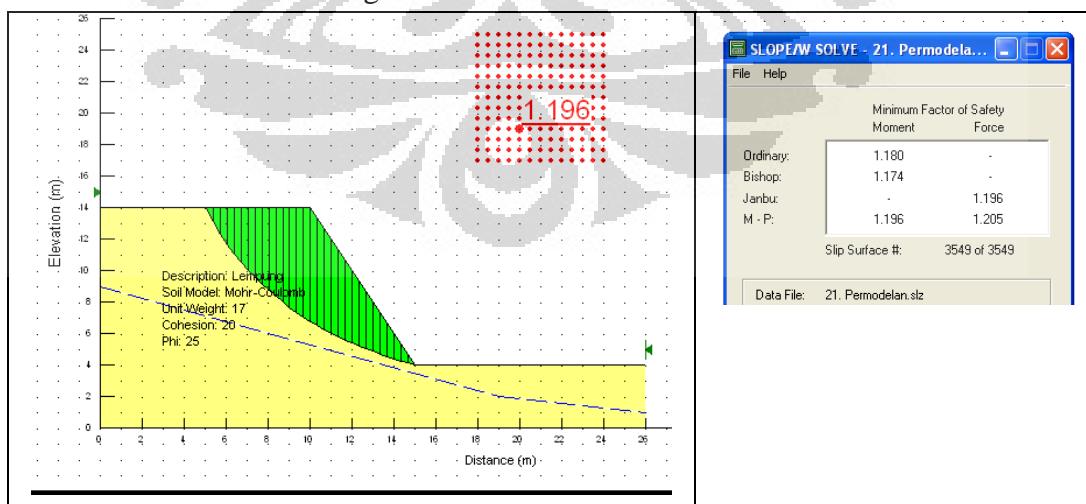
5. Geometri lereng	 <p>Berdasarkan pada gambar di atas, diasumsikan bahwa:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• tinggi lereng = 14 m</li> <li>• kemiringan lereng = <math>63^{\circ}</math> (V:H=2:1)</li> </ul> <p>Berdasarkan pada Laporan Penelitian Sumberdaya Mineral dan Mitigasi Bencana Kebumihan - Pusat Penelitian Geoteknologi - LIPI 2003, daerah Kalibawang memiliki kemiringan lereng <math>12^{\circ}</math> - <math>35^{\circ}</math></p>
6. Geologi tanah	Daerah Kalibawang berjenis tanah lempung residual.
7. Parameter tanah	Diasumsikan, lapisan tanah: lempung $\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ ; $C = 20 \text{ kPa}$ ; $\varphi = 25^{\circ}$

Tabel 4.6 Sumber Data Kelongsoran Kulonprogo, 2003

Sumber data: Proposal Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor,  
 Agus Setyo Muntohar hlm. 1-2, 18-19.

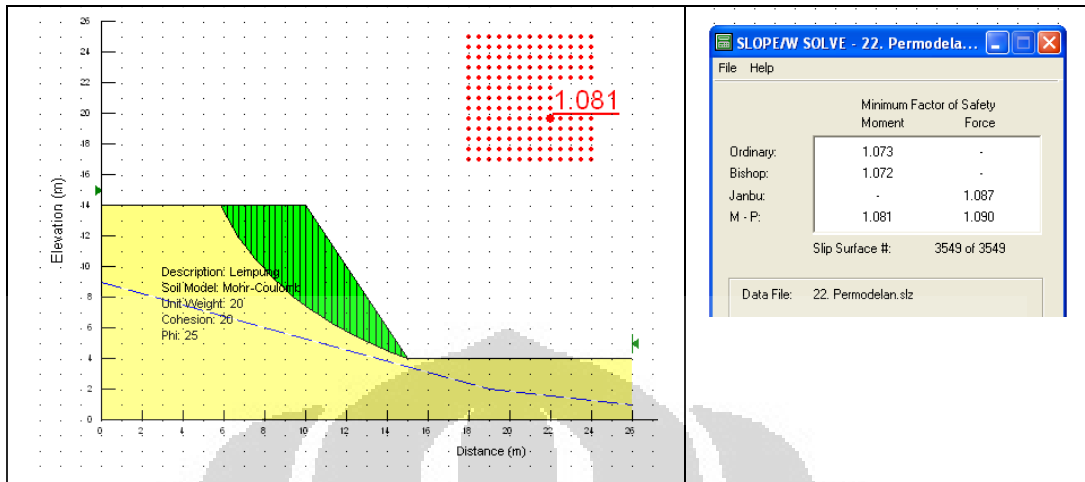
#### b. Variasi Permodelan

- Eksisting



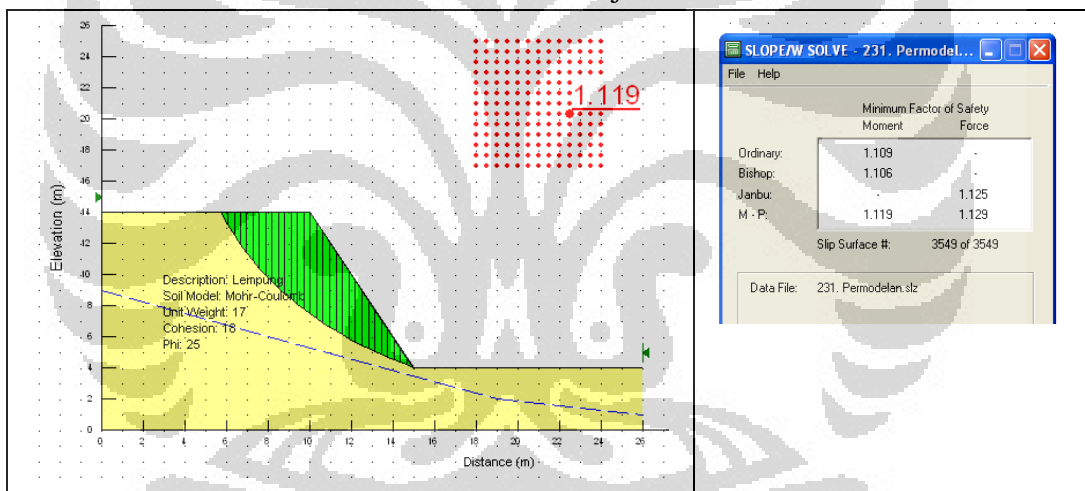
Gambar 4.10 Permodelan Eksisting dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)

- Tanah menjadi jenuh
  - *Unit weight* meningkat menjadi  $20 \text{ kN/m}^3$



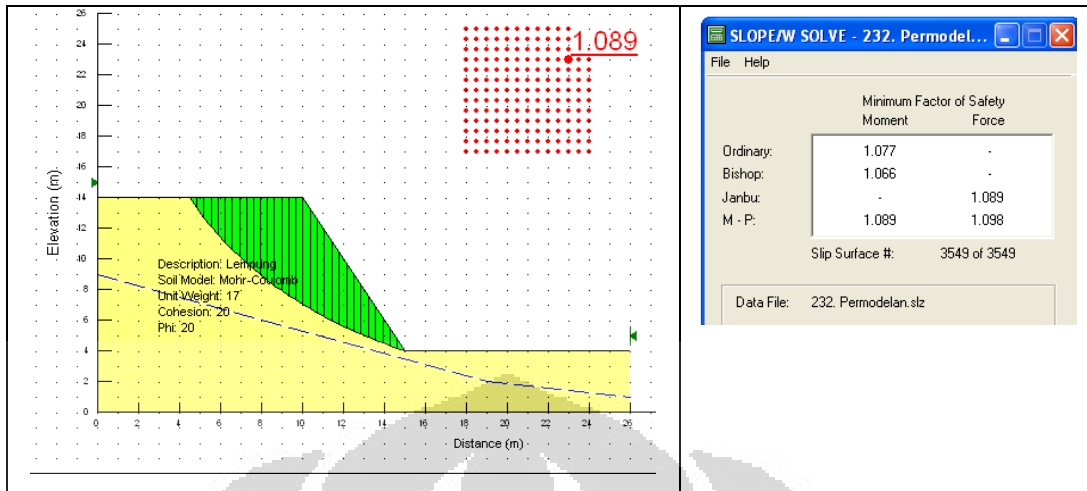
Gambar 4.11 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 19 kPa



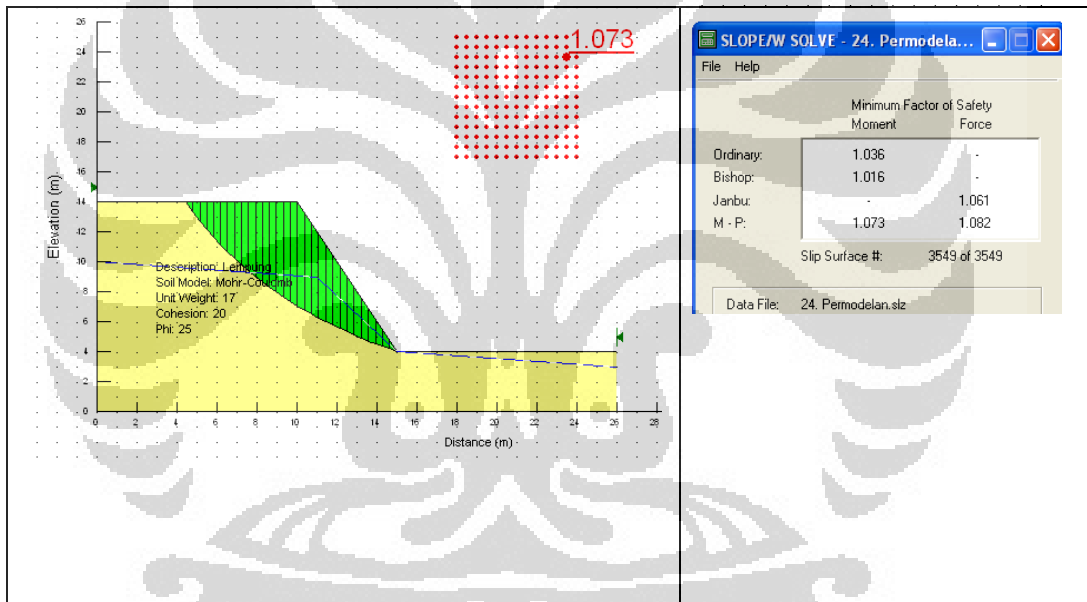
Gambar 4.12 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)

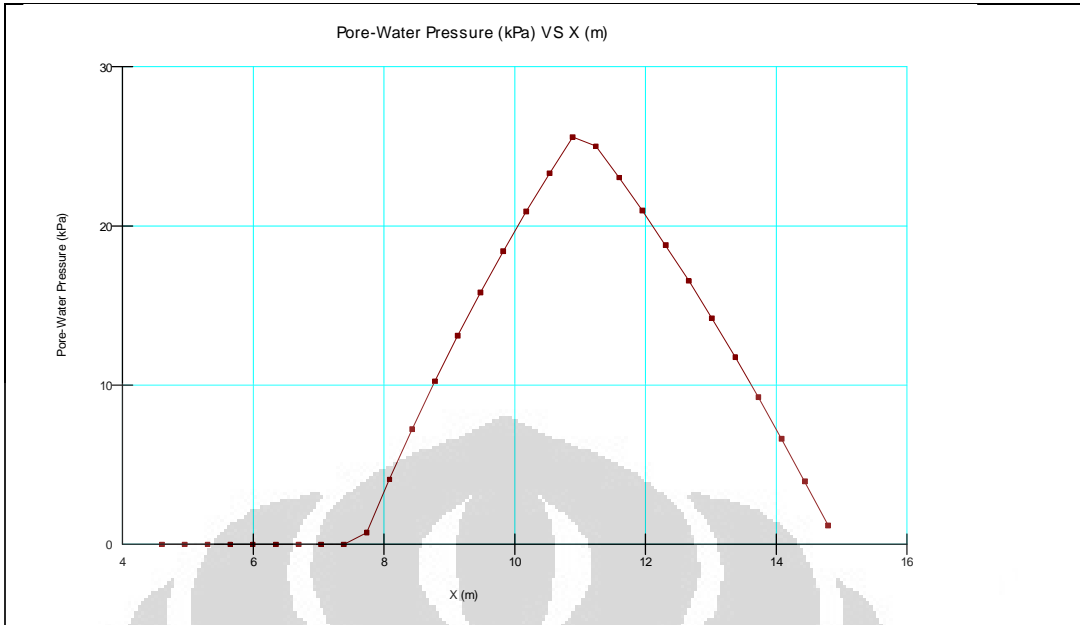
- *Phi* menurun menjadi  $20^0$



Gambar 4.13 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)

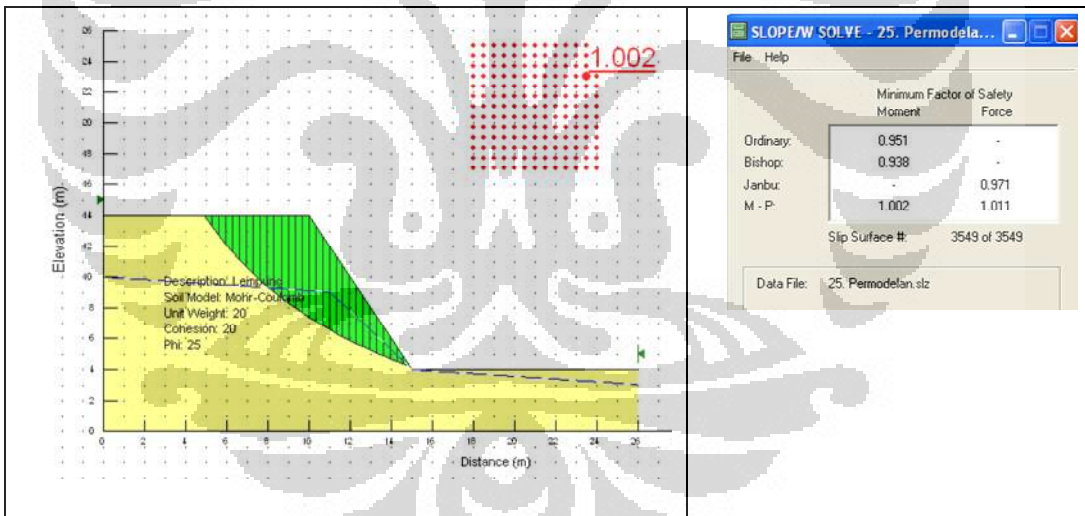
- Elevasi muka air tanah meningkat





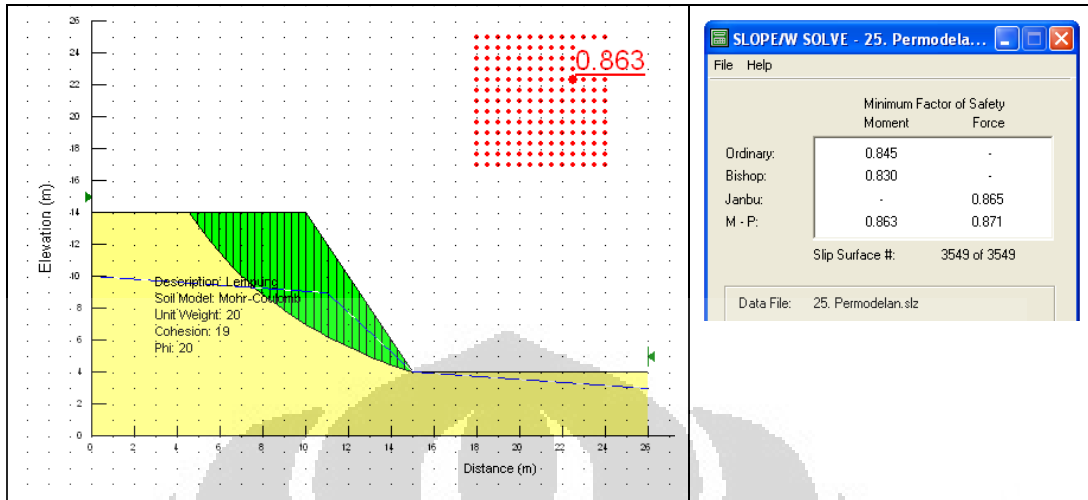
Gambar 4.14 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m) Beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



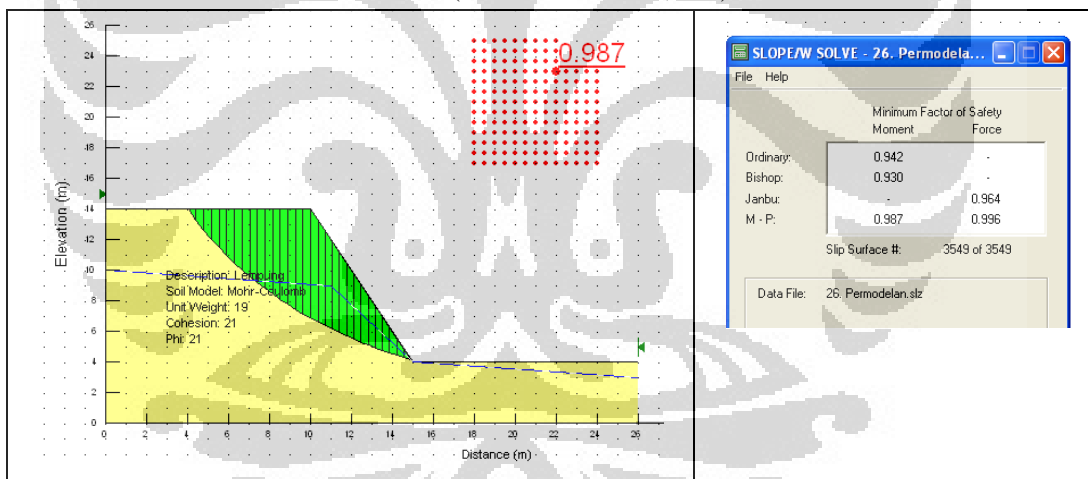
Gambar 4.15 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.16 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Beserta FS-nya (Kulon Progo, 2003)

- Kondisi Kritis (FS Mendekati 1,000)



Gambar 4.17 Permodelan Kondisi Kritis dan FS-nya (Kulon Progo, 2003)

### 4.3.3 Permodelan Kasus Longsor Jember, 2006

#### a. Sumber Data

Jember 2006	
1. Lokasi	Kecamatan Panti, Kabupaten Jember, Provinsi Jawa Timur
2. Waktu	1 Januari 2006 sekitar pukul 22.00 WIB
3. Curah hujan	187 mm
4. Durasi hujan	(Sebelum longsor, lereng diguyur hujan tiga hari berturut-turut)
5. Geometri lereng	Morfologi sangat curam pada lokasi bencana di atas ketinggian 500 m di atas muka air laut, tebing sungai/alur sangat curam, morfologi pada ketinggian 200-500 m

	termasuk curam. Kondisi kelerengan yang melebihi 600. Tinggi lereng diasumsikan 21,5 m dengan kemiringan lereng $63^0$ (2V=1H).																												
6. Geologi tanah	<p>Bore-Hole 01</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kedalaman (m)</th> <th>Jenis tanah</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 4,5</td> <td>lempung lanau berpasir</td> </tr> <tr> <td>4,5 - 6,5</td> <td>lempung berlanau</td> </tr> <tr> <td>6,5 - 12,5</td> <td>lempung berlanau berpasir</td> </tr> <tr> <td>12,5 - 16,5</td> <td>lempung</td> </tr> <tr> <td>16,5 - 18</td> <td>lempung berkerikil</td> </tr> <tr> <td>18 - 20,5</td> <td>pasir berlanau berlempung padat</td> </tr> <tr> <td>20,5 - 21,5</td> <td>pasir lanau padat</td> </tr> <tr> <td>21,5 - 26,5</td> <td>batu cadas</td> </tr> </tbody> </table> <p>Bore-Hole 02</p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Kedalaman (m)</th> <th>Jenis tanah</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>0 - 3,5</td> <td>lempung berlanau</td> </tr> <tr> <td>3,5 - 12,5</td> <td>lempung</td> </tr> <tr> <td>12,5 - 21</td> <td>lempung berpasir padat</td> </tr> <tr> <td>21 - 30,5</td> <td>batu cadas</td> </tr> </tbody> </table> <p>Hasil tes laboratorium terlampir. Hasilnya mencakup nilai parameter:  <math>\gamma_{sat}</math>, <i>water content</i>, <i>LL (Liquid Limit)</i>, <i>PL(Plastic Limit)</i>, <i>PI(Plasticity Index)</i> untuk setiap kedalaman tertentu dari lereng yang ditinjau. Kemudian, didapatkan nilai Liquidity Index. Kemudian didapatkan nilai <i>C</i> dan <math>\varphi</math> dengan grafik dari Grafik <i>US. Army Corps of Engineer</i>.</p>	Kedalaman (m)	Jenis tanah	0 - 4,5	lempung lanau berpasir	4,5 - 6,5	lempung berlanau	6,5 - 12,5	lempung berlanau berpasir	12,5 - 16,5	lempung	16,5 - 18	lempung berkerikil	18 - 20,5	pasir berlanau berlempung padat	20,5 - 21,5	pasir lanau padat	21,5 - 26,5	batu cadas	Kedalaman (m)	Jenis tanah	0 - 3,5	lempung berlanau	3,5 - 12,5	lempung	12,5 - 21	lempung berpasir padat	21 - 30,5	batu cadas
Kedalaman (m)	Jenis tanah																												
0 - 4,5	lempung lanau berpasir																												
4,5 - 6,5	lempung berlanau																												
6,5 - 12,5	lempung berlanau berpasir																												
12,5 - 16,5	lempung																												
16,5 - 18	lempung berkerikil																												
18 - 20,5	pasir berlanau berlempung padat																												
20,5 - 21,5	pasir lanau padat																												
21,5 - 26,5	batu cadas																												
Kedalaman (m)	Jenis tanah																												
0 - 3,5	lempung berlanau																												
3,5 - 12,5	lempung																												
12,5 - 21	lempung berpasir padat																												
21 - 30,5	batu cadas																												
7. Parameter tanah	<p>Berdasarkan pada korelasi parameter dan penyederhanaan model, diasumsikan sabagai berikut:</p> <p>Lapisan 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 17 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 21 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 29^\circ</math></li> </ul> <p>Lapisan 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 16 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 24 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 34^\circ</math></li> </ul> <p>Lapisan 3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 16 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 27 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 33^\circ</math></li> </ul> <p>Lapisan 4</p>																												

	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 18 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 1 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 35^\circ</math></li> </ul>
--	--

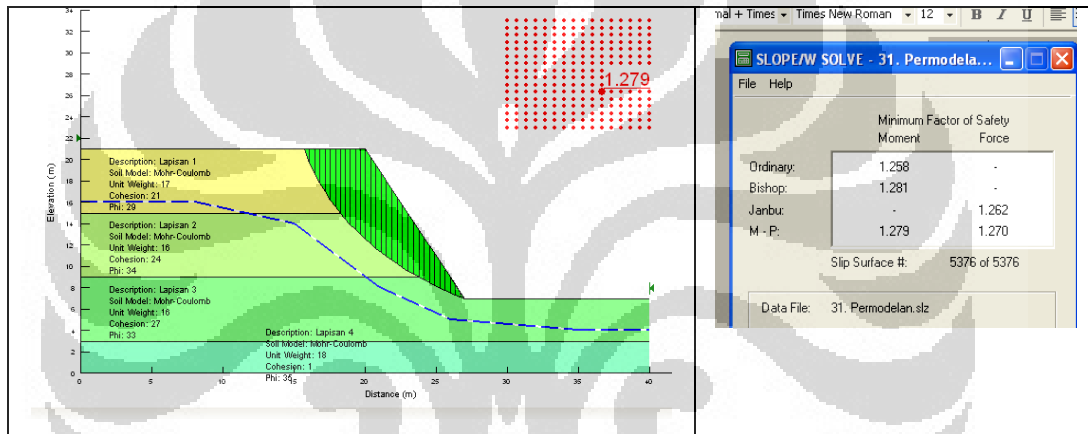
Tabel 4.6 Sumber Data Kelongsoran Jember, 2006

Sumber data: [1] Laporan *Rapid Assessment* Pasca Longsor Jember 2006 hlm. 1-2. Pusat Teknologi Sumberdaya Lahan Wilayah dan Mitigasi Bencana, BPPT dan [2] Analisis Balik Kelongsoran, Studi Kasus di Jember 2006 hlm. 5-8. Musta'in

Arif dan Amien Widodo

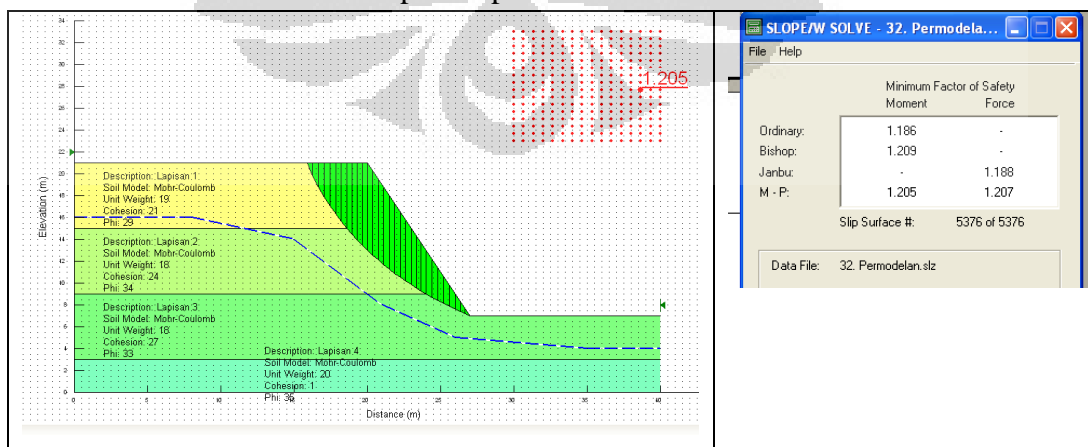
b. Variasi Permodelan

- Eksisting



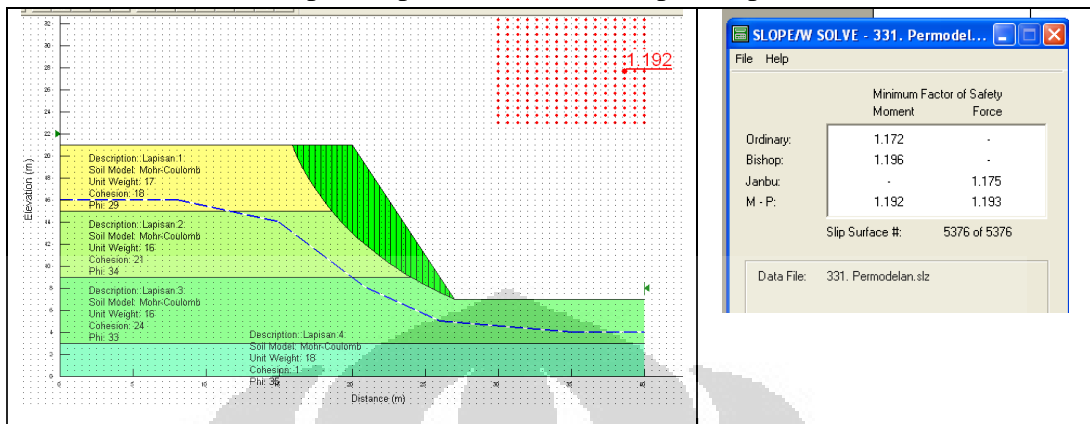
Gambar 4.18 Permodelan Eksisting dan FS-nya (Jember, 2006)

- Tanah menjadi jenuh
  - *Unit weight* meningkat menjadi  $19 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 1;  $18 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 2;  $18 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 3 dan  $20 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 4



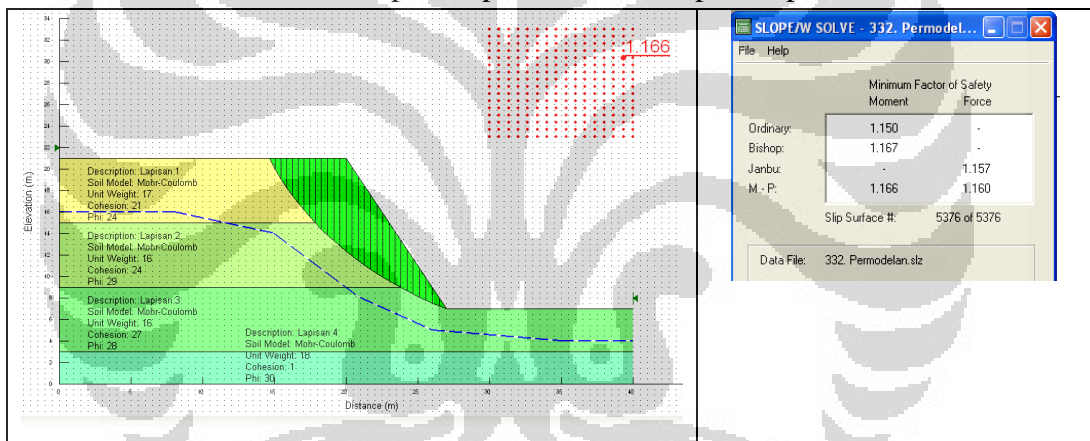
Gambar 4.19 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Jember, 2006)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi: 18 kPa pada lapisan 1; 21 kPa pada lapisan 2; dan 24 kPa pada lapisan 3



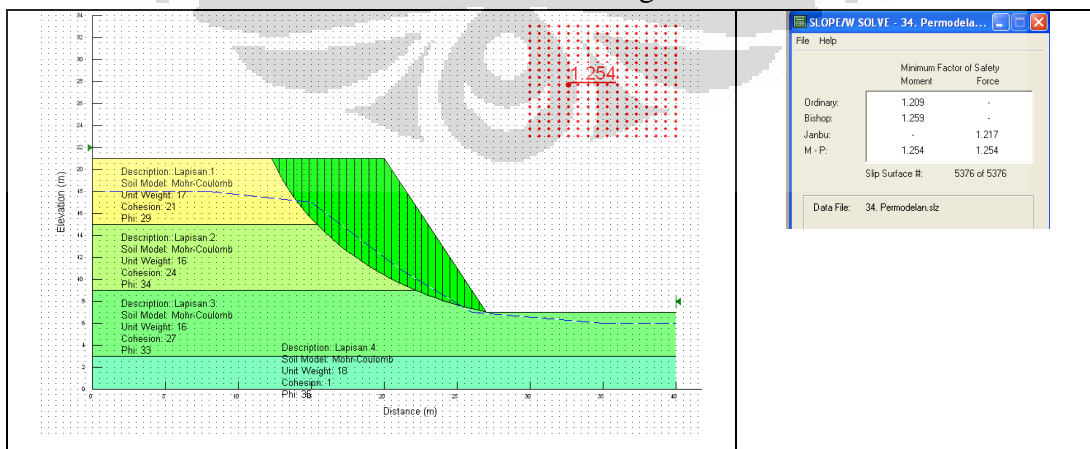
Gambar 4.20 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Jember, 2006)

- *Phi* menurun menjadi: 24<sup>0</sup> pada lapisan 1; 29<sup>0</sup> pada lapisan 2; 28<sup>0</sup> pada lapisan 3, dan 30<sup>0</sup> pada lapisan 4

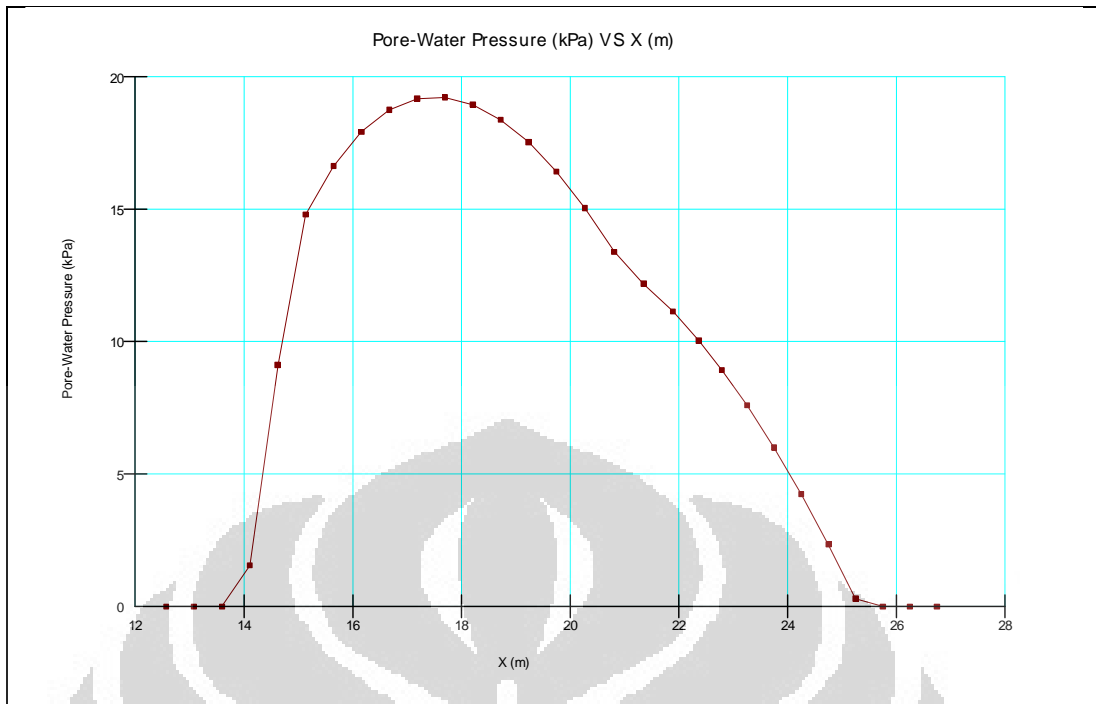


Gambar 4.21 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Jember, 2006)

- Elevasi muka air tanah meningkat

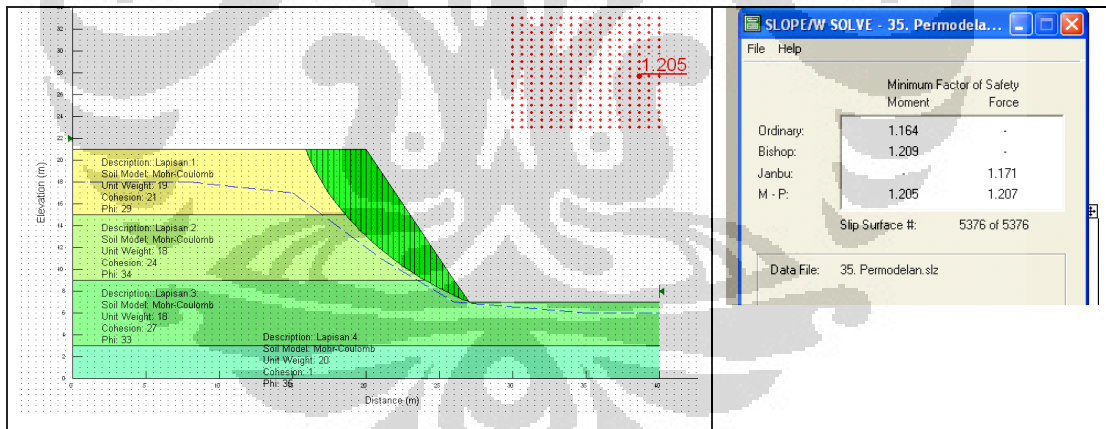






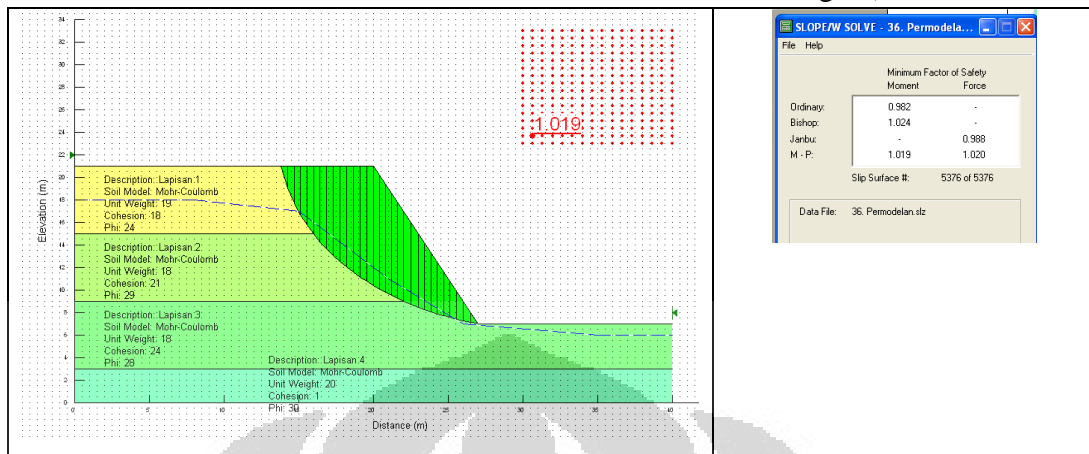
Gambar 4.22 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Jember, 2006)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



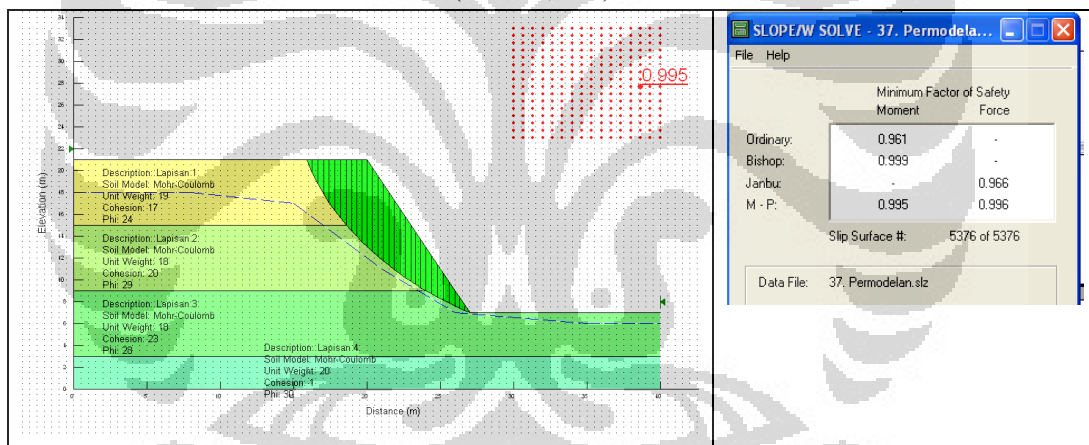
Gambar 4.23 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Jember, 2006)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.24 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Jember, 2006)

- Kondisi Kritis (FS = 1,000)



Gambar 4.25 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Jember, 2006)

#### 4.3.4 Permodelan Kasus Longsor Karanganyar, 2007

##### a. Sumber Data

Karanganyar 2007	
1. Lokasi	Dusun Mogol, Desa Ledoksari, Kecamatan Tawangmangu, Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa Tengah, tepatnya koordinat 111° 07' 24,9" BT dan 07° 40' 36,8" LS
2. Waktu	26 Desember 2007 sekitar jam 3.00 WIB
3. Curah hujan	194 mm/hari
4. Durasi hujan	1 hari

<p>5. Geometri lereng</p>	
<p>6. Geologi tanah</p>	<p>Tanah pelapukan di lokasi bencana berupa lempung pasir lunak, mudah hancur dan luruh bila terkena air karena telah melewati batas kejenuhan, coklat, permeabilitas tinggi, plastisitas sedang, berkerikil dengan tebal lebih dari 3 m. Ketebalan tanah pelapukan: 6 m – 8 m yang diduga merupakan lapukan batuan tufa, tidak tampak adanya breksi vulkanik pada daerah ini atau terdapat dengan bagian yang kecil. Panjang akar pohon yang tumbang hanya 2 m.</p>
<p>7. Parameter tanah</p>	<p>Berdasarkan pada korelasi parameter dan penyederhanaan model, diasumsikan sabagai berikut:</p> <p>Lapisan 1</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 27 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 24^\circ</math></li> </ul> <p>Lapisan 2</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 17 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 30 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 27^\circ</math></li> </ul> <p>Lapisan 3</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3</math></li> </ul>

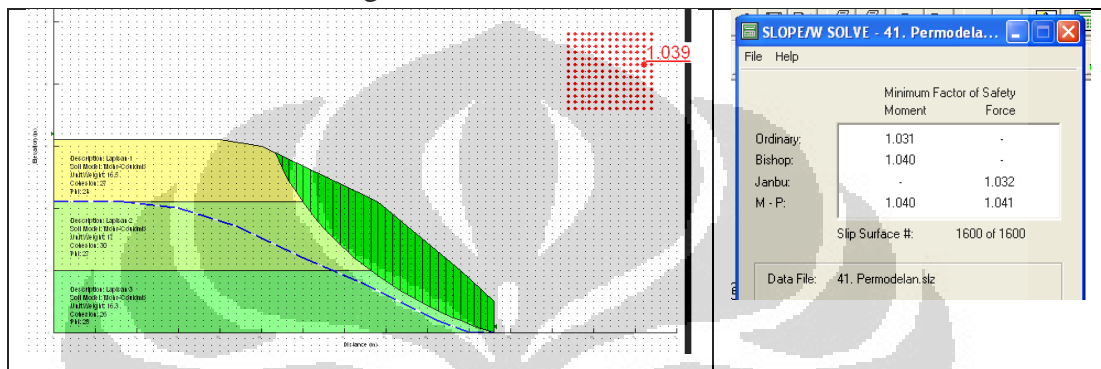
	<ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>C = 26 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 28^\circ</math></li> </ul>
--	--

Tabel 4.7 Sumber Data Kelongsoran Karanganyar, 2007

Sumber data: Laporan *Rapid Assessment* Bencana Tongsor Longsor Karanganyar, 2007 hlm. 1-7. Tim Mitigasi Bencana BPPT

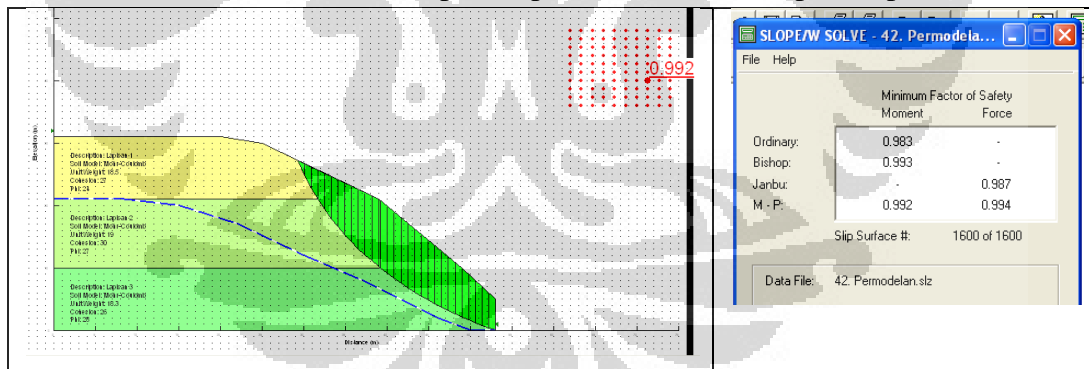
### b. Variasi Permodelan

- Eksisting



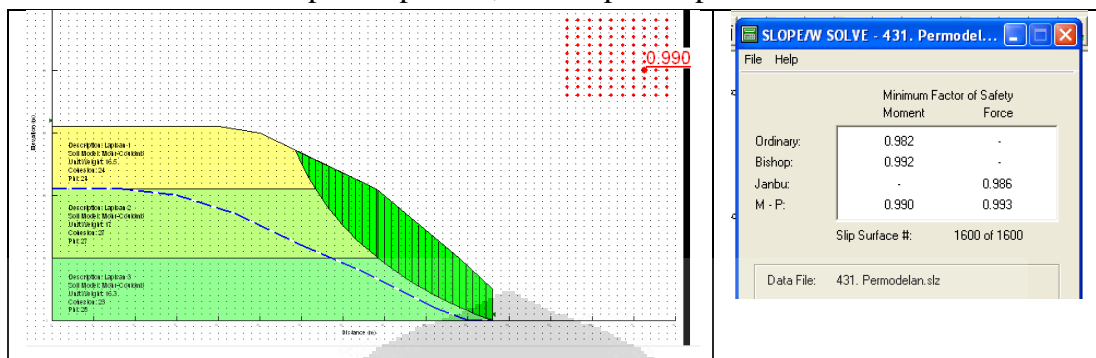
Gambar 4.26 Permodelan Eksisting dan FS-nya (Karanganyar, 2007)

- Tanah menjadi jenuh
  - *Unit weight* meningkat menjadi  $18,5 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 1;  $19 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 2;  $18,3 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 3.



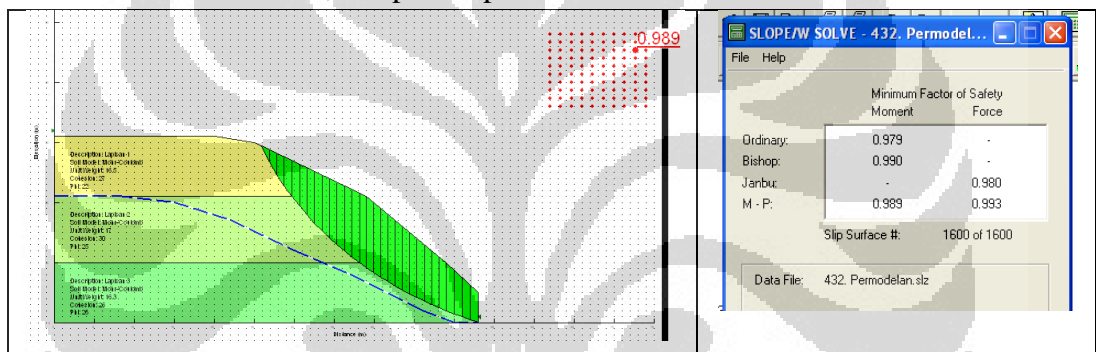
Gambar 4.27 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Karanganyar, 2007)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 24 kPa pada lapisan 1, 27 kPa pada lapisan 2; 23 kPa pada lapisan 3.



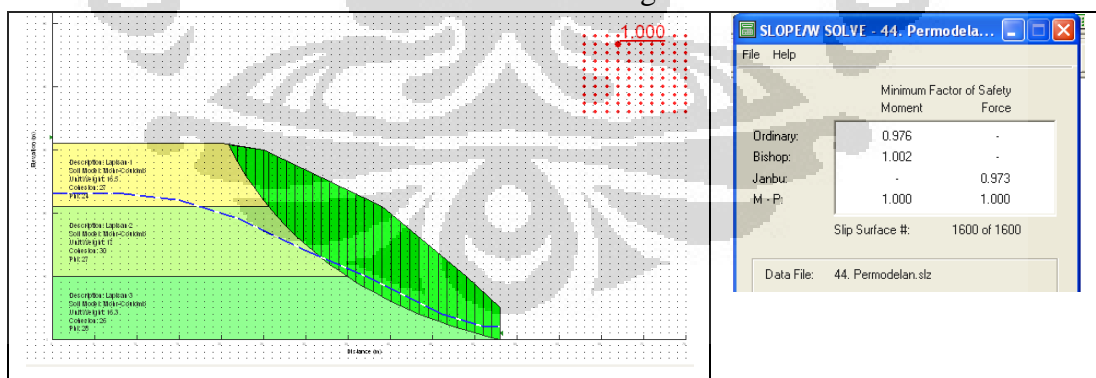
Gambar 4.28 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Karanganyar, 2007)

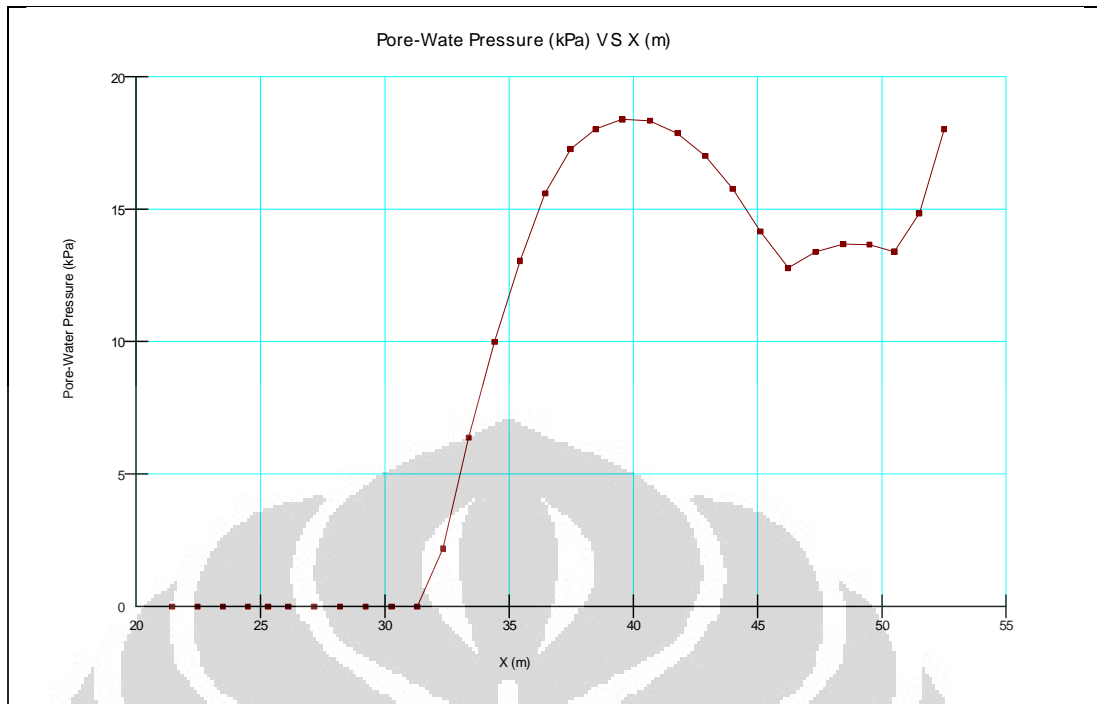
- *Phi* menurun menjadi 22<sup>0</sup> pada lapisan 1; 25<sup>0</sup> pada lapisan 2; 26<sup>0</sup> pada lapisan 3.



Gambar 4.29 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Karanganyar, 2007)

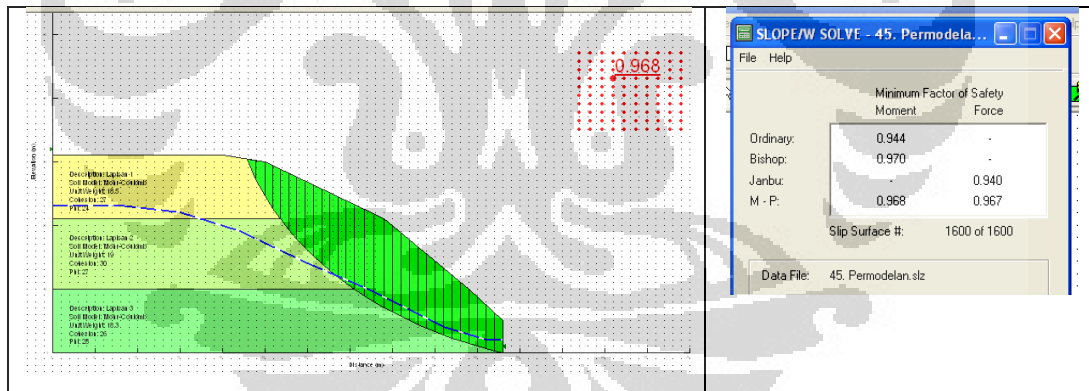
- Elevasi muka air tanah meningkat





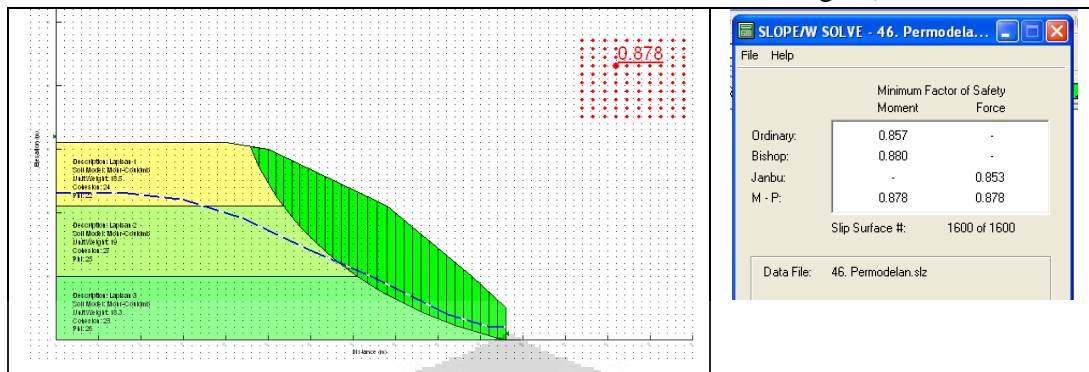
Gambar 4.30 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Karanganyar, 2007)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



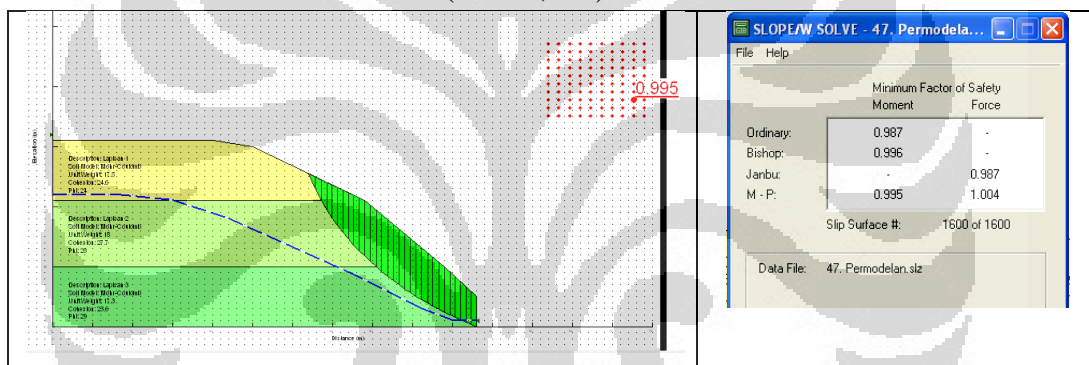
Gambar 4.31 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Karanganyar, 2007)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.32 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Karanganyar, 2007)

- Kondisi kritis (FS = 1,000)



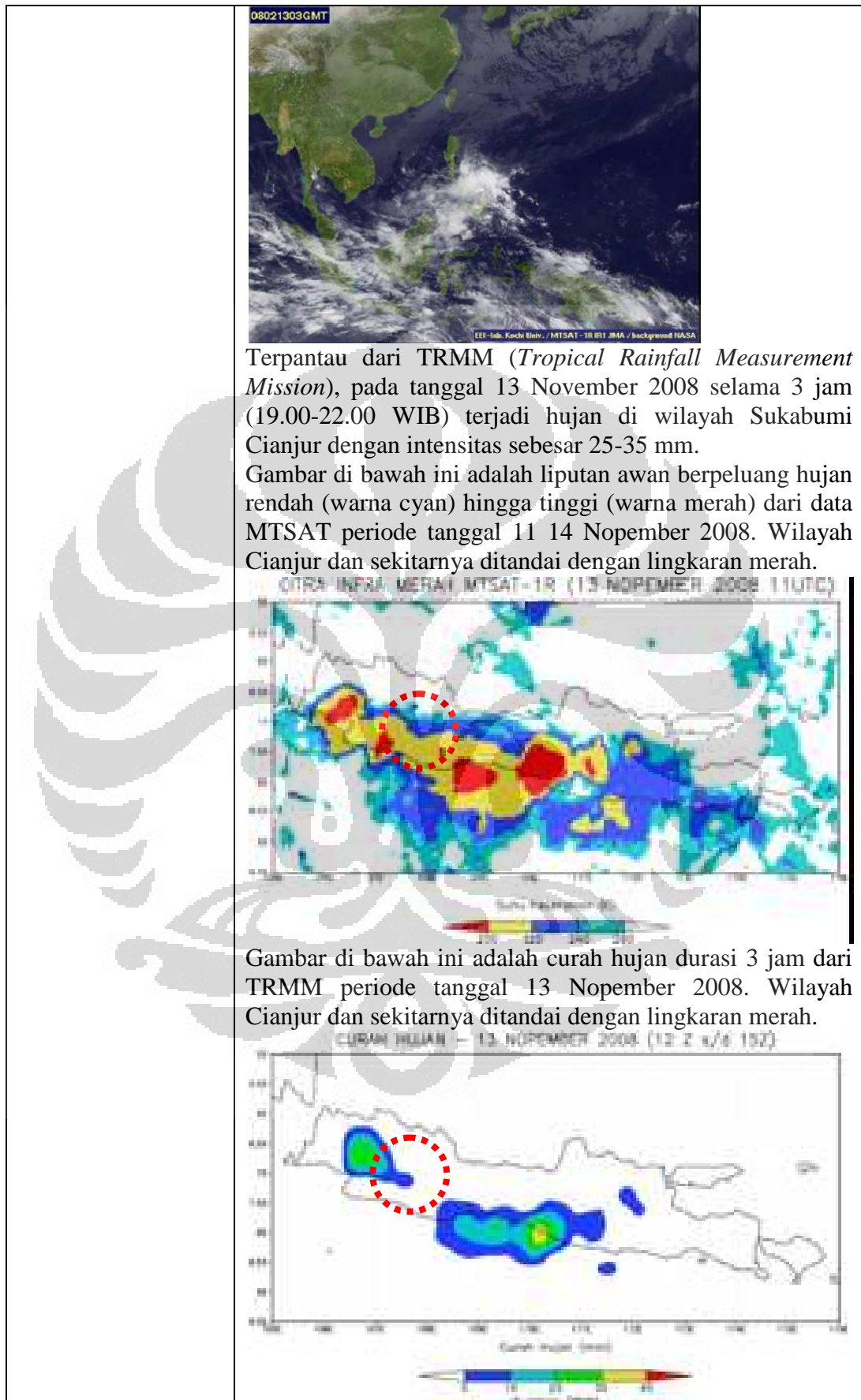
Gambar 4.33 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Karanganyar, 2007)

### 4.3.5 Permodelan Kasus Longsor Cianjur, 2008

#### a. Sumber Data

Cianjur 2008	
1. Lokasi	Kecamatan Campaka, Kabupaten Cianjur, Provinsi Jawa Barat
2. Waktu	13 November 2008 jam 19.30 WIB
3. Curah hujan	(25-35 mm / 3 jam) Berikut ini adalah citra MTSAT ( <i>Multifunction Transport Satellite</i> ) pada 13 Nopember 2008 pukul 10:00 WIB.







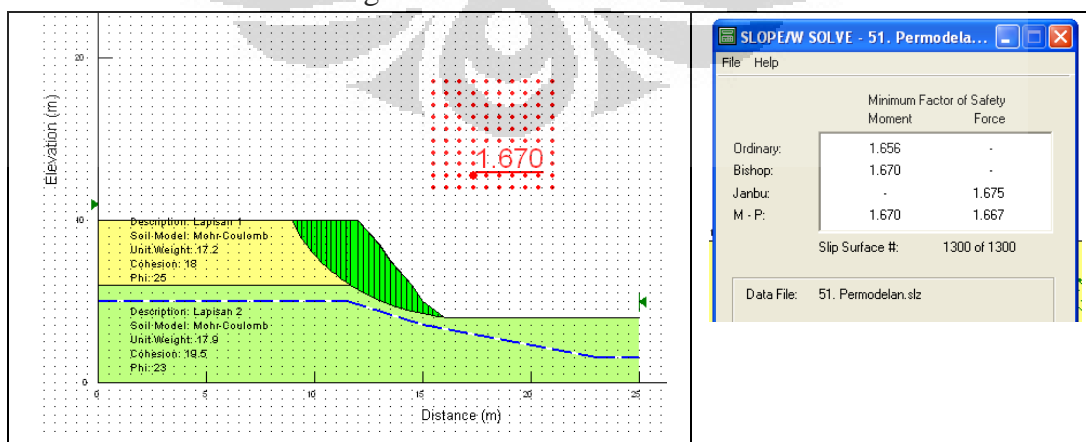
4. Durasi hujan	16.00 - 21.00 WIB (5 jam hujan deras pada 13 November 2008)
5. Geometri lereng	Morfologi perbukitan di Kecamatan Campaka, Kabupaten Cibinong, relatif sangat kasar, memiliki bentuk permukaan yang bergelombang sangat kasar dengan kemiringan $36^{\circ}$ - $90^{\circ}$ . Diambil sudut kemiringan lereng $56^{\circ}$ .
6. Geologi tanah	Tanah hasil pelapukan bersifat sangat gembur, rapuh, mudah lepas-lepas, labil, berukuran lempung-pasir halus dengan ketebalan tinggi
7. Parameter tanah	Berdasarkan pada korelasi parameter dan penyederhanaan model, diasumsikan sabagai berikut: Lapisan 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 17,2 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 18 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 25^{\circ}</math></li> </ul> Lapisan 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 17,9 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 19,5 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 23^{\circ}</math></li> </ul>

Tabel 4.8 Sumber Data Kelongsoran Cianjur, 2008

Sumber data: [1] Laporan Akhir Riset Terapan Peneliti dan Perakayasa LIPI 2010 hlm. 18, 28, lampiran; dan [2] Sistem Peringatan Dini untuk Bencana Banjir / Longsor Berbasis Data Penginderaan Jauh, Studi Kasus: Banjir / Longsor di Kabupaten Cianjur, November 2008 hlm. 409-411- Nanik Suryo Haryani dkk.

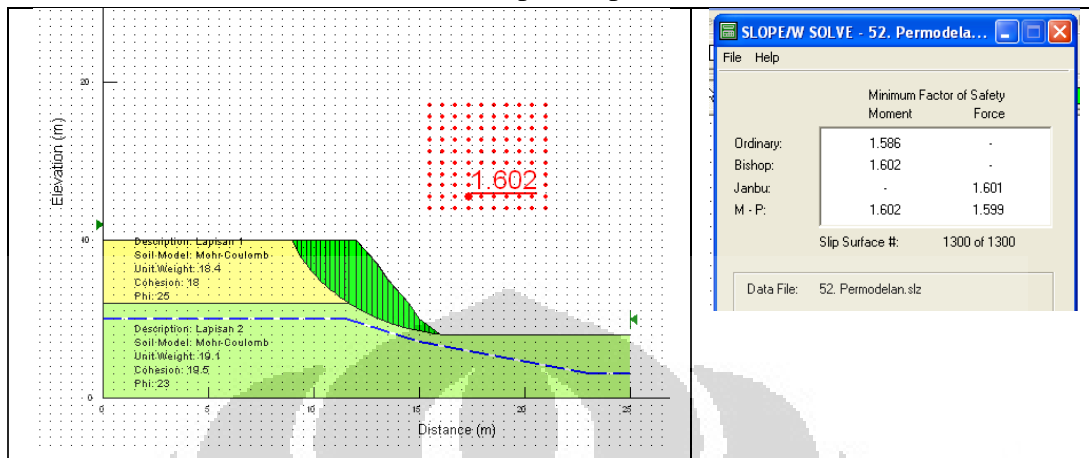
#### b. Variasi Permodelan

- Eksisting



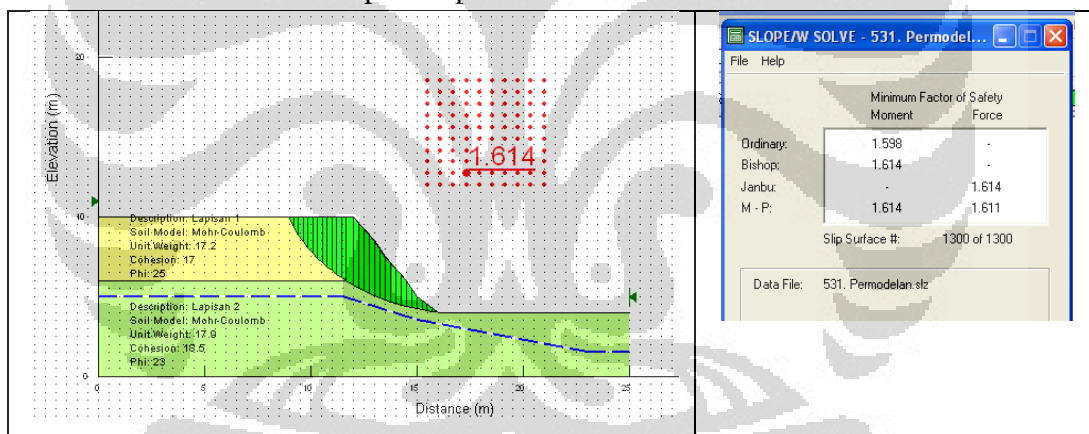
Gambar 4.34 Permodelan Eksisting dan FS-nya (Cianjur, 2008)

- Tanah menjadi jenuh
  - *Unit weight* meningkat menjadi  $18,4 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 1 dan  $19,1 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 2



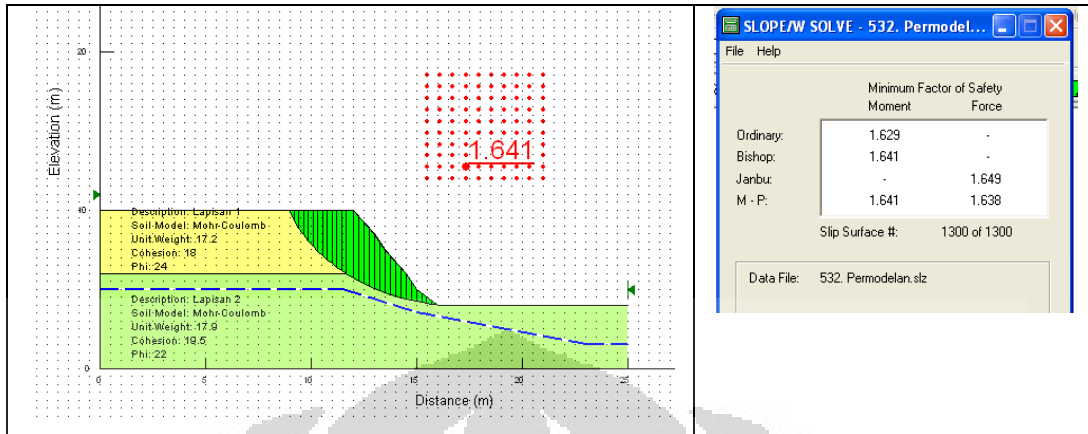
Gambar 4.35 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Cianjur, 2008)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 17 kPa pada lapisan 1 dan 18,5 kPa pada lapisan 2



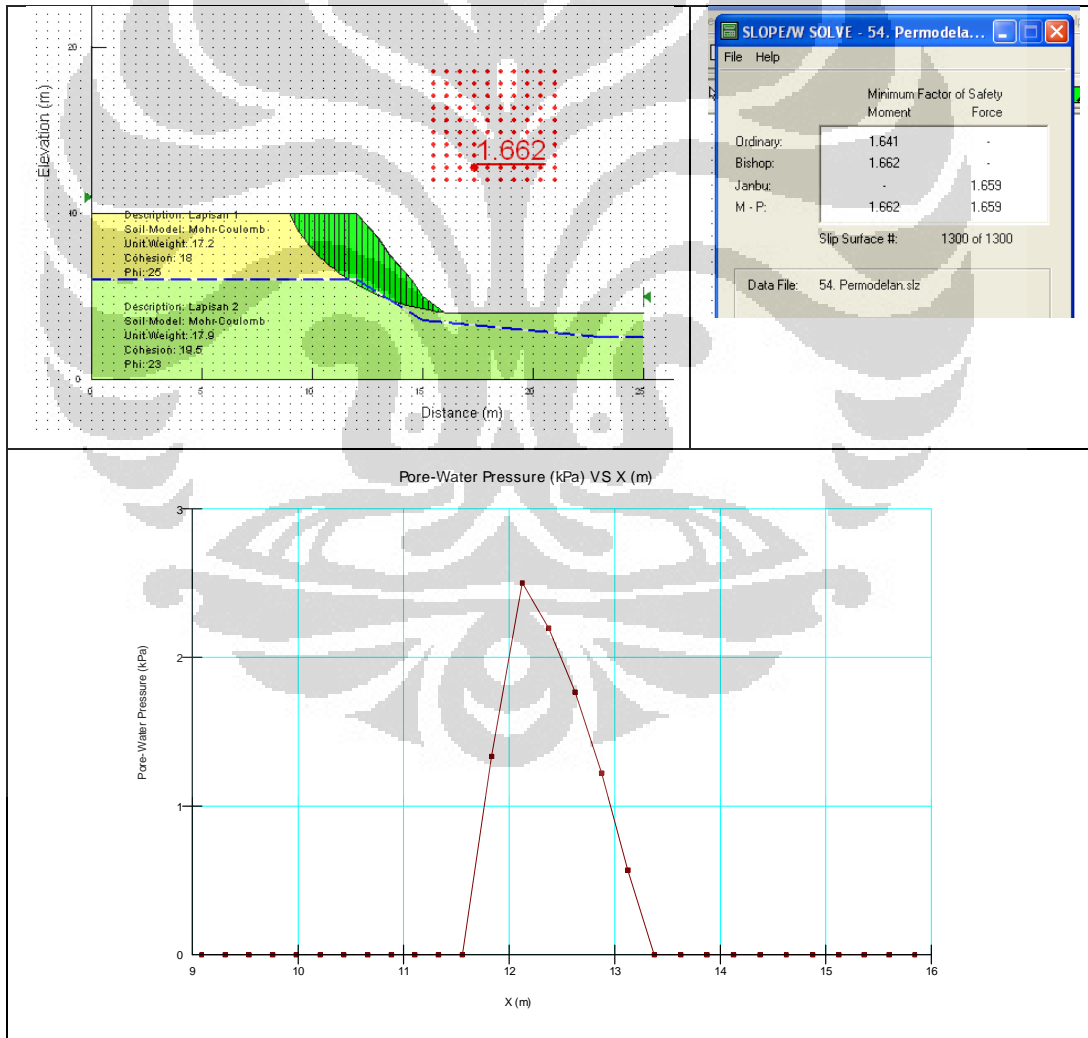
Gambar 4.36 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Cianjur, 2008)

- *Phi* menurun menjadi  $24^0$  pada lapisan 1 dan  $22^0$  pada lapisan 2



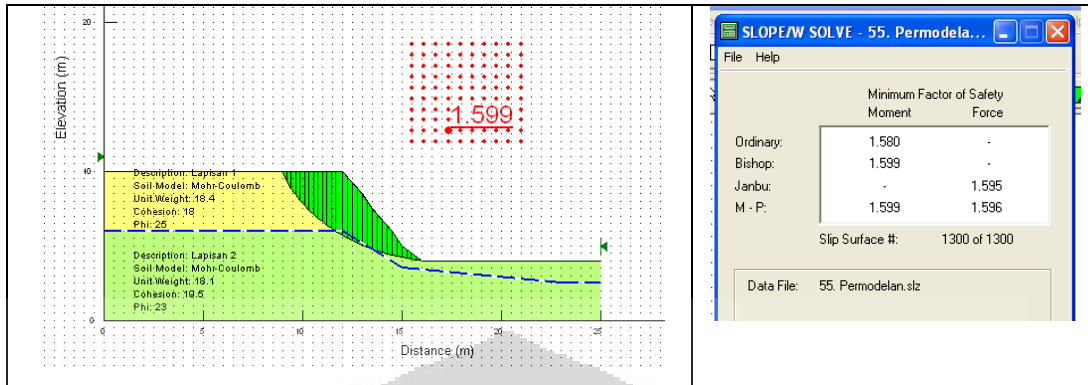
Gambar 4.37 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Cianjur, 2008)

- Elevasi muka air tanah meningkat



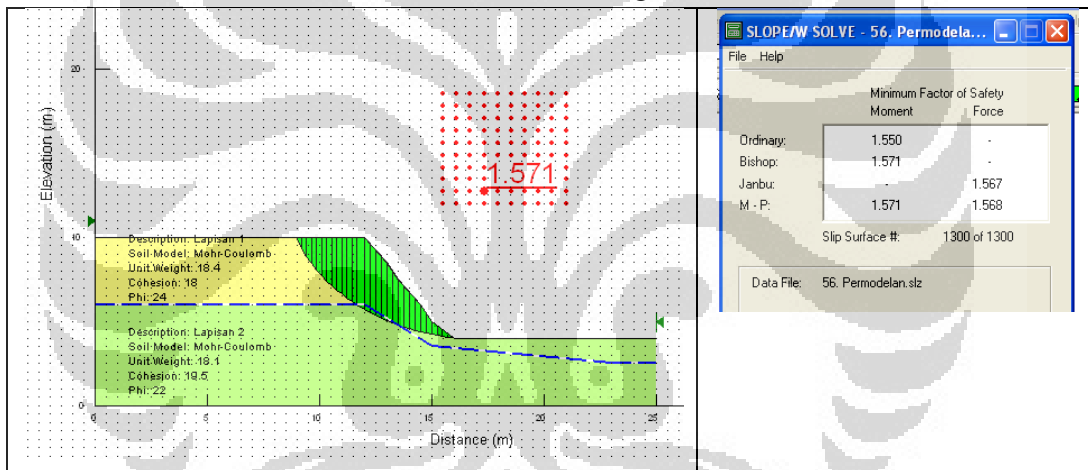
Gambar 4.38 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Cianjur, 2008)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



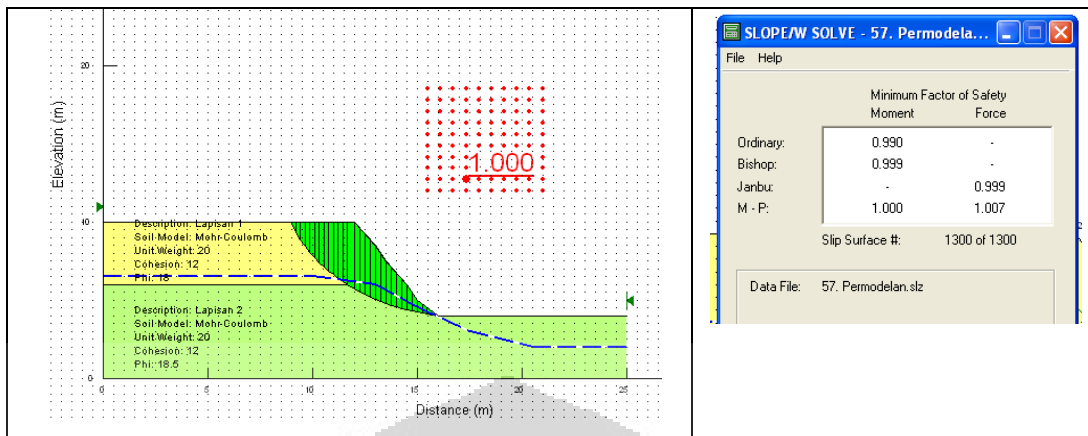
Gambar 4.39 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Cianjur, 2008)

- Kombinasi (tanah jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.40 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Cianjur, 2008)

- Kondisi kritis (FS = 1,000)



Gambar 4.41 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Cianjur, 2008)

### 4.3.6 Permodelan Kasus Longsor Bogor, 2009

#### a. Sumber Data

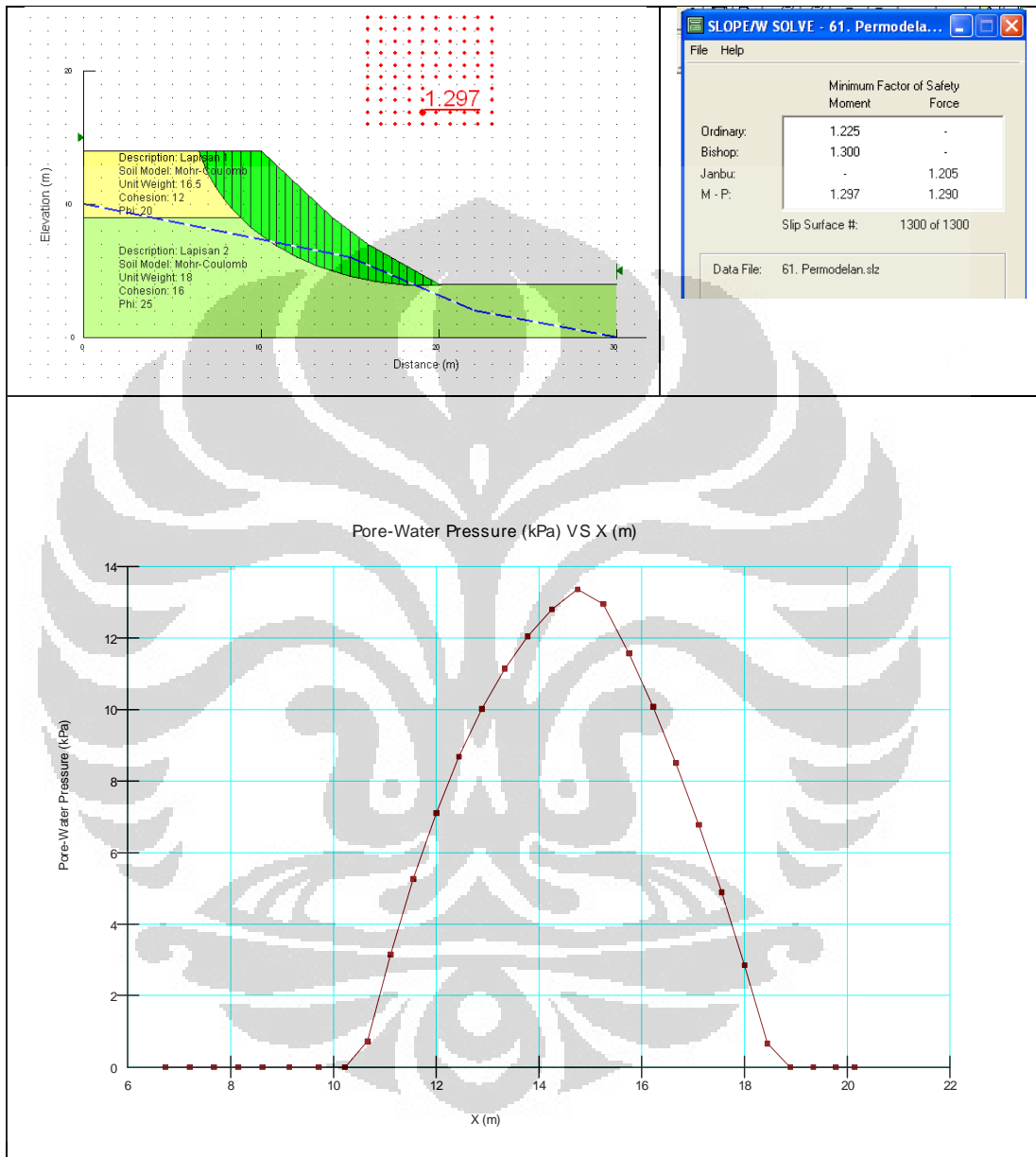
Bogor 2009	
1. Lokasi	Kampung Adat Urug, Desa Kiara Pandak, Kecamatan Sukajaya, Kabupaten Bogor, Provinsi Jawa Barat 06°37'15" LS dan 106°30'26,3" BT
2. Waktu	11 September 2009 sekitar pukul 19:00 WIB
3. Curah hujan	Tidak didapatkan
4. Durasi hujan	Menurut Tim Mitigasi Bencana BPPT, longsor didahului oleh hujan deras selama 2 jam sejak pukul 17:00 hingga 19:00 WIB.
5. Geometri lereng	Tidak didapatkan. Diasumsikan kemiringan lereng = 45°
6. Geologi tanah	Tebal tanah pelapukan berkisar antara 1,5 m hingga 5 m. Pelapisan tanah dari atas ke bawah adalah :terlapukkan secara menyeluruh (cokelat tua), terlapukkan sebagian (cokelat muda), dan batuan yang sedikit terlapukkan (putih). Kedalaman lapisan kedap air adalah 2 m - 4 m.
7. Parameter tanah	Berdasarkan pada korelasi parameter dan penyederhanaan model, diasumsikan sabagai berikut: Lapisan 1 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 12 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 20^\circ</math></li> </ul> Lapisan 2 <ul style="list-style-type: none"> <li>• <math>\gamma = 18 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>• <math>C = 16 \text{ kPa}</math></li> <li>• <math>\varphi = 25^\circ</math></li> </ul>

Tabel 4.9 Sumber Data Kelongsoran Bogor, 2009

Sumber data: Laporan *Rapid Assessment* Pasca Bencana Longsor Bogor, September 2009 hlm. 1-2. Tim Mitigasi Bencana BPPT

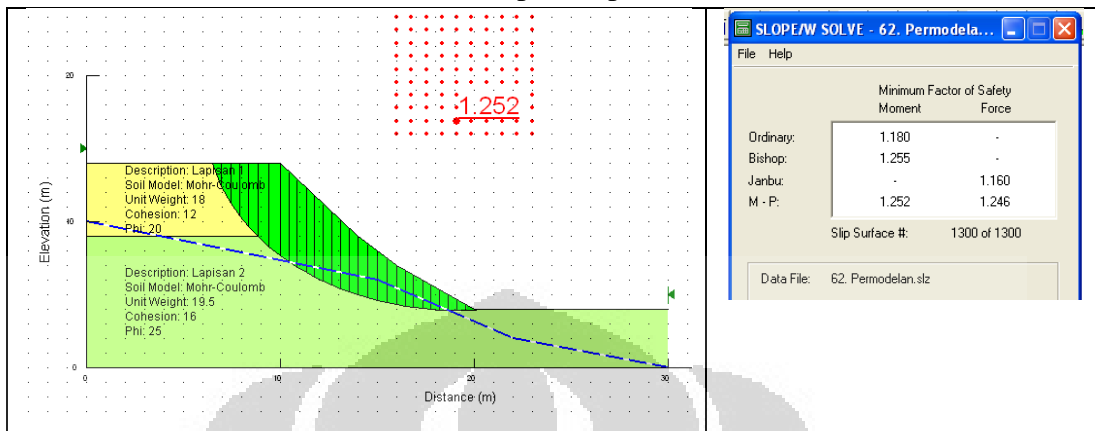
### b. Variasi Permodelan

- Eksisting



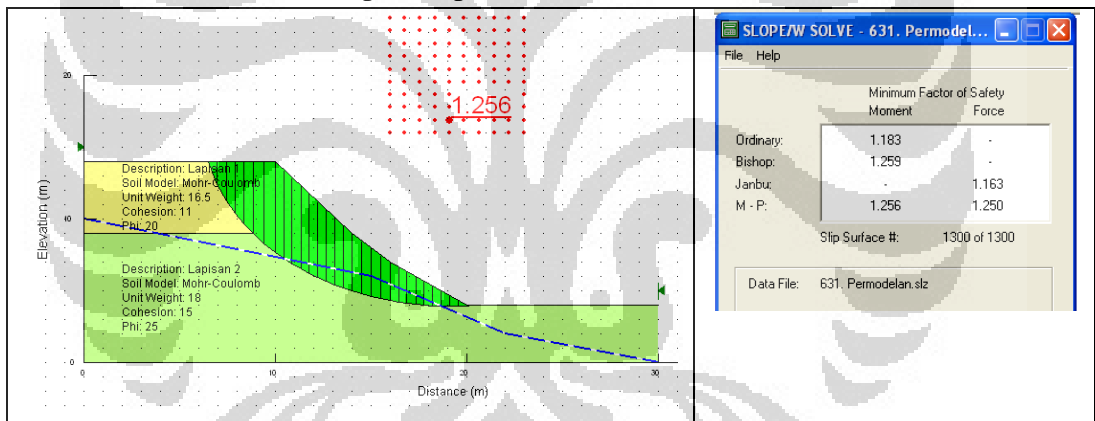
Gambar 4.42 Permodelan Eksisting, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Bogor, 2009)

- Tanah menjadi jenuh
- *Unit weight* meningkat menjadi  $18 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 1 dan  $19,5 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 2

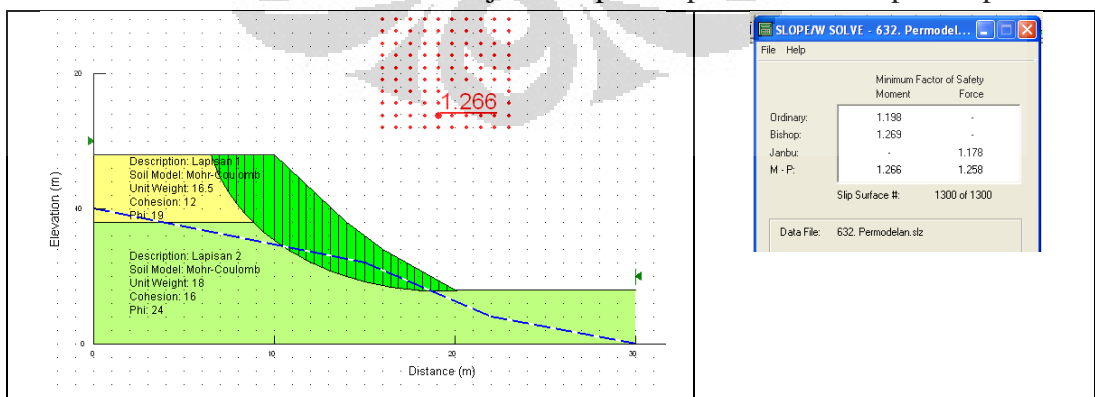


Gambar 4.43 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Bogor, 2009)

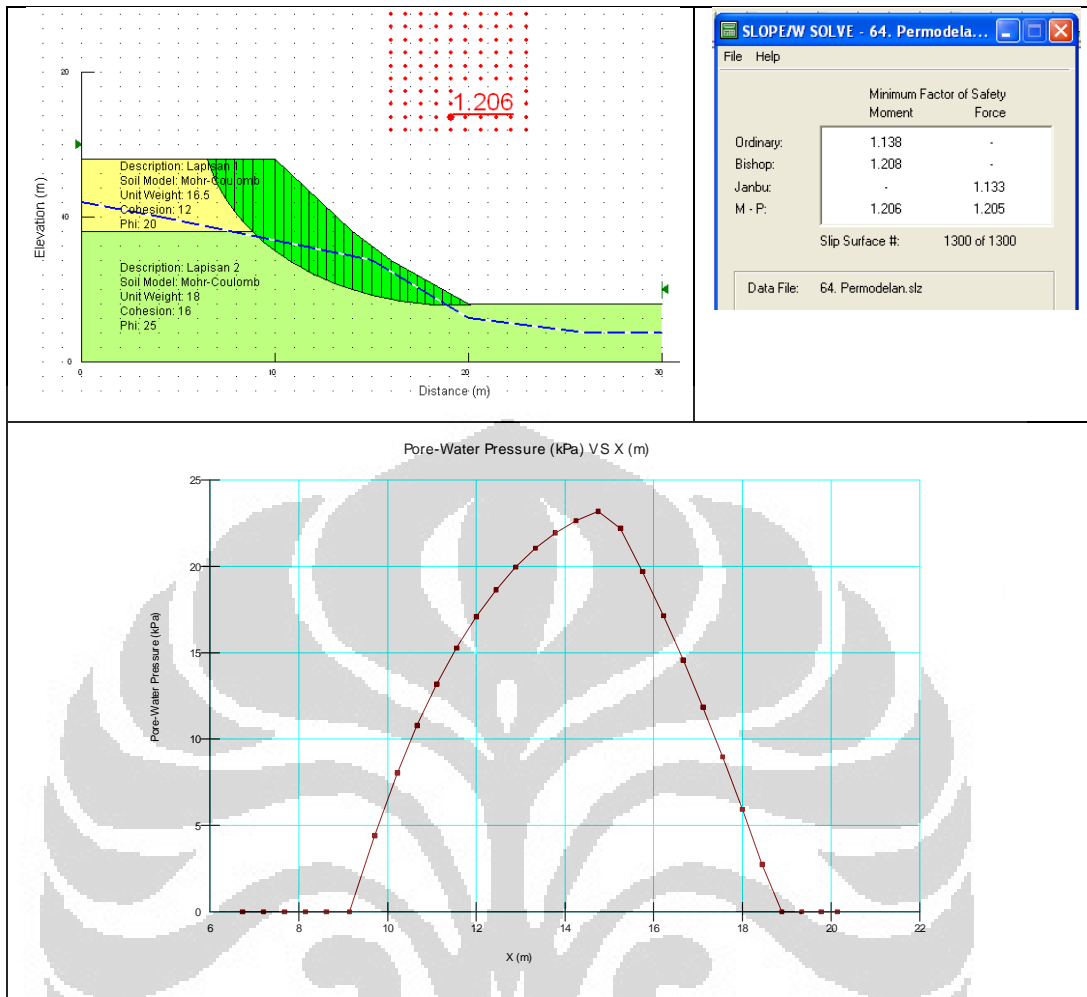
- Parameter Kuat Geser Menurun
- *Cohesion* menurun menjadi  $11 \text{ kPa}$  pada lapisan 1 dan  $15 \text{ kPa}$  pada lapisan 2

Gambar 4.44 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Bogor, 2009)

- *Phi* menurun menjadi  $19^0$  pada lapisan 1 dan  $24^0$  pada lapisan 2

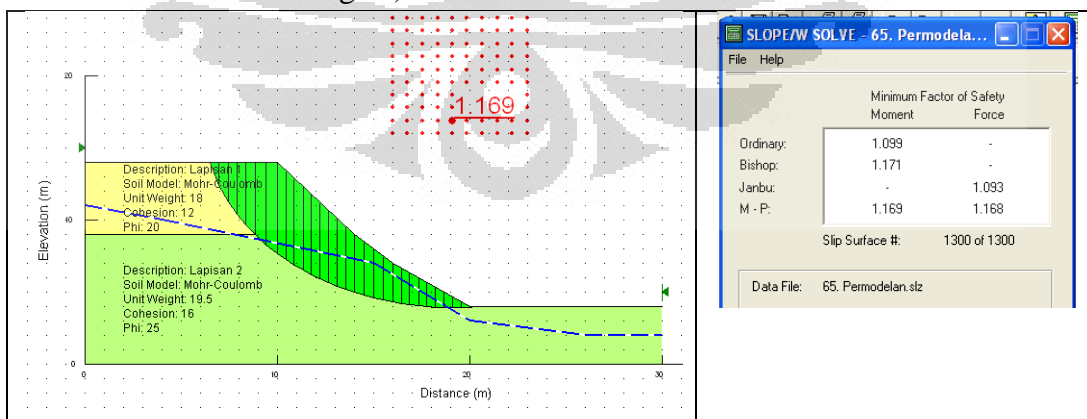
Gambar 4.45 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Bogor, 2009)

- Elevasi muka air tanah meningkat



Gambar 4.46 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Bogor, 2009)

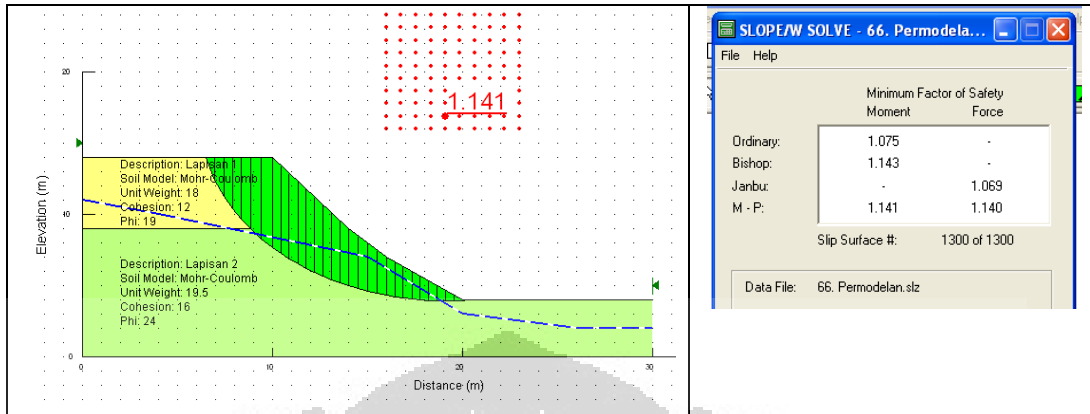
- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.47 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Bogor, 2009)

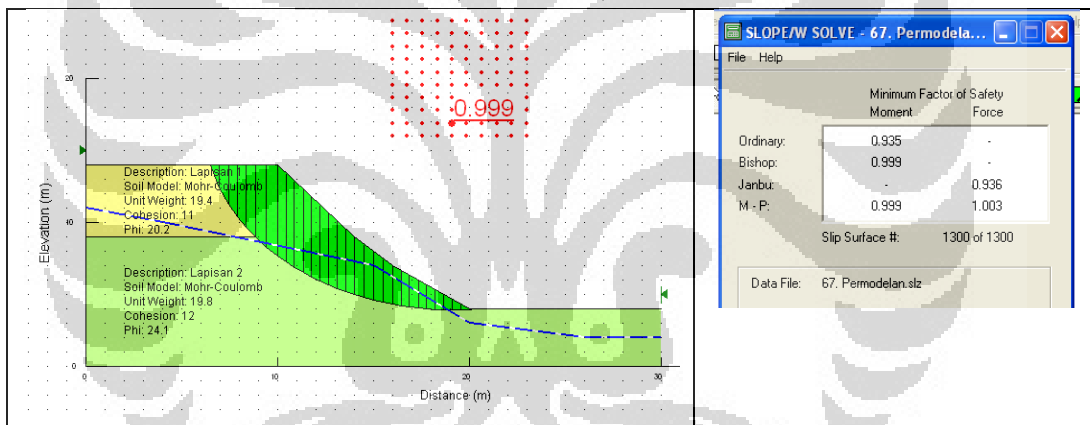


- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.48 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Bogor, 2009)

- Kondisi Kritis (FS = 1,000)



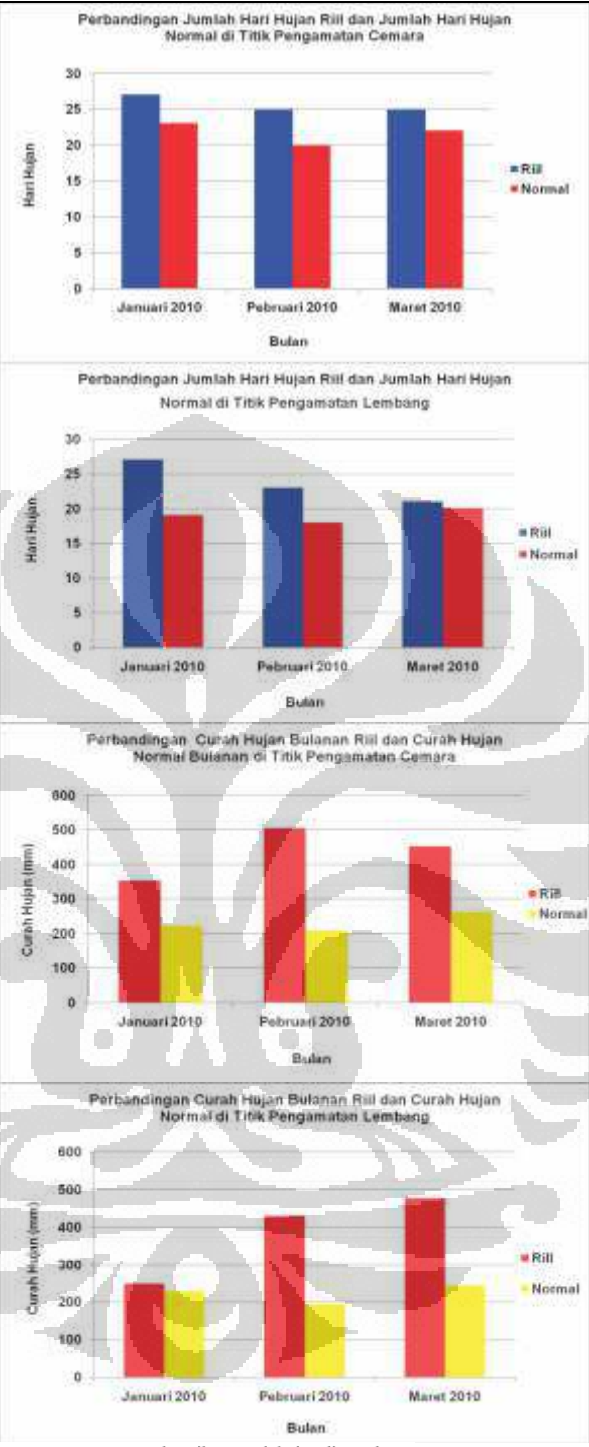
Gambar 4.49 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Bogor, 2009)

### 4.3.7 Permodelan Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010

#### a. Sumber Data

Ciwidey - Bandung 2010	
1. Lokasi	RW 18, Kampung Dewata, Desa Tenjolaya, Kecamatan Pasir Jambu, Kabupaten Bandung
2. Waktu	Selasa (23/2/2010) sekitar pukul 08:00 WIB



3. Curah hujan



Prosentase kenaikan curah hujan di Bandung

Titik Pengamatan	Prosentase Kenaikan (%)		
	Januari	Pebruari	Maret
Cemara	158.4	239.7	173
Lembang	108.6	221.2	195.5

Sumber: BMKG Stasiun Geofisika Bandung<sup>13)</sup>

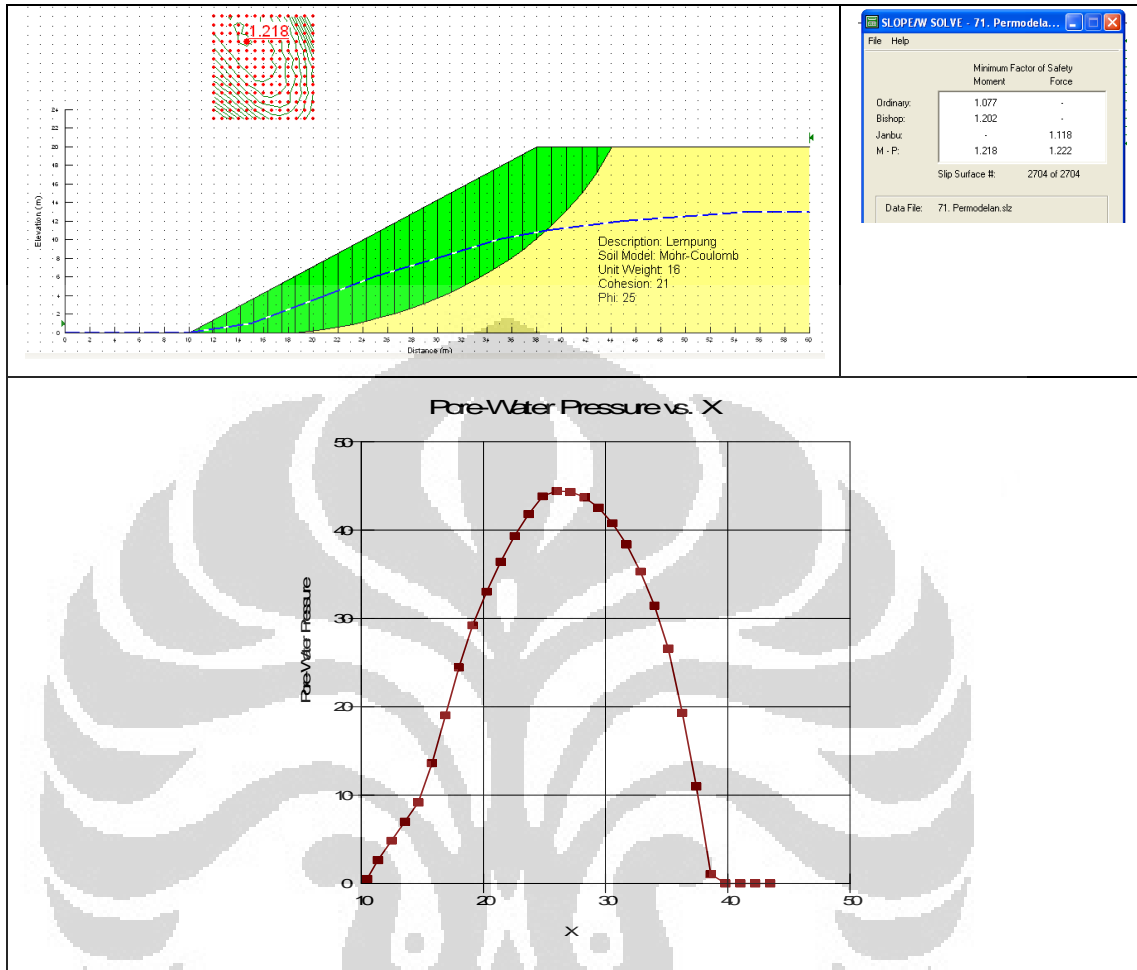
	<p style="text-align: center;">Sifat Hujan Bulanan Di Atas Normal Dengan Kejadian Berurutan</p>  <p>“Longsor di Ciwidey terjadi saat hujan turun tidak deras. Namun memang, akumulasi curah hujan yang terjadi dari tanggal 1 Februari hingga 23 Februari lebih besar 480% dari rata-rata normal yang sebesar 220 mm/bulan”, ungkap Kepala Bidang Teknologi Mitigasi Bencana BPPT, Sutopo Purwo Nugroho dalam presentasinya.</p>
4. Durasi hujan	Maksimum 22 hari dalam sebulan (Januari 2010)
5. Geometri lereng	
6. Geologi tanah	Tanah dominan lempung
7. Parameter tanah	Diasumsikan: $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $C = 21 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$

Tabel 4.10 Sumber Data Kelongsoran Ciwidey - Bandung, 2010

Sumber data: Dokumen 3555 Volume 12 Nomor 2 September 2011 Analisis Intensitas Curah Hujan Wilayah Bandung pada Awal 2010 hlm. 146-148 - Annie Hanifah dan Endarwin - BMKG

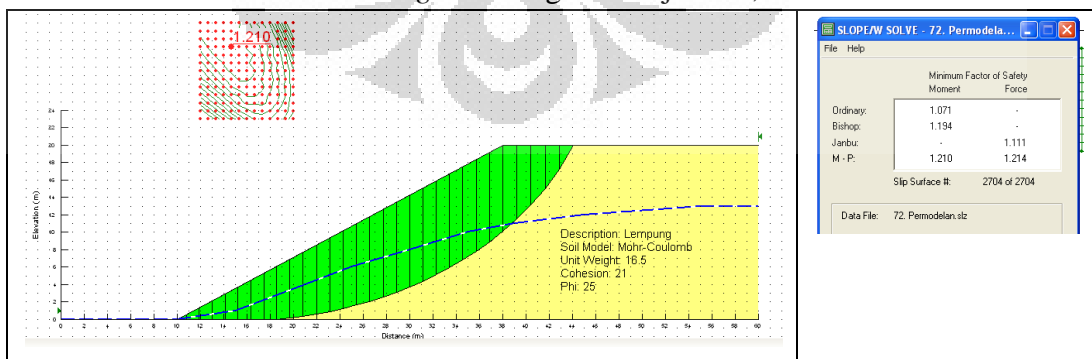
b. Variasi Permodelan

- Eksisting



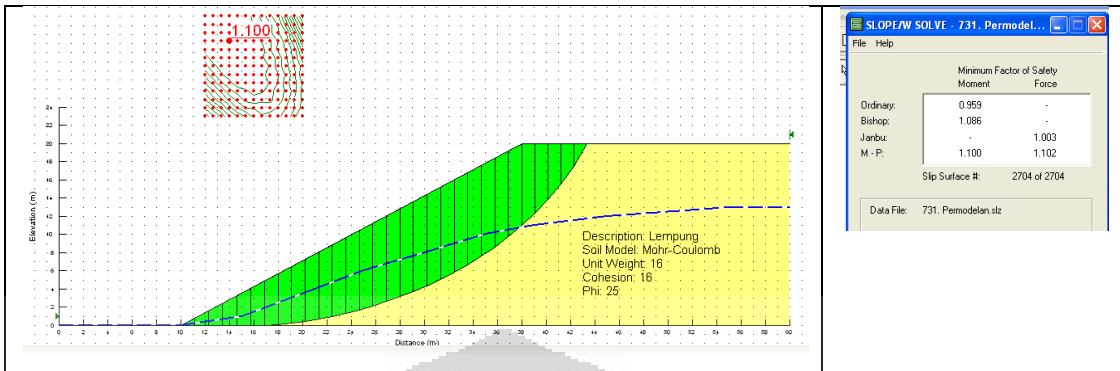
Gambar 4.50 Permodelan Eksisting, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

- Tanah menjadi jenuh
- *Unit weight* meningkat menjadi  $16,5 \text{ kN/m}^3$



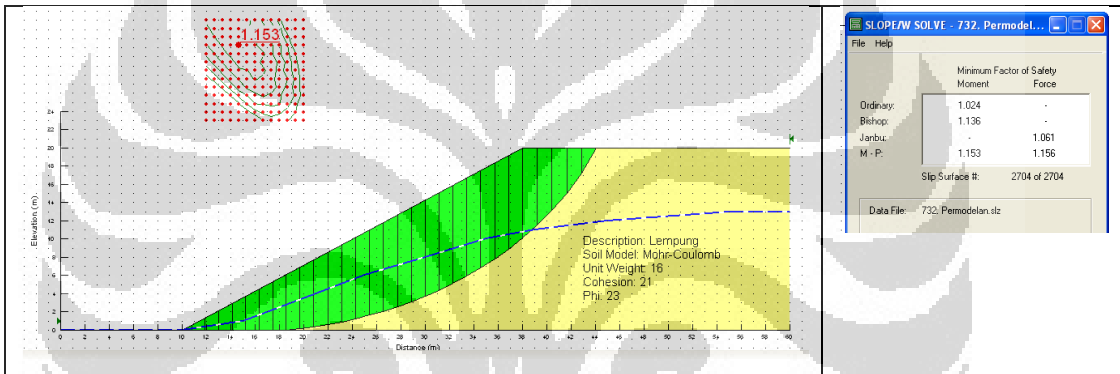
Gambar 4.51 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 16 kPa



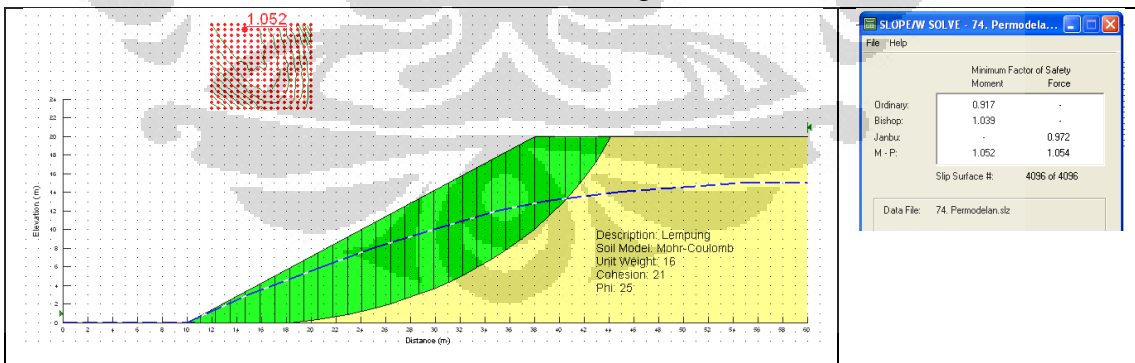
Gambar 4.52 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

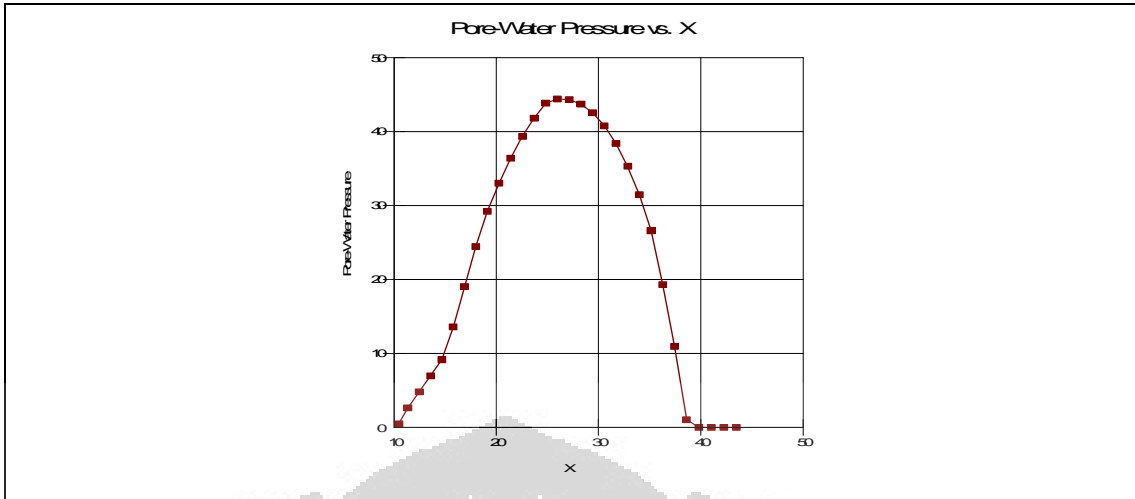
- *Phi* menurun menjadi 23<sup>0</sup>



Gambar 4.53 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

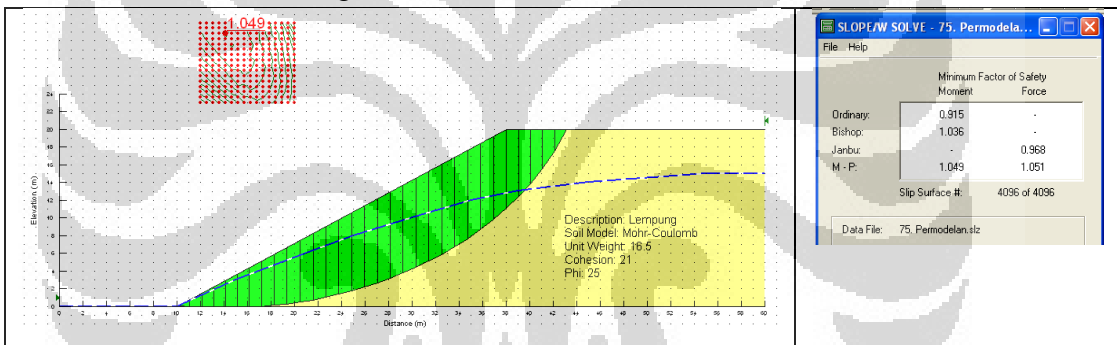
- Elevasi muka air tanah meningkat





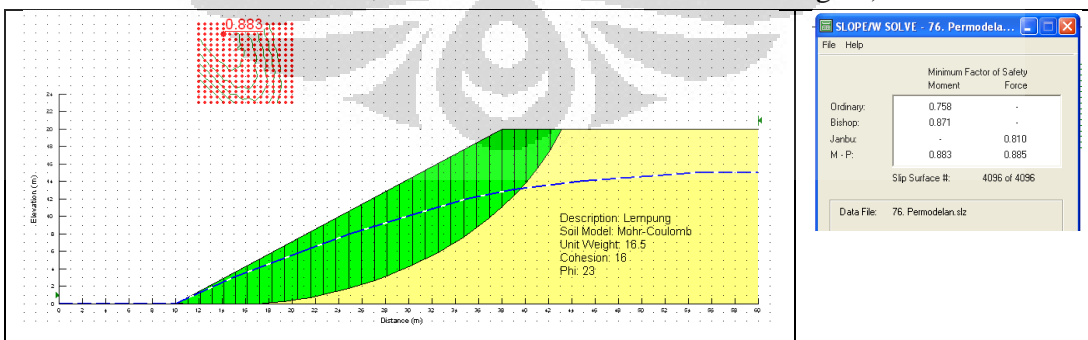
Gambar 4.54 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



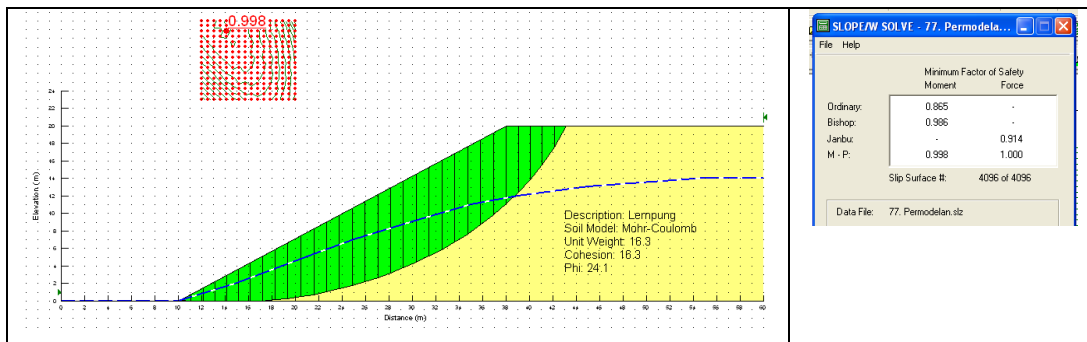
Gambar 4.55 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.56 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

- Kondisi Kritis (FS = 1,000)



Gambar 4.57 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Ciwidey - Bandung, 2010)

### 4.3.8 Permodelan Kasus Longsor Wonosobo, 2011

#### a. Sumber Data

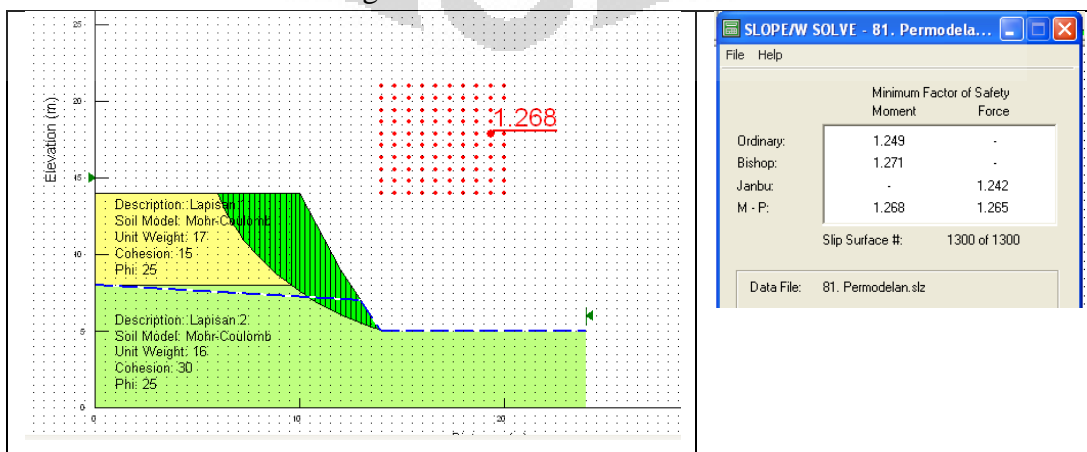
Wonosobo 2011	
1. Lokasi	Dusun Wonoaji, Desa Tieng, Kecamatan Kejajar, Kabupaten Wonosobo, Provinsi Jawa Tengah
2. Waktu	20 Desember 2011
3. Curah hujan	75 mm
4. Durasi hujan	Tidak didapatkan
5. Geometri lereng	Tinggi lereng = ± 14 m Sudut kemiringan lereng ± 70°
6. Geologi tanah	Tidak didapatkan
7. Parameter tanah	Data tanah diasumsikan: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Tanah dasar (<math>\gamma = 16 \text{ kN/m}^3</math>, <math>C = 30 \text{ kPa}</math>, <math>\phi = 25^\circ</math>)</li> <li>• Timbunan (<math>\gamma = 17 \text{ kN/m}^3</math>, <math>C = 15 \text{ kPa}</math>, <math>\phi = 25^\circ</math>)</li> <li>• Tinggi muka air tanah = ± 10 m dari dasar lereng</li> </ul>

Tabel 4.11 Sumber Data Kelongsoran Wonosobo, 2011

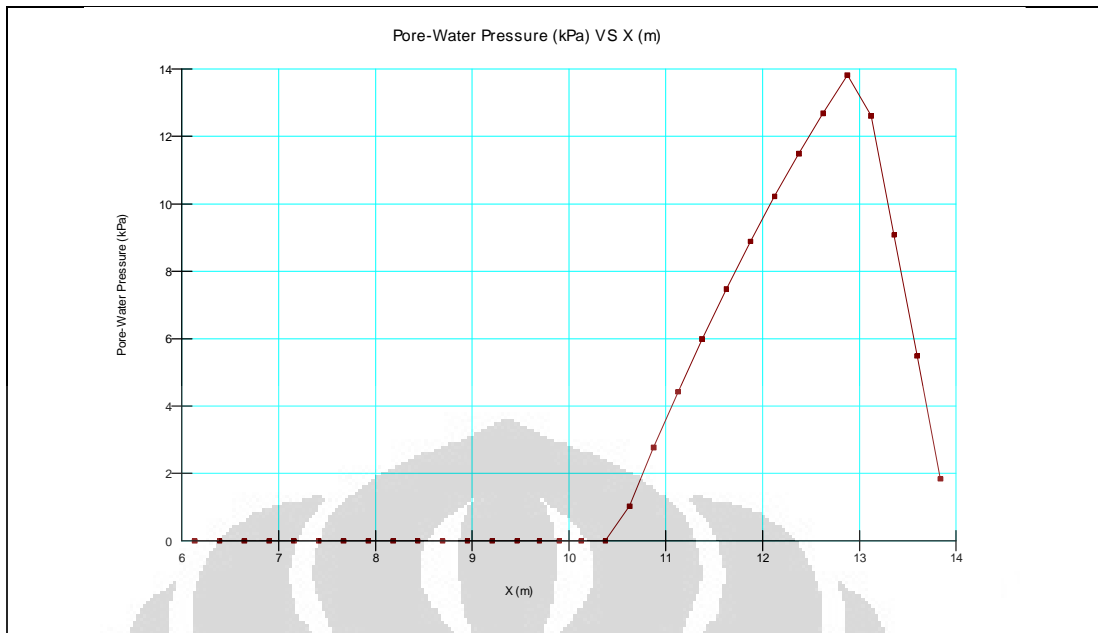
Sumber data: Harian Kompas Terbitan 26 Desember 2011 hlm. 1, 17.

#### b. Variasi Permodelan

- Eksisting

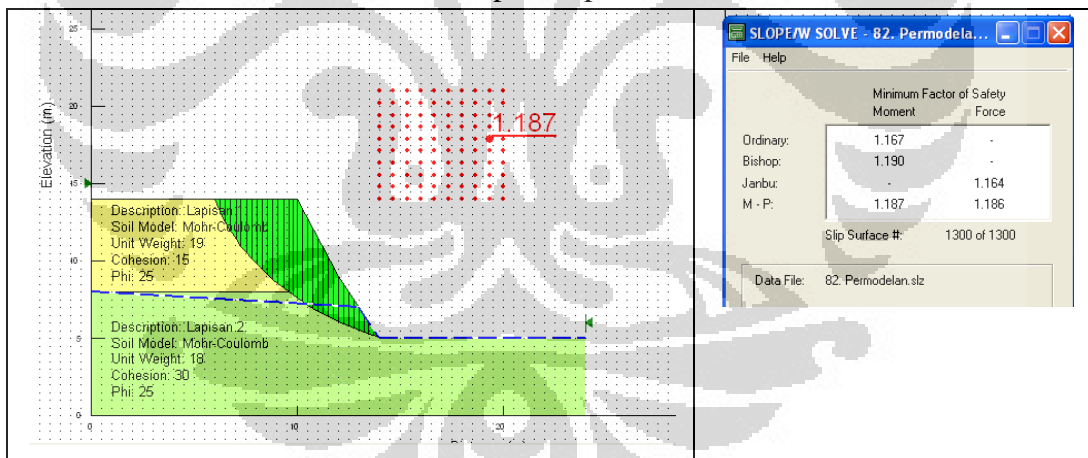






Gambar 4.58 Permodelan Eksisting, Grafik Tekanan Air Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)

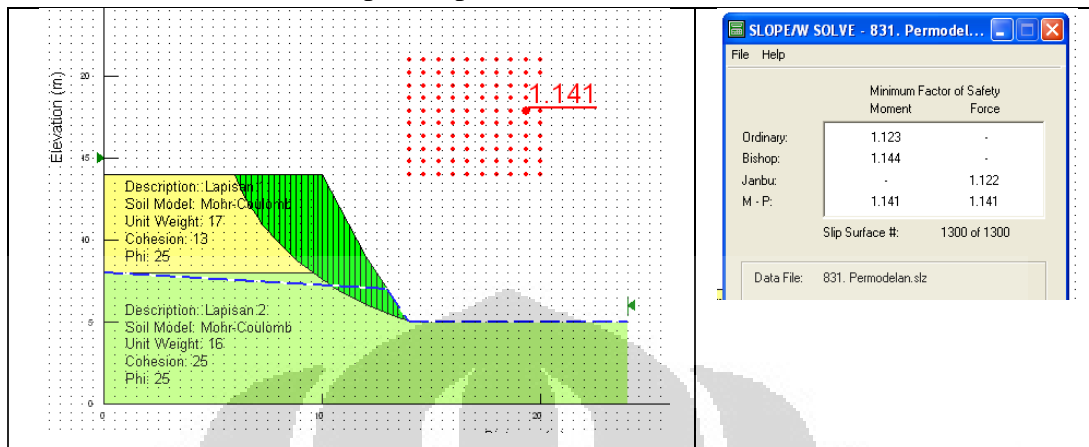
- Tanah menjadi jenuh
- *Unit weight* meningkat menjadi  $19 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 1 dan  $18 \text{ kN/m}^3$  pada lapisan 2



Gambar 4.59 Permodelan Tanah Menjadi Jenuh dan FS-nya (Wonosobo, 2011)

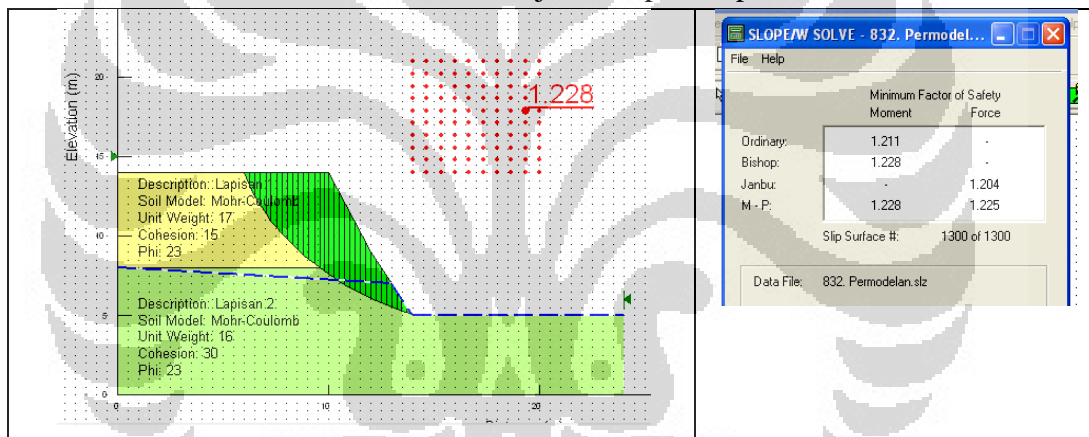


- Parameter Kuat Geser Menurun
  - *Cohesion* menurun menjadi 13 kPa pada lapisan 1 dan 25 kPa pada lapisan 2



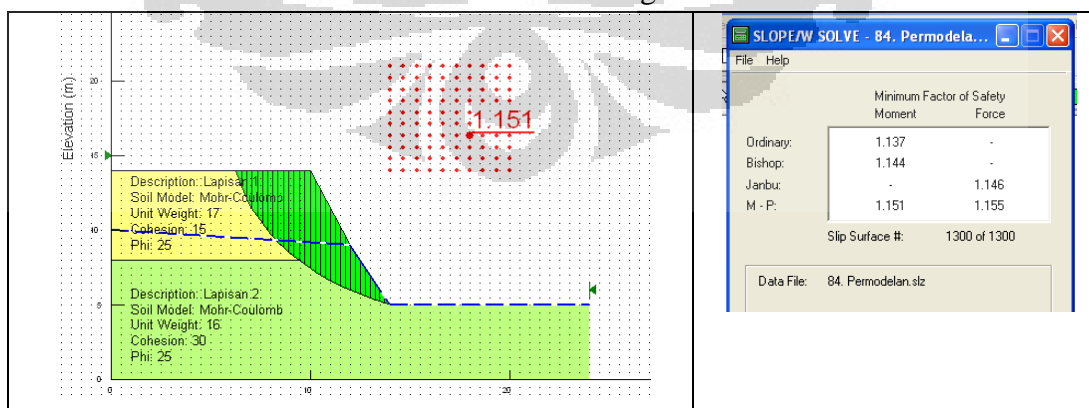
Gambar 4.60 Permodelan *Cohesion* Menurun dan FS-nya (Wonosobo, 2011)

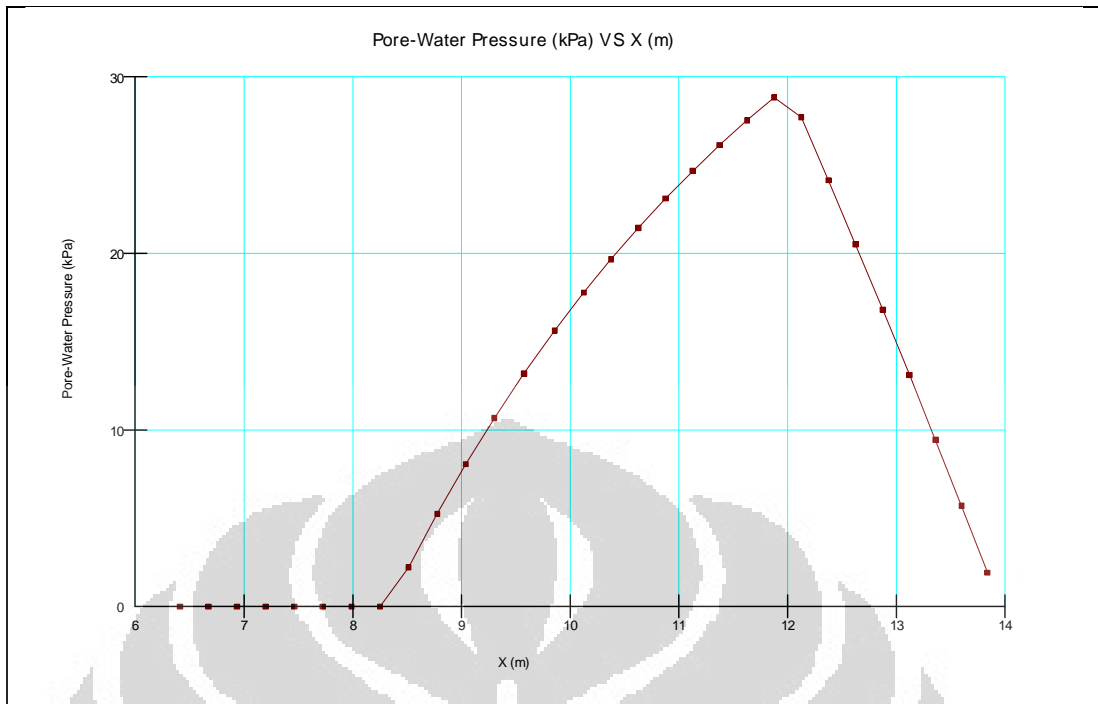
- *Phi* menurun menjadi  $23^{\circ}$  pada lapisan 1 dan 2



Gambar 4.61 Permodelan *Phi* Menurun dan FS-nya (Wonosobo, 2011)

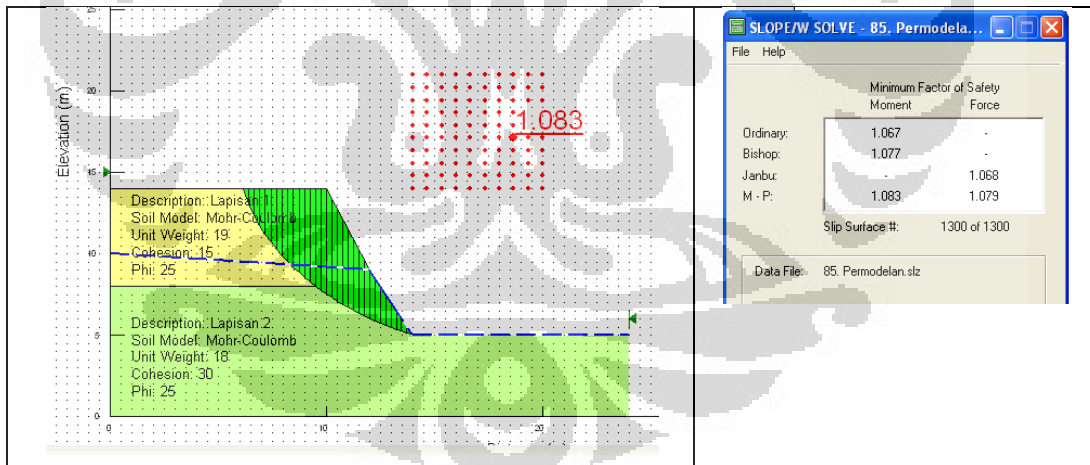
- Elevasi muka air tanah meningkat





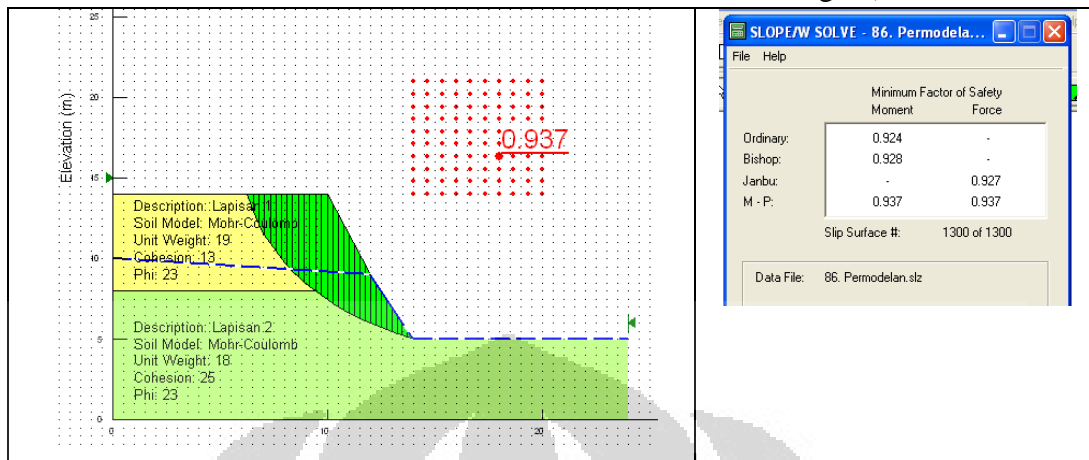
Gambar 4.62 Permodelan Elevasi Muka Air Tanah Meningkat, Grafik Tekanan Air-Pori (kPa) terhadap Sumbu-X (m), beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)



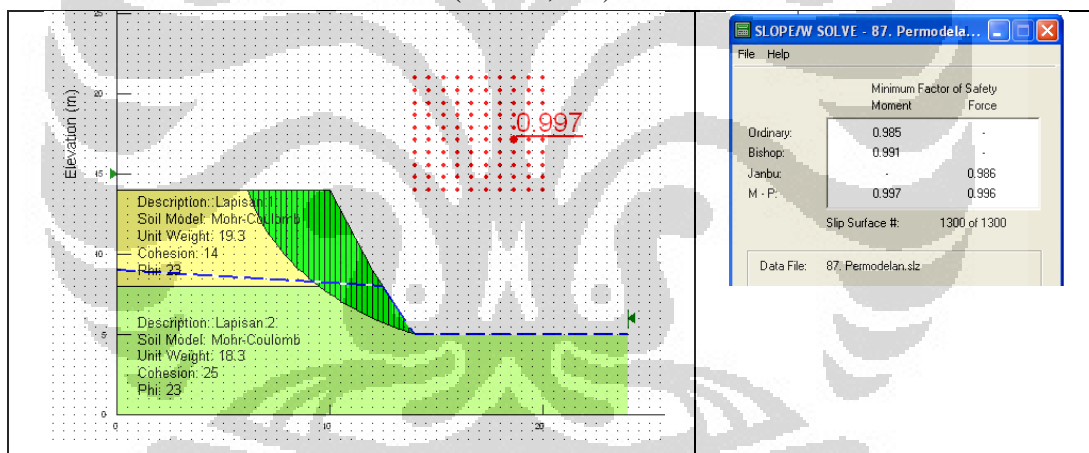
Gambar 4.63 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)



Gambar 4.64 Permodelan Kombinasi (Tanah Menjadi Jenuh, Parameter Kuat Geser Menurun, dan Elevasi Muka Air Tanah meningkat) Beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)

- Kondisi Kritis (FS = 1,000)



Gambar 4.65 Permodelan Kondisi Kritis Beserta FS-nya (Wonosobo, 2011)

## **BAB V**

### **ANALISIS**

Analisis mencakup berbagai variasi kondisi pada tiap kasus kelongsoran yang ditinjau. Hal-hal yang akan dianalisis antara lain:

1. angka faktor keamanan lereng eksisting yang dimodelkan berdasarkan pada data sekunder dari *fact-finding* kasus-kasus kelongsoran;
2. angka faktor keamanan lereng yang dimodelkan menggunakan analisis balik dengan berbagai variasi nilai berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah;
3. nilai, perubahan, dan pengaruh dari: berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah yang menyebabkan lereng menjadi tidak stabil; serta
4. perubahan angka faktor keamanan setelah dilakukan variasi nilai berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah.

Analisis dilakukan secara mendetail pada Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993. Untuk kasus-kasus lainnya, tidak dijelaskan secara mendetail, tetapi hanya mencakup:

1. Tabel Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor
2. Grafik Angka Faktor Keamanan pada berbagai Kondisi Lereng
3. Grafik Persentase Perubahan Angka Faktor Keamanan pada berbagai Kondisi Lereng
4. Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng

#### **5.1 Analisis Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993**

Untuk menganalisis kelongsoran Citatah - Bandung, 1993, dilakukan permodelan numerik pada beberapa kasus pada Gambar 4.2 (kondisi eksisting) hingga Gambar 4.9 (kondisi kritis, FS mendekati 1,000). Berdasarkan pada sumber data dan studi parametrik, maka dibuat permodelan kasus menggunakan program SLOPE/W sebagai berikut:

- Kondisi Eksisting:
  - Kemiringan lereng sekitar  $45^0$
  - Ketinggian lereng sekitar 7 m
  - Karakteristik tanah mengambil asumsi sbb:
    - *Upper Soil Layer*  
(Area = 57,5 m<sup>2</sup>)
      - *Unit weight:* 17  
kN/m<sup>3</sup>
      - *Cohesion:* 20 kPa
      - *Phi:*  $27^0$
    - *Lower Soil Layer*  
(Area = 90 m<sup>2</sup>)
      - *Unit weight:* 18  
kN/m<sup>3</sup>
      - *Cohesion:* 23 kPa
      - *Phi:*  $30^0$

- Koordinat elevasi muka air tanah

X (m)	0	5	8	12	18	20
Y (m)	6	6	5	1.5	0	0

Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.2. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua pada saat permukaan air tanah setinggi maksimum 3 m dari kaki lereng. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 2,125, yang berarti lereng eksisting Citatah - Bandung, 1993 dalam kondisi sangat aman. Padahal, fakta mengatakan bahwa terjadi kelongsoran di tempat dan waktu tersebut. Pada akhirnya, dicari berapakah karakteristik tanah dan elevasi muka air tanah yang menghasilkan angka FS mendekati 1,000.

- Tanah menjadi jenuh:
 

Dilakukan variasi hanya pada nilai berat jenis, yaitu 18 kN/m<sup>3</sup> pada *Upper Soil Layer* dan 20 kN/m<sup>3</sup> pada *Lower Soil Layer*, tanpa mengubah geometri lereng, parameter kuat geser, dan elevasi muka air tanah. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.3. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 2,056 yang berarti bahwa dampak

infiltrasi curah hujan dan durasinya berupa peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh, menurunkan angka FS. Peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh sebesar 5,88 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$  pada *Upper Soil Layer* dan 11,11 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$  pada *Lower Soil Layer* lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,069 atau 3,25 %.

- Parameter Kuat Geser Menurun

Pertama, dilakukan variasi hanya pada nilai kohesi, yaitu 18 kPa pada *Upper Soil Layer* dan 20 kPa pada *Lower Soil Layer*, tanpa mengubah geometri lereng, berat jenis, sudut geser, dan elevasi muka air tanah. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.4. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 1,982 yang berarti bahwa dampak curah hujan dan durasinya berupa penurunan nilai kohesi atau lekatan antarbutiran tanah, menurunkan angka FS. Penurunan nilai kohesi sebesar 5,88 % atau 2 kPa pada *Upper Soil Layer* dan 13,04 % atau 3 kPa pada *Lower Soil Layer* lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,143 atau 6,73 %.

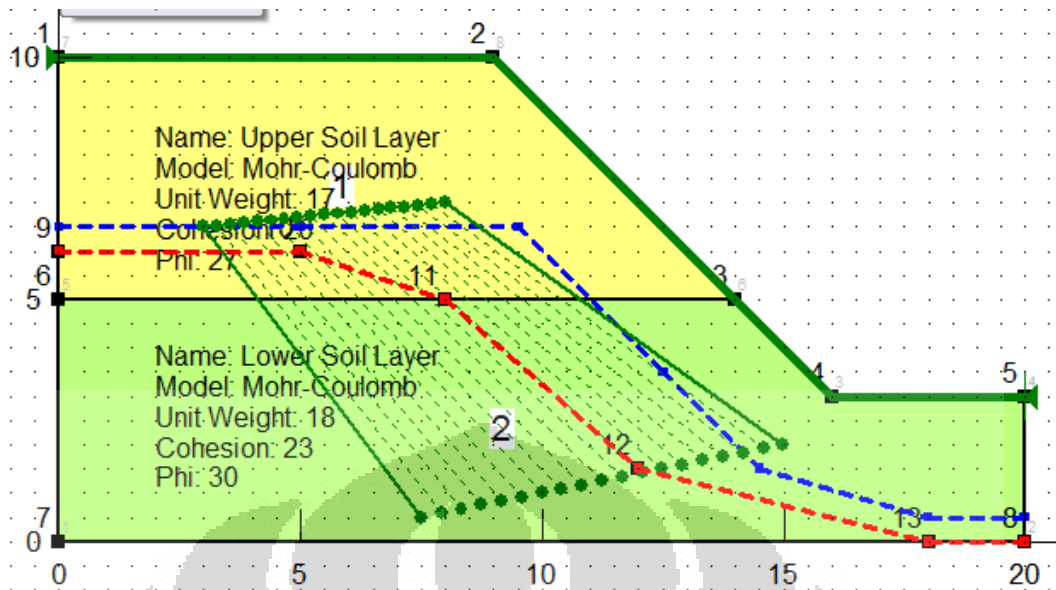
Kedua, dilakukan variasi hanya pada nilai sudut geser, yaitu  $25^0$  pada *Upper Soil Layer* dan  $26^0$  pada *Lower Soil Layer*, tanpa mengubah geometri lereng, berat jenis, kohesi, dan elevasi muka air tanah. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.5. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 2,000 yang berarti bahwa dampak curah hujan dan durasinya berupa penurunan nilai sudut geser atau sudut yang dibentuk antara kuat geser dengan tegangan normal, menurunkan angka FS. Penurunan nilai sudut geser sebesar 7,41 % atau  $2^0$  pada *Upper Soil Layer* dan 13,33 % atau  $4^0$  pada *Lower Soil Layer* lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,125 atau 5,88 %.

- Elevasi muka air tanah meningkat

Dilakukan variasi hanya pada elevasi muka air tanah, yaitu sebagai berikut:

X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5

tanpa mengubah geometri lereng, berat jenis, dan parameter kuat geser. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.6. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 2,040 yang berarti bahwa dampak infiltrasi curah hujan dan durasinya berupa peningkatan elevasi muka air tanah, menurunkan angka FS. Tinggi elevasi maksimum muka air tanah kondisi ini adalah 3,5 m dari kaki lereng. Sedangkan, tinggi elevasi maksimum muka air tanah kondisi eksisting seperti pada sumber data adalah 3,0 m dari kaki lereng. Hal ini sesuai dengan sumber data dari Penelitian Departemen Pekerjaan Umum yang menyatakan bahwa perubahan elevasi muka air tanah maksimum pada Februari 1993 di Citatah adalah sebesar 44 cm atau kira-kira 0,5 m. Jika dilakukan peningkatan elevasi muka air tanah pada setiap titik koordinat, nilai FS tidak berubah dari kondisi eksisting karena belum memotong permukaan gelincir. Oleh sebab itu, dilakukan peningkatan elevasi muka air tanah seperti tabel di atas dengan elevasi muka air tanah maksimum adalah  $Y = 6,5$  m. Peningkatan elevasi muka air tanah dilakukan hingga elevasinya memotong permukaan gelincir agar didapatkan penurunan FS. Peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 0,5 m lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,085 atau 4,00 %. Berikut ini adalah perubahan elevasi muka air tanahnya.



Gambar 5.1 Perubahan Elevasi Muka Air Tanah Lereng Citatah - Bandung, 1993

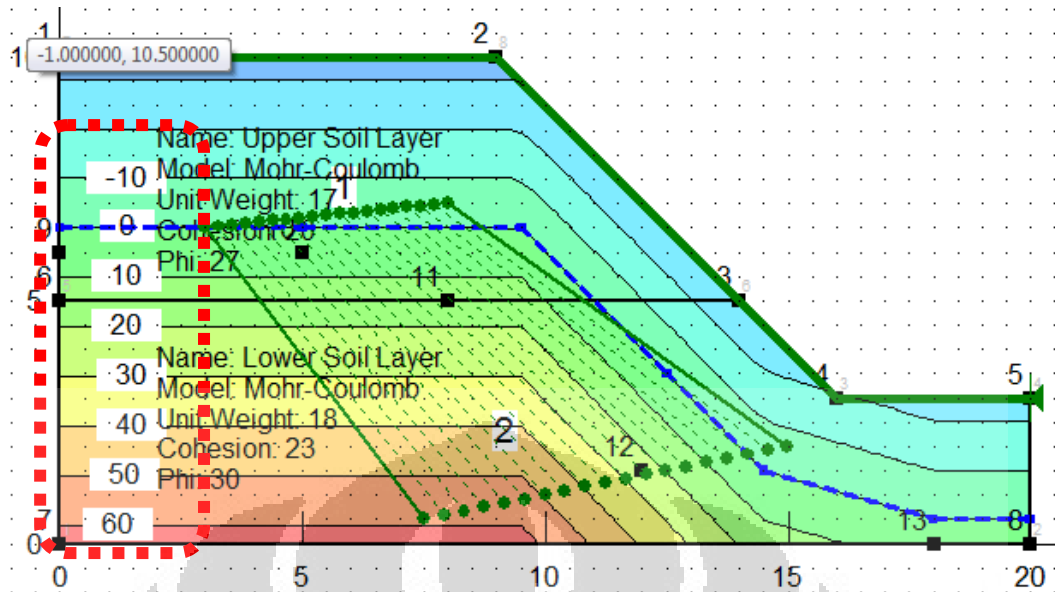
Keterangan :

Garis merah putus-putus : elevasi muka air tanah eksisting

Garis biru putus-putus : elevasi muka air tanah meningkat akibat curah hujan

Distribusi tekanan air-pori juga dapat ditinjau pada Gambar 4.6. Sejak koordinat  $X = 0$  m hingga 7,89 m, nilai tekanan air-pori = 0 kPa karena sepanjang koordinat itu, elevasi muka air tanah tidak menyentuh permukaan gelincir. Mulai pada koordinat  $X$  lebih dari 7,89 m, muncul nilai tekanan air-pori. Puncaknya di Sumbu- $X = 9,46$  m, yaitu tekanan air-pori = 13,55 kPa. Pada titik tersebut, elevasi muka air tanah paling jauh memotong permukaan gelincir. Nilai tekanan air-Pori kembali menjadi nol ketika  $X = 12,82$  m, yang berarti elevasi muka air tanah sudah tidak lagi menyentuh permukaan gelincir. Di bawah ini adalah kontur nilai Tekanan Air-Pori dalam satuan kPa berdasarkan pada kedalaman lereng di bawah elevasi muka air tanah.





Gambar 5.2 Kontur Tekanan Air-Pori

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat)  
Dilakukan variasi kombinasi pada nilai berat jenis dan elevasi muka air tanah, yaitu  $18 \text{ kN/m}^3$  pada *Upper Soil Layer*,  $20 \text{ kN/m}^3$  pada *Lower Soil Layer*, dan koordinat elevasi muka air tanah yang menjadi:

X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5

tanpa mengubah geometri lereng dan parameter kuat geser. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.7. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 1,983 yang berarti bahwa dampak infiltrasi curah hujan dan durasinya berupa peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh dan peningkatan elevasi muka air tanah, semakin menurunkan angka FS. Peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh sebesar 5,88 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$  pada *Upper Soil Layer* dan 11,11 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$  pada *Lower Soil Layer*, serta peningkatan elevasi muka air tanah setinggi maksimum 0,5 m lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,142 atau 6,68 %.

- Kombinasi (tanah menjadi jenuh, parameter kuat geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat)

Dilakukan variasi kombinasi pada nilai berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah, yaitu  $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 18 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 25^\circ$  pada *Upper Soil Layer*;  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 20 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 26^\circ$  pada *Lower Soil Layer*, dan koordinat elevasi muka air tanah yang menjadi:

X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5

tanpa mengubah geometri lereng. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.8. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 1,859 yang berarti bahwa dampak infiltrasi curah hujan dan durasinya berupa peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh, penurunan kohesi dan sudut geser, dan peningkatan elevasi muka air tanah, semakin menurunkan angka FS. Peningkatan berat jenis menjadi jenuh sebesar 5,88 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$ , penurunan kohesi sebesar 5,88 % atau 2 kPa, penurunan sudut geser sebesar 7,41 % atau  $2^\circ$  pada *Upper Soil Layer*; peningkatan berat jenis menjadi jenuh sebesar 11,11 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$ , penurunan kohesi sebesar 13,04 % atau 3 kPa, penurunan sudut geser sebesar 13,33 % atau  $4^\circ$  pada *Lower Soil Layer*, serta peningkatan elevasi muka air tanah setinggi maksimum 0,5 m lereng Citatah - Bandung, 1993, menurunkan FS-nya sebesar 0,266 atau 12,52 %.

Setelah dilakukan analisis numerik stabilitas lereng Citatah - Bandung, 1993 dengan berbagai kondisi seperti tersebut di atas, ternyata, stabilitas lereng Citatah - Bandung, 1993 masih dalam kategori aman. Walaupun berat jenis dijadikan jenuh, kohesi dan sudut geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat, FS-nya masih 1,859. Padahal, fakta di lapangan menyebutkan bahwa terjadi longsor di tempat dan waktu tersebut. Hal ini menandakan permodelan kondisi eksisting masih jauh dengan keadaan sebenarnya di lapangan. Selanjutnya, akan ditentukan berapakah nilai berat

jenis, kohesi, dan sudut geser untuk setiap lapisan tanah dan elevasi muka air tanah yang menghasilkan angka faktor keamanan mendekati 1,000 berikut ini:

- Kondisi kritis (FS mendekati 1,000)

Untuk mendapatkan angka faktor keamanan mendekati satu, dilakukan terus peningkatan berat jenis, penurunan kohesi dan sudut geser untuk setiap lapisan tanah, dan peningkatan elevasi muka air tanah, yang masih dalam batas kewajaran berdasarkan pada sumber data dan studi parametrik. Pengecekan stabilitas lereng dilakukan dengan analisis balik untuk memodelkan kondisi pada saat tepat akan longsor, sesuai dengan kondisi yang ada di lapangan. Sifat analisis ini adalah berulang agar analisis menjadi lebih akurat. Didapatkan variasi kombinasi pada nilai berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah, yaitu  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 12 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 25^\circ$  pada *Upper Soil Layer*;  $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ ,  $C = 11 \text{ kPa}$ ,  $\varphi = 20^\circ$  pada *Lower Soil Layer*, dan koordinat elevasi muka air tanah yang menjadi:

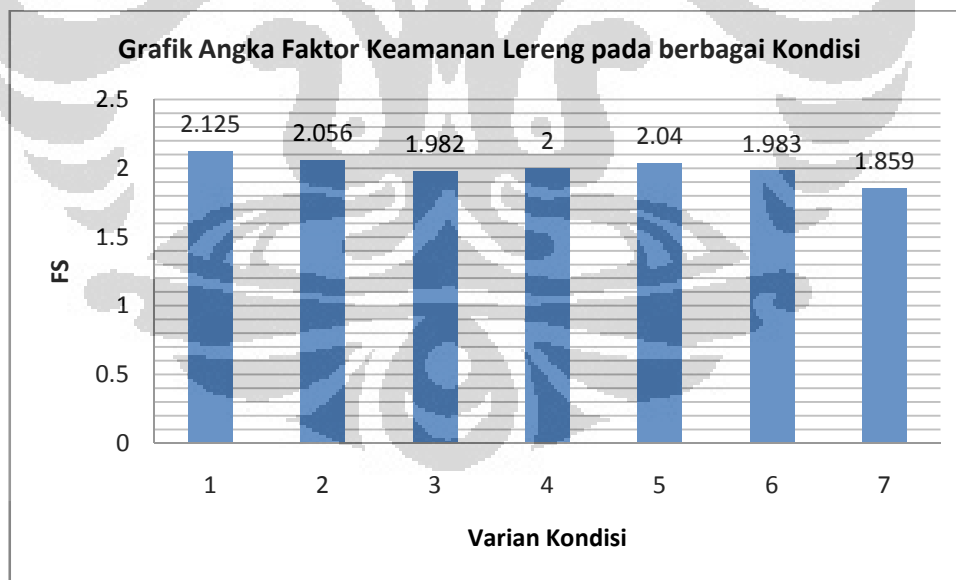
X (m)	0	10	17	20
Y (m)	7.5	7.5	1.5	1.5

tanpa mengubah geometri lereng. Hasil iterasi dengan SLOPE/W menghasilkan keluaran seperti terlihat pada Gambar 4.9. Didapat hasil iterasi berupa permukaan gelincir lereng yang ditandai dengan bagian hijau tua yang tidak memiliki perbedaan signifikan dibandingkan dengan permukaan gelincir pada kondisi eksisting. Nilai faktor keamanan (FS) kondisi ini adalah 0,979 yang berarti bahwa dampak infiltrasi curah hujan (93 mm/hari) dan durasinya berupa peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh sebesar 17,65 % atau  $3 \text{ kN/m}^3$ , penurunan kohesi sebesar 40 % atau 8 kPa, penurunan sudut geser sebesar 7,41 % atau  $2^\circ$  pada *Upper Soil Layer*; dan peningkatan nilai berat jenis menjadi jenuh sebesar 11,11 % atau  $2 \text{ kN/m}^3$ , penurunan kohesi sebesar 52,17 % atau 12 kPa, penurunan sudut geser sebesar 33,33 % atau  $10^\circ$  pada *Upper Soil Layer*; serta peningkatan elevasi muka air tanah setinggi maksimum 1,5 m, menghasilkan angka FS yang mendekati satu, tepatnya 0,979. Curah hujan di atas nilai yang dapat menyebabkan perubahan parameter-parameter tersebut berpotensi menyebabkan longsor.

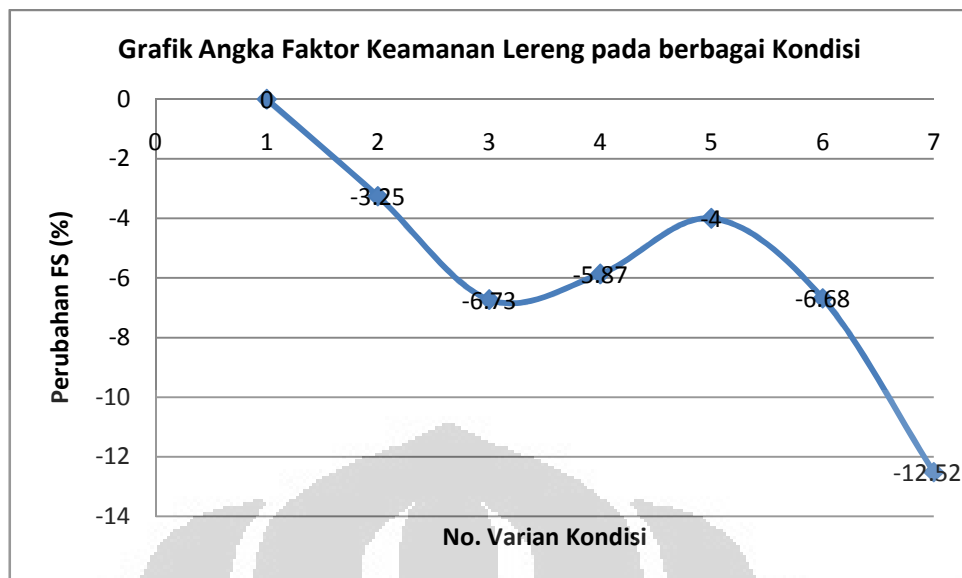
Berikut ini adalah tabulasi rekapitulasi analisis kasus kelongsoran Citatah - Bandung, 1993 dengan berbagai varian dan analisis balik; grafik angka faktor keamanan lereng dengan berbagai kondisi, beserta persentase perubahan tiap parameter terhadap persentase penurunan angka faktor keamanan:

No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2	Koordinat Elevasi MAT						
			X (m)	0	5	8	12	18	20
1. Eksisting (2,125)	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $C = 20 \text{ kPa}$ $\phi = 27^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 23 \text{ kPa}$ $\phi = 30^\circ$	Y (m)	6	6	5	1.5	0	0
2. Tanah menjadi jenuh (2,056)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$							
3. Kohesi menurun (1,982)	$C = 18 \text{ kPa}$	$C = 20 \text{ kPa}$							
4. Phi menurun (2,000)	$\phi = 25^\circ$	$\phi = 26^\circ$							
5. Elevasi MAT meningkat (2,040)			X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
			Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5
6. Kombinasi 2 & 5 (1,983)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
			Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (1,859)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 18 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 20 \text{ kPa}$ $\phi = 26^\circ$	X (m)	0	5	9.5	12.5	18	20
			Y (m)	6.5	6.5	6.5	3.5	0.5	0.5
8. FS mendekati satu (0,979)	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 12 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 11 \text{ kPa}$ $\phi = 20^\circ$	X (m)	0	10	17	20		
			Y (m)	7.5	7.5	1.5	1.5		

Tabel 5.1 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Citatah - Bandung, 1993



Grafik 5.1 Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Citatah - Bandung, 1993)



Grafik 5.2 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Citatah - Bandung, 1993)

Berdasarkan pada dua grafik di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin buruk kondisi lereng, akan semakin menurunkan angka faktor keamanan lereng. Nilai FS untuk kondisi eksisting (1) adalah 2,125. Nilai FS untuk kondisi tanah menjadi jenuh (2) adalah 2,056, berkurang 3,25 %. Nilai FS untuk kondisi kohesi menurun memiliki (3) adalah 1,982, berkurang 6,73 %. Nilai FS untuk kondisi sudut geser menurun (4) adalah 2,000, berkurang 5,87 %. Nilai FS untuk kondisi elevasi muka air tanah meningkat (5) adalah 2,040, berkurang 4 %. Nilai FS untuk kondisi tanah menjadi jenuh dan elevasi muka air tanah meningkat (6) adalah 1,983, berkurang 6,68 %. Nilai FS untuk kondisi tanah menjadi jenuh, kohesi menurun, sudut geser menurun, dan elevasi muka air tanah meningkat (7) adalah 1,859, berkurang 12,52 %.

Berdasarkan pada permodelan, diketahui bahwa luas area *Upper Soil Layer* adalah 57,5 m<sup>2</sup> (38,98 % dari luas area lereng), sedangkan luas area *Lower Soil Layer* adalah 90 m<sup>2</sup> (61,02 % dari luas area lereng). Hal itu dapat berarti bahwa *Upper Soil Layer* memiliki pengaruh 38, 98 %, sedangkan *Lower Soil Layer* memiliki pengaruh 61,02 %. Sementara itu, elevasi muka air tanah maksimum adalah 3 m dari kaki lereng. Secara umum (ditinjau dari keseluruhan bagian lereng), akan ditinjau pengaruh perubahan berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah.

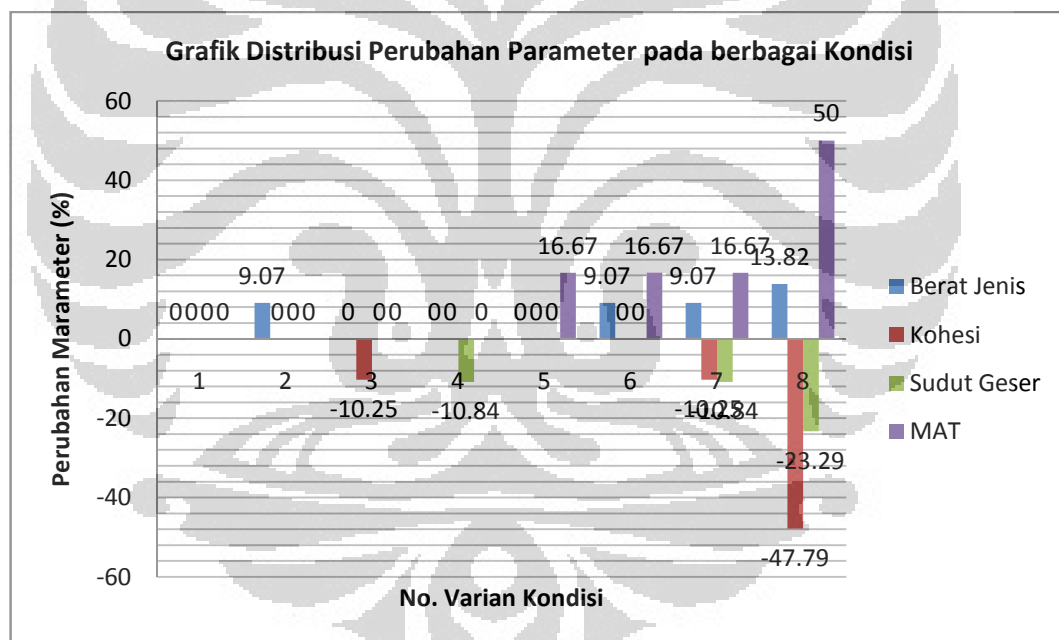
Pada kondisi tanah menjadi jenuh, terjadi kenaikan nilai berat jenis sebesar 5,88 % pada *Upper Soil Layer* dan 11,11 % pada *Lower Soil Layer*. Hitungan peningkatan berat jenis dapat digeneralisasi menjadi:  $[(38,98 \% \times 5,88 \%) + (61,02 \% \times 11,11 \%) ] \times 100 \% = 9,07 \%$ . Artinya, penurunan FS pada Kondisi 2 sebesar 3,25 % dipengaruhi oleh peningkatan berat jenis pada lereng sebesar 9,07 %. Dengan perhitungan serupa pada kohesi dan sudut geser, didapatkan bahwa penurunan FS pada Kondisi 3 sebesar 6,73 % dipengaruhi oleh penurunan kohesi pada lereng sebesar 10,25 %; dan penurunan FS pada Kondisi 4 sebesar 5,88 % dipengaruhi oleh penurunan sudut geser sebesar 10,84 %. Kondisi elevasi muka air tanah yang meningkat maksimum 0,5 m, menandakan terjadi peningkatan elevasi muka air tanah sebesar  $\left(\frac{3,5\ m-3\ m}{3\ m}\right) \times 100\% = 16,67\%$ . Artinya, penurunan FS pada Kondisi 5 sebesar 4,000 % dipengaruhi oleh peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 16,67 %.

Pada kondisi kritis dengan FS mendekati satu (0,979), terjadi perubahan parameter pada *Upper Soil Layer* yaitu: berat jenis meningkat 17,65 % menjadi  $20\ kN/m^3$ ; kohesi menurun 40 % menjadi 12 kPa; dan sudut geser menurun 7,41 % menjadi  $25^0$ ; sedangkan pada *Lower Soil Layer*, terjadi perubahan yaitu: berat jenis meningkat 11,11 % menjadi  $20\ kN/m^3$ ; kohesi menurun 52,17 % menjadi 11 kPa; dan sudut geser menurun 33,33 % menjadi  $20^0$ . Elevasi muka air tanah yang meningkat maksimum 1,5 m, menandakan terjadi peningkatan elevasi muka air tanah sebesar  $\left(\frac{4,5\ m-3\ m}{3\ m}\right) \times 100\% = 50\%$ . Artinya, penurunan FS pada kondisi kritis dipengaruhi oleh peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 50 % dari kaki lereng.

Dengan mempertimbangkan luas area tiap lapisan tanah, diketahui bahwa pada kondisi kritis (FS = 0,979), terjadi penurunan FS sebesar 54,12 % dari kondisi eksisting, yang dipengaruhi oleh peningkatan berat jenis sebesar 13,82 % ; penurunan kohesi sebesar 47,79 %, penurunan sudut geser sebesar 23,29 %, dan peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 50 % dari kaki lereng.

Distribusi perubahan berat jenis, kohesi, sudut geser, dan elevasi muka air tanah dalam satuan persen pada berbagai kondisi pada permodelan

Kelongsoran Citatah - Bandung, 1993, ditunjukkan pada Grafik 5.3. Pada kondisi eksisting (1), tidak ada perubahan pada parameter tanah. Pada kondisi tanah menjadi jenuh (2) dengan perubahan FS sebesar 3,25 %, terjadi peningkatan berat jenis sebesar 9,07 %. Pada kondisi kohesi menurun (3) dengan perubahan FS sebesar 6,73 %, terjadi penurunan kohesi sebesar 10,25 %. Pada kondisi sudut geser menurun (4) dengan perubahan FS = 5,87 %, terjadi penurunan nilai sudut geser sebesar 10,84 %. Pada kondisi elevasi muka air tanah meningkat (5) dengan perubahan FS = 4 %, terjadi peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 16,67 %. Pada kondisi kritis (8) dengan perubahan FS = 54,12 %, terjadi peningkatan berat jenis sebesar 13,82 %, penurunan kohesi sebesar 47,79 %, penurunan sudut geser sebesar 23,29 %, dan peningkatan elevasi muka air tanah sebesar 50 % dari kaki lereng.

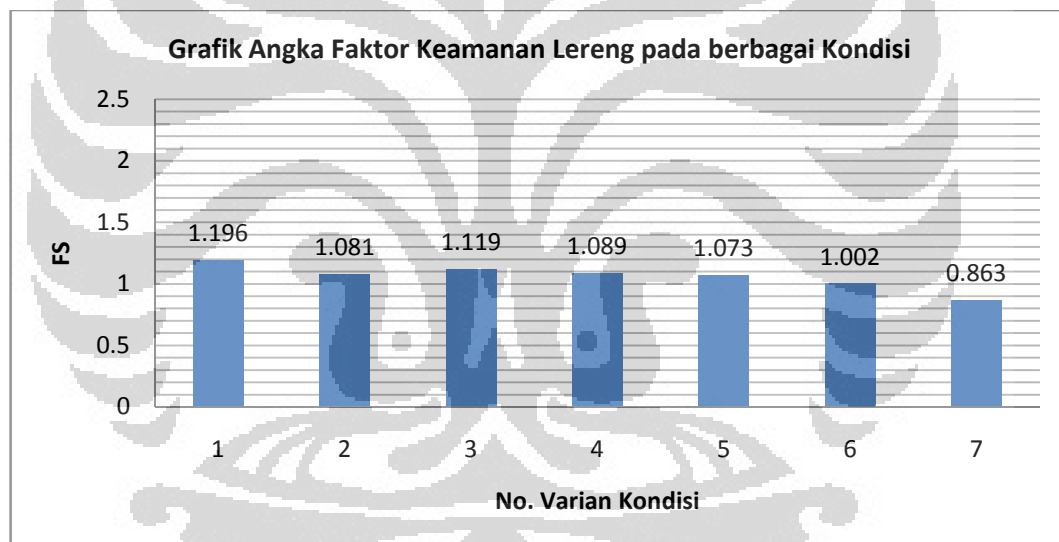


Grafik 5.3 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng

## 5.2 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Kulon Progo, 2003

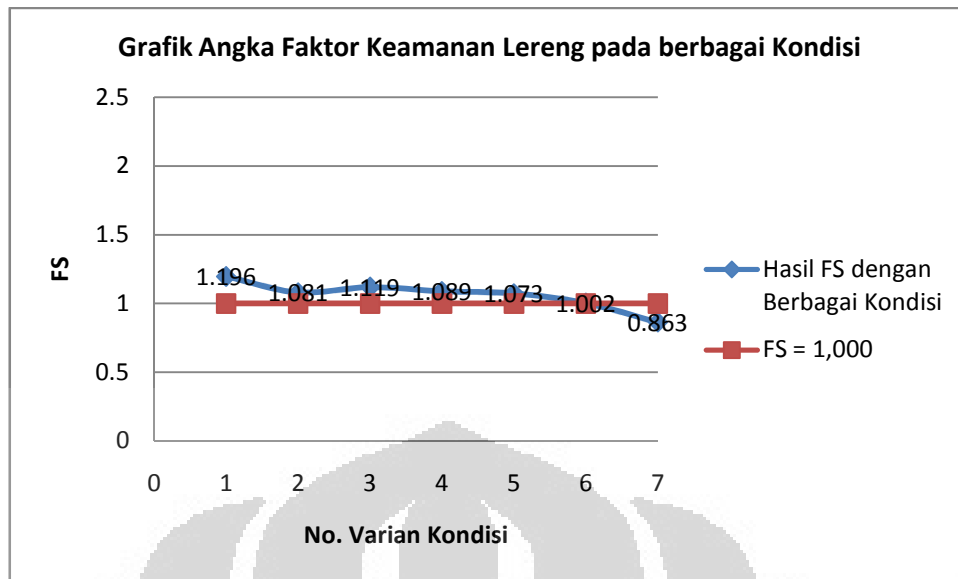
No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Koordinat Elevasi MAT										
1. Eksisting (1,196)	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $C = 20 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$	<table border="1"> <tr> <td>X(m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>19</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Y(m)</td> <td>9</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>1</td> </tr> </table>	X(m)	0	8	19	26	Y(m)	9	6	2	1
X(m)	0	8	19	26								
Y(m)	9	6	2	1								
2. Tanah menjadi jenuh (1,081)	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$											
3. Kohesi menurun (1,119)	$C = 19 \text{ kPa}$											
4. Phi menurun (1,089)	$\phi = 20^\circ$											
5. Elevasi MAT meningkat (1,073)		<table border="1"> <tr> <td>X(m)</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>15</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Y(m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> </table>	X(m)	0	11	15	26	Y(m)	10	9	4	3
X(m)	0	11	15	26								
Y(m)	10	9	4	3								
6. Kombinasi 2 & 5 (1,002)	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$	<table border="1"> <tr> <td>X(m)</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>15</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Y(m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> </table>	X(m)	0	11	15	26	Y(m)	10	9	4	3
X(m)	0	11	15	26								
Y(m)	10	9	4	3								
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (0,863)	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 19 \text{ kPa}$ $\phi = 20^\circ$	<table border="1"> <tr> <td>X(m)</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>15</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Y(m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> </table>	X(m)	0	11	15	26	Y(m)	10	9	4	3
X(m)	0	11	15	26								
Y(m)	10	9	4	3								
8. FS mendekati satu (0,987)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $C = 21 \text{ kPa}$ $\phi = 21^\circ$	<table border="1"> <tr> <td>X(m)</td> <td>0</td> <td>11</td> <td>15</td> <td>26</td> </tr> <tr> <td>Y(m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>4</td> <td>3</td> </tr> </table>	X(m)	0	11	15	26	Y(m)	10	9	4	3
X(m)	0	11	15	26								
Y(m)	10	9	4	3								

Tabel 5.2 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Kulon Progo, 2003

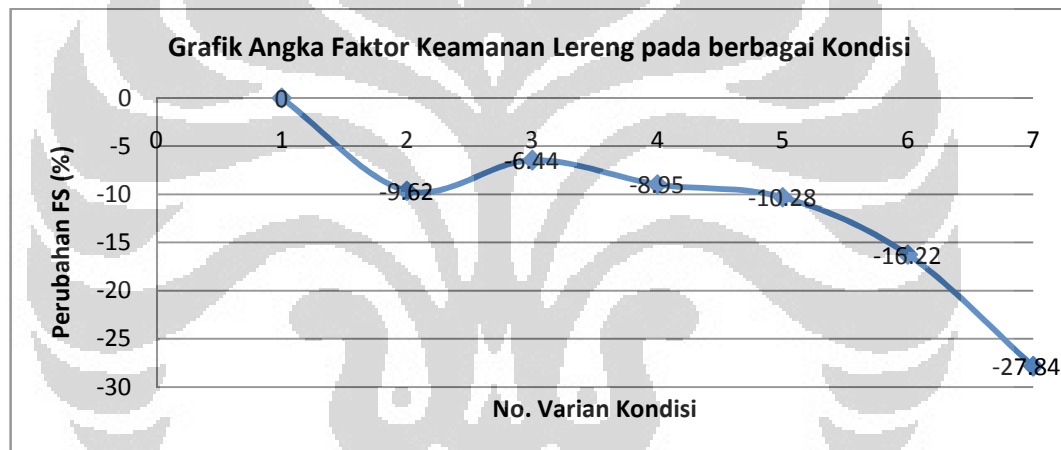


Grafik 5.4 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003)

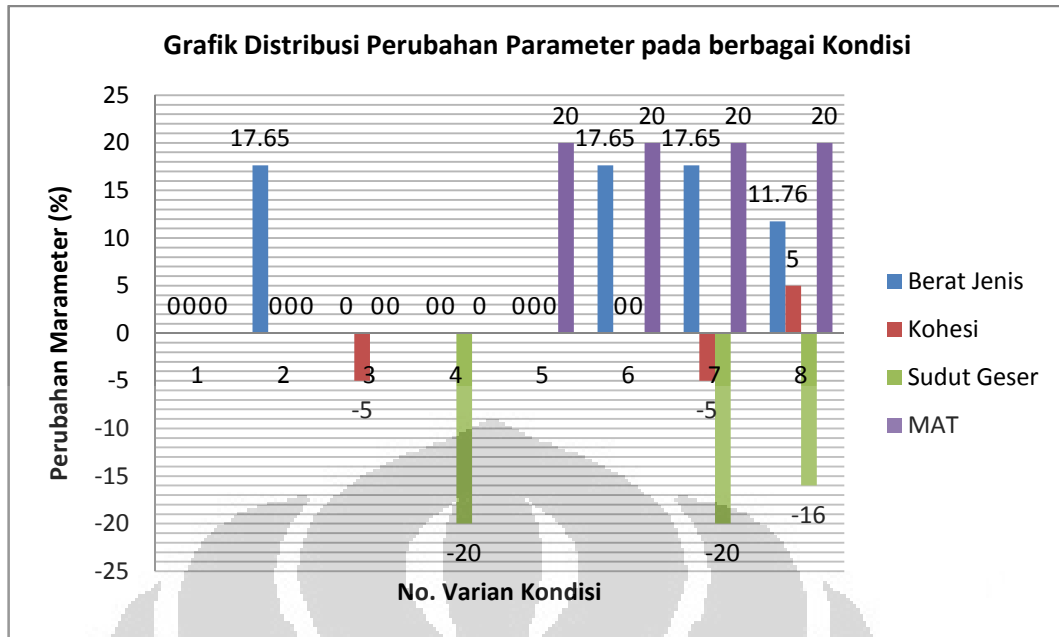




Grafik 5.4 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003)



Grafik 5.5 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003)



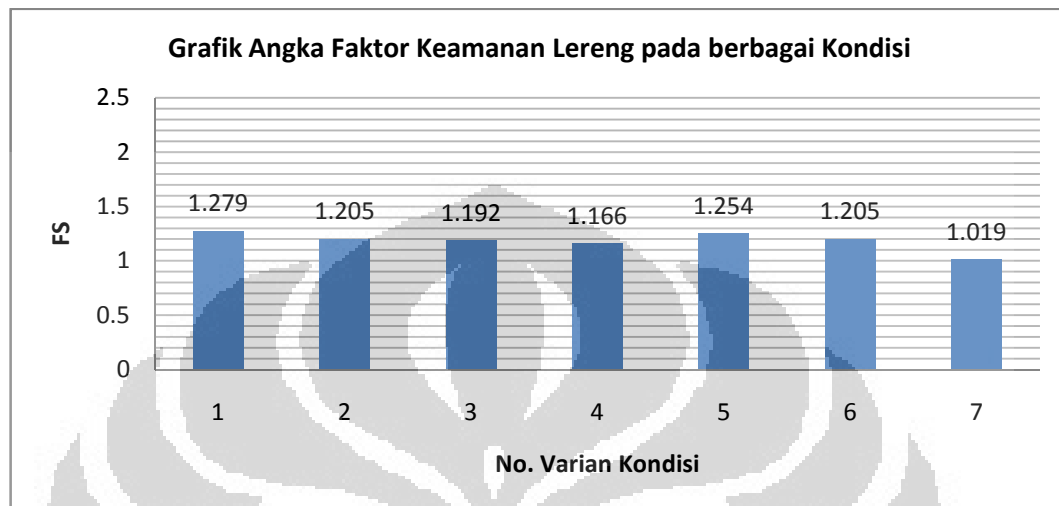
Grafik 5.6 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Kulon Progo, 2003)

### 5.3 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Jember, 2006

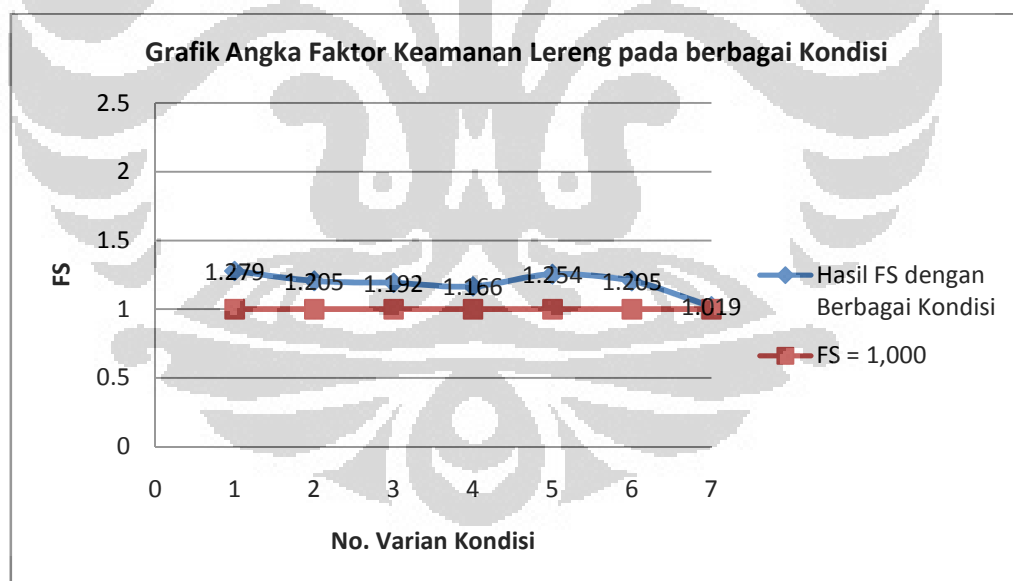
No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3	Lapisan 4																	
1. Eksisting (1,279)	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $C = 21 \text{ kPa}$ $\phi = 29^\circ$	$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $C = 24 \text{ kPa}$ $\phi = 34^\circ$	$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $C = 27 \text{ kPa}$ $\phi = 33^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 1 \text{ kPa}$ $\phi = 35^\circ$																	
	Koordinat Elevasi MAT																				
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>8</td><td>15</td><td>21</td><td>26</td><td>35</td><td>40</td></tr> <tr><td>Y (m)</td><td>16</td><td>16</td><td>14</td><td>8</td><td>5</td><td>4</td><td>4</td></tr> </table>		X (m)	0	8	15	21	26	35	40	Y (m)	16	16	14	8	5	4	4		
X (m)	0	8	15	21	26	35	40														
Y (m)	16	16	14	8	5	4	4														
2. Tanah menjadi jenuh (1,205)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$																	
3. Kohesi menurun (1,192)	$C = 18 \text{ kPa}$	$C = 21 \text{ kPa}$	$C = 24 \text{ kPa}$																		
4. Phi menurun (1,166)	$\phi = 24^\circ$	$\phi = 29^\circ$	$\phi = 28^\circ$	$\phi = 30^\circ$																	
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,254)	Koordinat Elevasi MAT																				
			<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>8</td><td>15</td><td>21</td><td>26</td><td>35</td><td>40</td></tr> <tr><td>Y (m)</td><td>18</td><td>18</td><td>17</td><td>11</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td></tr> </table>		X (m)	0	8	15	21	26	35	40	Y (m)	18	18	17	11	7	6	6	
X (m)	0	8	15	21	26	35	40														
Y (m)	18	18	17	11	7	6	6														
6. Kombinasi 2 & 5 (1,205)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$																	
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>8</td><td>15</td><td>21</td><td>26</td><td>35</td><td>40</td></tr> <tr><td>Y (m)</td><td>18</td><td>18</td><td>17</td><td>11</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td></tr> </table>		X (m)	0	8	15	21	26	35	40	Y (m)	18	18	17	11	7	6	6		
X (m)	0	8	15	21	26	35	40														
Y (m)	18	18	17	11	7	6	6														
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (1,019)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $C = 18 \text{ kPa}$ $\phi = 24^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 21 \text{ kPa}$ $\phi = 29^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 24 \text{ kPa}$ $\phi = 28^\circ$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $\phi = 30^\circ$																	
		<table border="1" style="margin-left: auto; margin-right: auto;"> <tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>8</td><td>15</td><td>21</td><td>26</td><td>35</td><td>40</td></tr> <tr><td>Y (m)</td><td>18</td><td>18</td><td>17</td><td>11</td><td>7</td><td>6</td><td>6</td></tr> </table>		X (m)	0	8	15	21	26	35	40	Y (m)	18	18	17	11	7	6	6		
X (m)	0	8	15	21	26	35	40														
Y (m)	18	18	17	11	7	6	6														
8. FS mendekati satu	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $C = 17 \text{ kPa}$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 20 \text{ kPa}$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 23 \text{ kPa}$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 1 \text{ kPa}$																	

(0,995)	$\varphi = 24^\circ$	$\varphi = 29^\circ$	$\varphi = 28^\circ$	$\varphi = 30^\circ$			
	Koordinat Elevasi MAT						
	X (m)	0	8	15	21	26	35
Y (m)	18	18	17	11	7	6	6

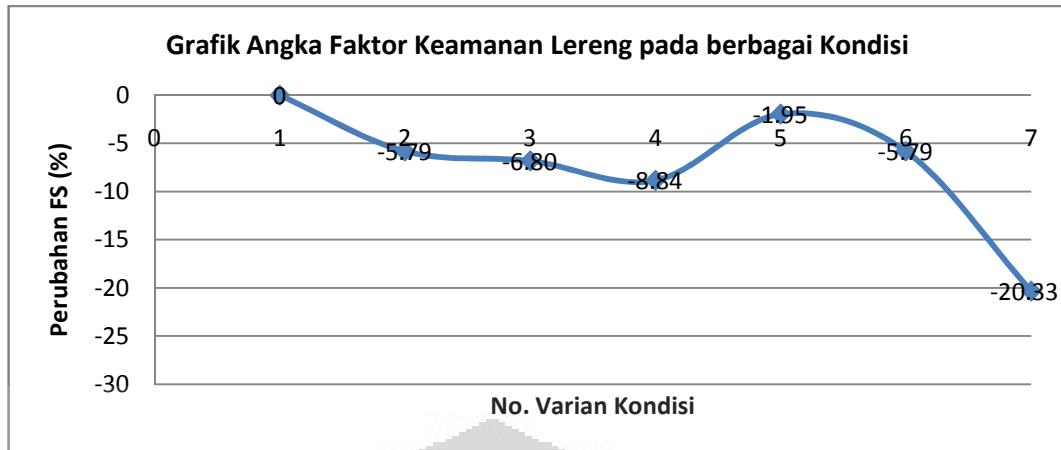
Tabel 5.3 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Jember, 2006



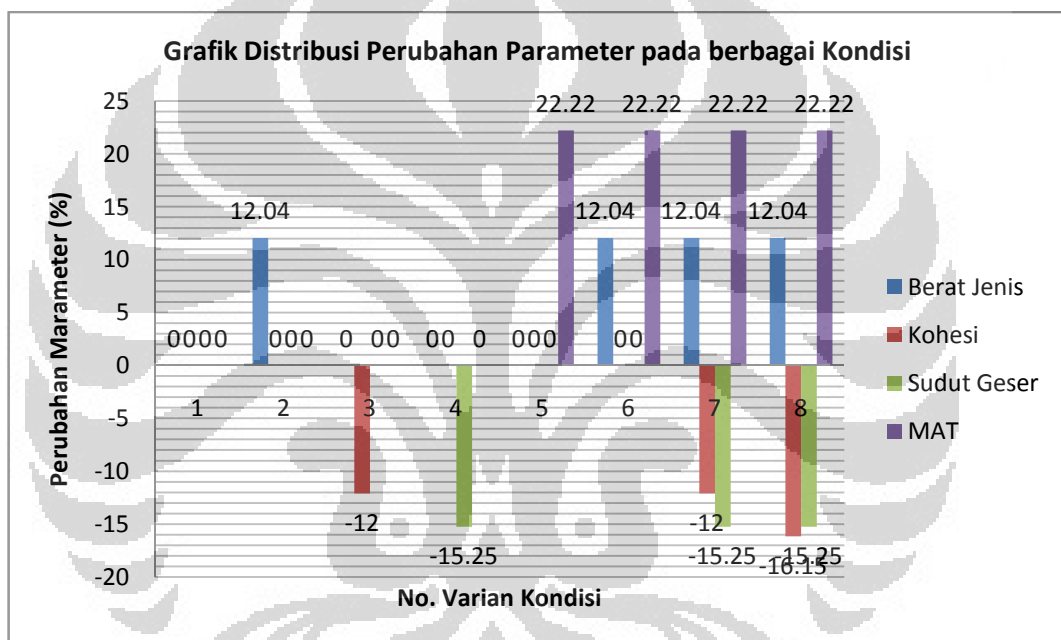
Grafik 5.7 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006)



Grafik 5.7 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006)



Grafik 5.8 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006)

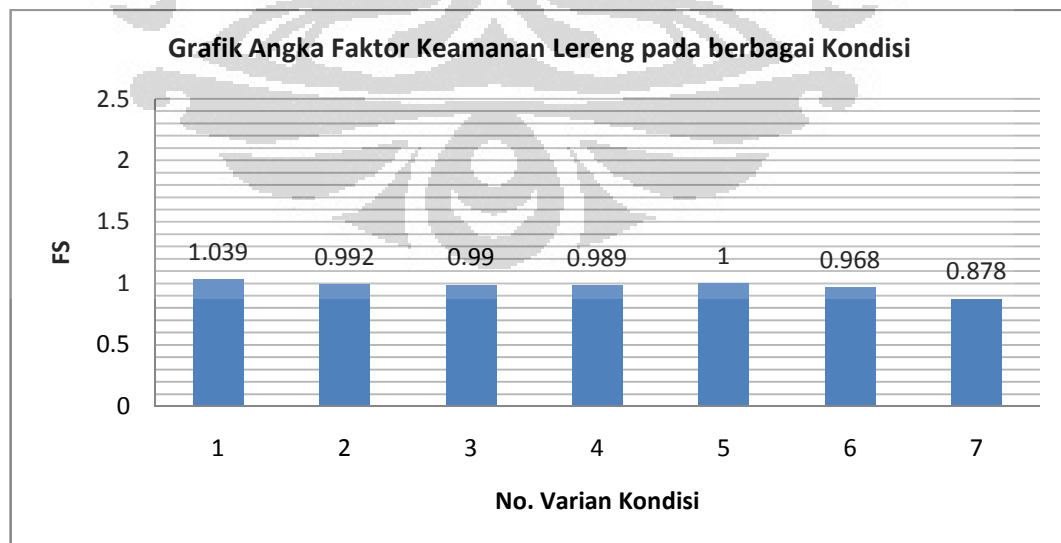


Grafik 5.9 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Jember, 2006)

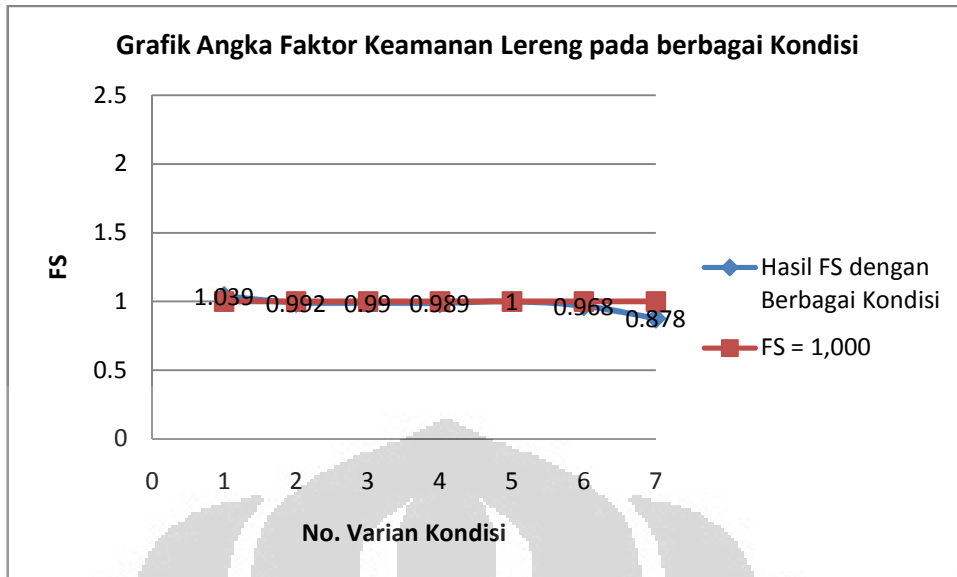
### 5.4 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Karanganyar, 2007

No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2	Lapisan 3																				
1. Eksisting (1,039)	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $C = 27 \text{ kPa}$ $\varphi = 24^\circ$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $C = 30 \text{ kPa}$ $\varphi = 27^\circ$	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 26 \text{ kPa}$ $\varphi = 28^\circ$																				
	Koordinat Elevasi MAT																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>50</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>21</td> <td>21</td> <td>20</td> <td>17</td> <td>12</td> <td>8</td> <td>2</td> <td>0</td> <td>0</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	30	37	46	50	53	Y (m)	21	21	20	17	12	8	2	0	0
X (m)	0	8	15	22	30	37	46	50	53														
Y (m)	21	21	20	17	12	8	2	0	0														
2. Tanah menjadi jenuh (0,992)	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18,3 \text{ kN/m}^3$																				
3. Kohesi menurun (0,990)	$C = 24 \text{ kPa}$	$C = 27 \text{ kPa}$	$C = 23 \text{ kPa}$																				
4. Phi menurun (0,989)	$\varphi = 22^\circ$	$\varphi = 25^\circ$	$\varphi = 26^\circ$																				
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,000)	Koordinat Elevasi MAT																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>51</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>22</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53	Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2
	X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53													
Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2														
<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>51</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>22</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53	Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2	
X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53														
Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2														
6. Kombinasi 2 & 5 (0,968)	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18,3 \text{ kN/m}^3$																				
	Koordinat Elevasi MAT																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>51</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>22</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53	Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2
X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53														
Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2														
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (0,878)	$\gamma = 18,5 \text{ kN/m}^3$ $C = 24 \text{ kPa}$ $\varphi = 22^\circ$	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $C = 27 \text{ kPa}$ $\varphi = 25^\circ$	$\gamma = 18,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 23 \text{ kPa}$ $\varphi = 26^\circ$																				
	Koordinat Elevasi MAT																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>51</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>23</td> <td>23</td> <td>22</td> <td>19</td> <td>14</td> <td>10</td> <td>4</td> <td>2</td> <td>2</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53	Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2
X (m)	0	8	15	22	30	37	46	51	53														
Y (m)	23	23	22	19	14	10	4	2	2														
8. FS mendekati satu (0,995)	$\gamma = 17,5 \text{ kN/m}^3$ $C = 24,6 \text{ kPa}$ $\varphi = 24^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 27,7 \text{ kPa}$ $\varphi = 28^\circ$	$\gamma = 17,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 23,6 \text{ kPa}$ $\varphi = 29^\circ$																				
	Koordinat Elevasi MAT																						
	<table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse;"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>8</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>37</td> <td>46</td> <td>50</td> <td>53</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>22</td> <td>22</td> <td>21</td> <td>18</td> <td>9</td> <td>3</td> <td>1</td> <td>1</td> </tr> </table>			X (m)	0	8	15	22	37	46	50	53	Y (m)	22	22	21	18	9	3	1	1		
X (m)	0	8	15	22	37	46	50	53															
Y (m)	22	22	21	18	9	3	1	1															

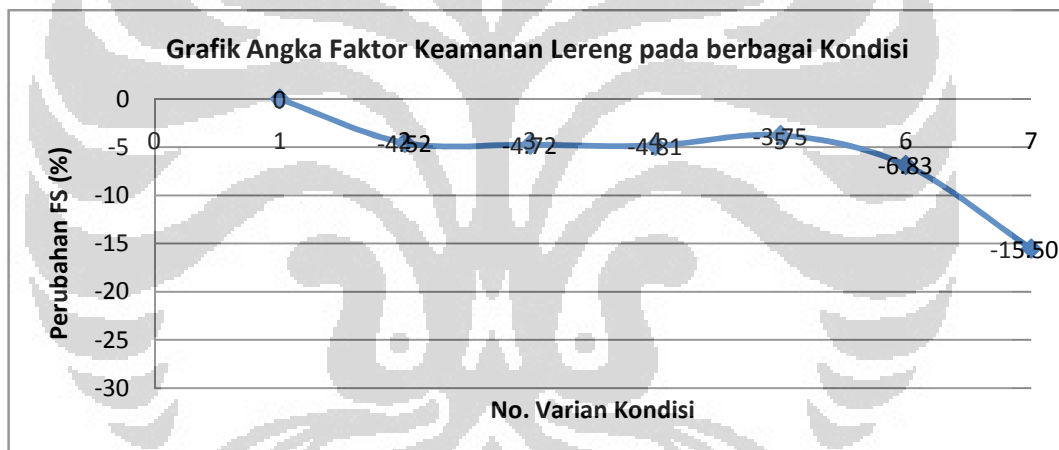
Tabel 5.4 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Karanganyar, 2007



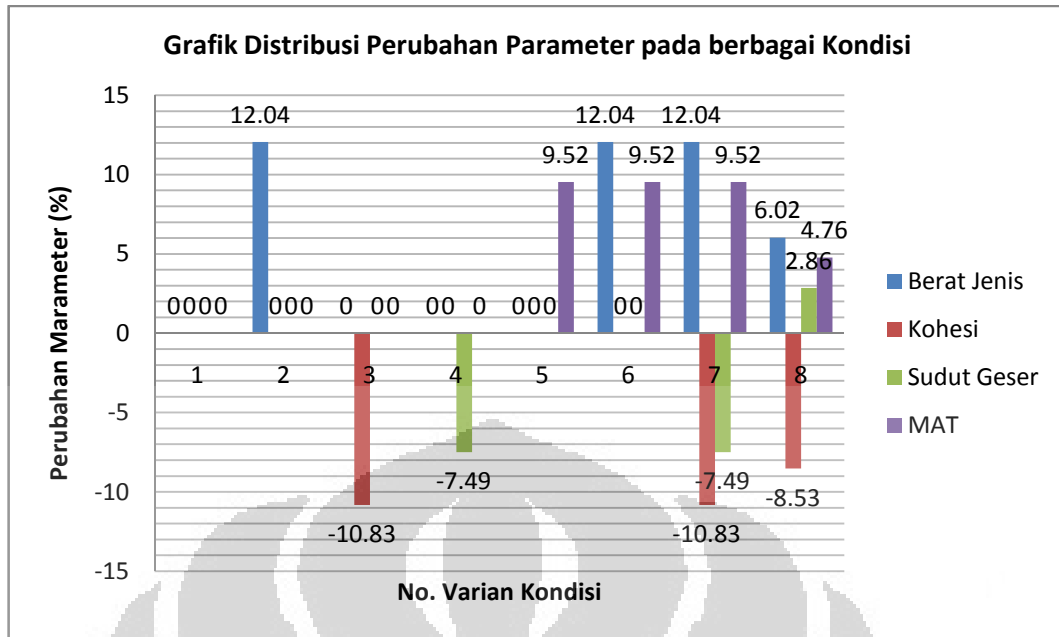
Grafik 5.10 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007)



Grafik 5.10 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007)



Grafik 5.11 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007)



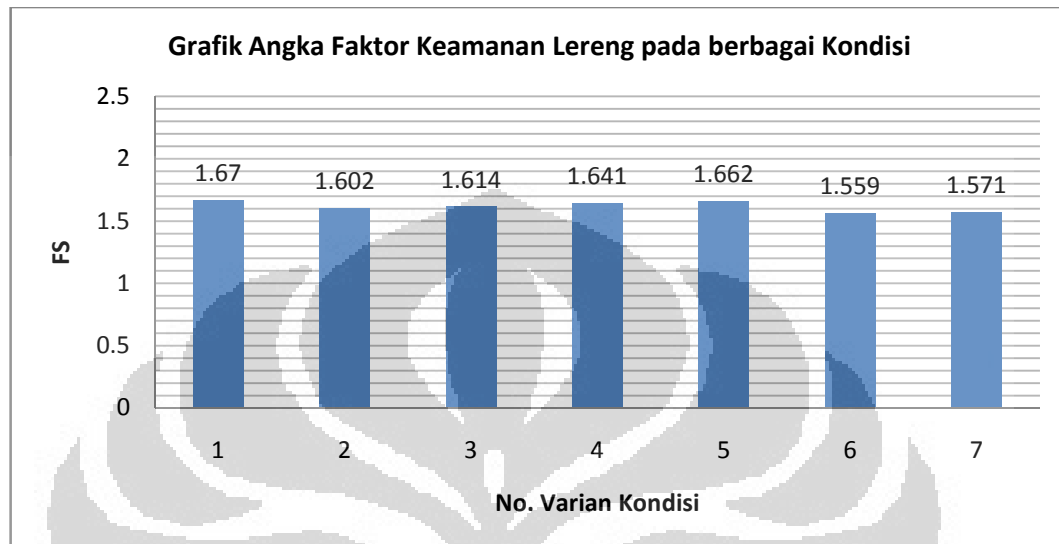
Grafik 5.12 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Karanganyar, 2007)

### 5.5 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Cianjur, 2008

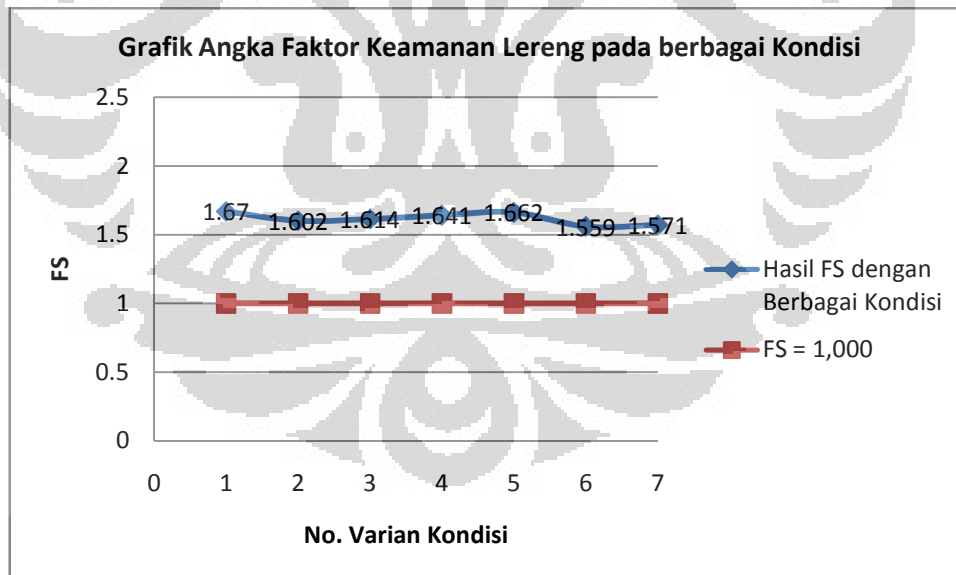
No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2												
1. Eksisting (1,670)	$\gamma = 17,2 \text{ kN/m}^3$ $C = 18 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$	$\gamma = 17,9 \text{ kN/m}^3$ $C = 19,5 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$												
	Koordinat Elevasi MAT													
	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>11.5</td><td>15</td><td>23</td><td>25</td></tr><tr><td>Y (m)</td><td>5</td><td>5</td><td>3.5</td><td>1.5</td><td>1.5</td></tr></table>	X (m)	0	11.5	15	23	25	Y (m)	5	5	3.5	1.5	1.5	
X (m)	0	11.5	15	23	25									
Y (m)	5	5	3.5	1.5	1.5									
2. Tanah menjadi jenuh (1,602)	$\gamma = 18,4 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19,1 \text{ kN/m}^3$												
3. Kohesi menurun (1,614)	$C = 17 \text{ kPa}$	$C = 18,5 \text{ kPa}$												
4. Phi menurun (1,641)	$\phi = 24^\circ$	$\phi = 22^\circ$												
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,662)	Koordinat Elevasi MAT													
	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>12</td><td>15</td><td>23</td><td>25</td></tr><tr><td>Y (m)</td><td>6</td><td>6</td><td>3.5</td><td>2.5</td><td>2.5</td></tr></table>	X (m)	0	12	15	23	25	Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5	
X (m)	0	12	15	23	25									
Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5									
6. Kombinasi 2 & 5 (1,559)	$\gamma = 18,4 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19,1 \text{ kN/m}^3$												
	Koordinat Elevasi MAT													
	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>12</td><td>15</td><td>23</td><td>25</td></tr><tr><td>Y (m)</td><td>6</td><td>6</td><td>3.5</td><td>2.5</td><td>2.5</td></tr></table>	X (m)	0	12	15	23	25	Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5	
X (m)	0	12	15	23	25									
Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5									
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (1,571)	$\gamma = 18,4 \text{ kN/m}^3$ $C = 17 \text{ kPa}$ $\phi = 24^\circ$	$\gamma = 19,1 \text{ kN/m}^3$ $C = 18,5 \text{ kPa}$ $\phi = 22^\circ$												
	Koordinat Elevasi MAT													
	<table border="1" style="display: inline-table;"><tr><td>X (m)</td><td>0</td><td>12</td><td>15</td><td>23</td><td>25</td></tr><tr><td>Y (m)</td><td>6</td><td>6</td><td>3.5</td><td>2.5</td><td>2.5</td></tr></table>	X (m)	0	12	15	23	25	Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5	
X (m)	0	12	15	23	25									
Y (m)	6	6	3.5	2.5	2.5									
8. FS mendekati satu	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 12 \text{ kPa}$	$\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$ $C = 12 \text{ kPa}$												

(1,000)	$\phi = 18^\circ$		$\phi = 18,5^\circ$				
	Koordinat Elevasi MAT						
	X (m)	0	10	13	15	17.5	20.5
Y (m)	6.5	6.5	6	4.5	3	2	2

Tabel 5.5 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Cianjur, 2008

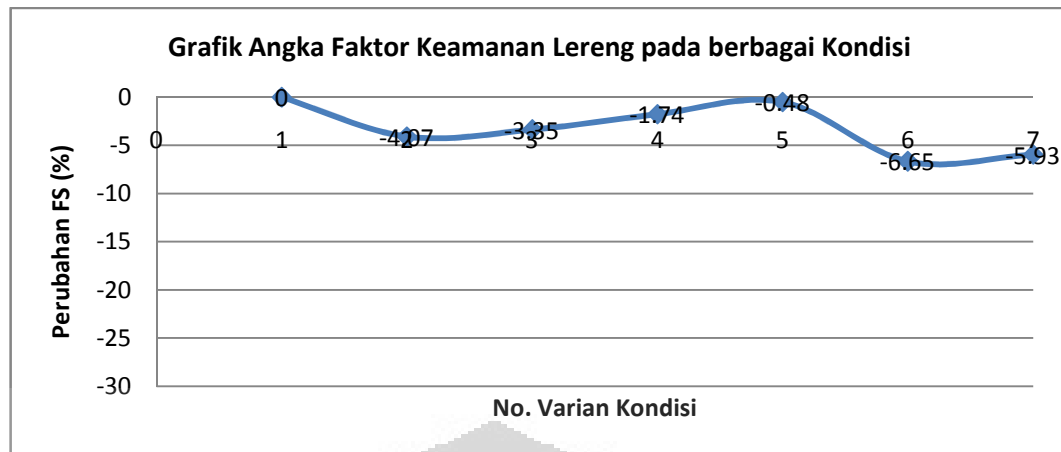


Grafik 5.13 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008)

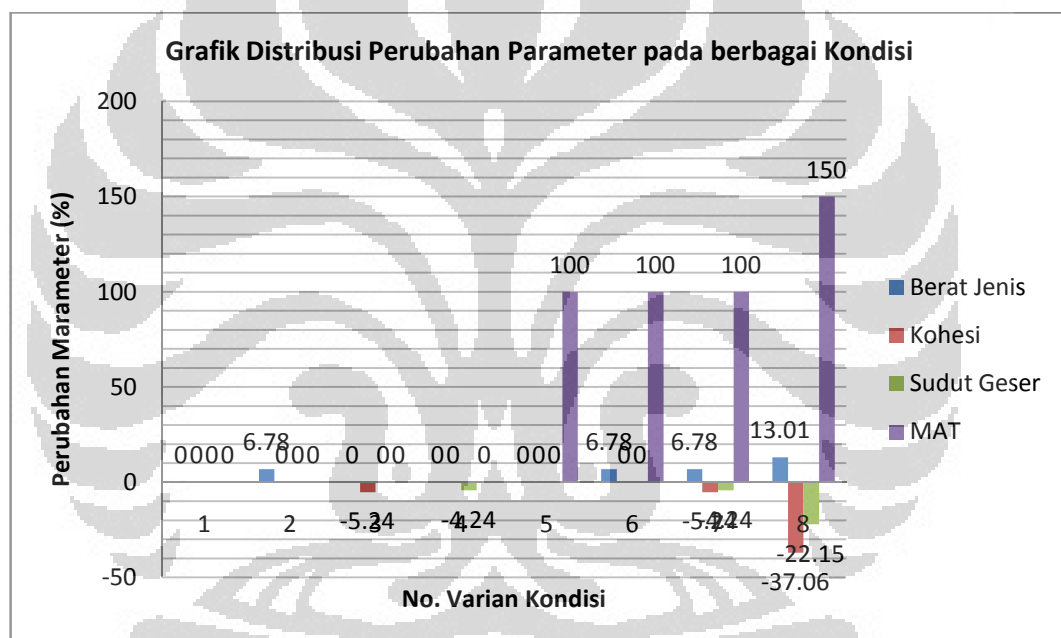


Grafik 5.13 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008)





Grafik 5.14 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008)



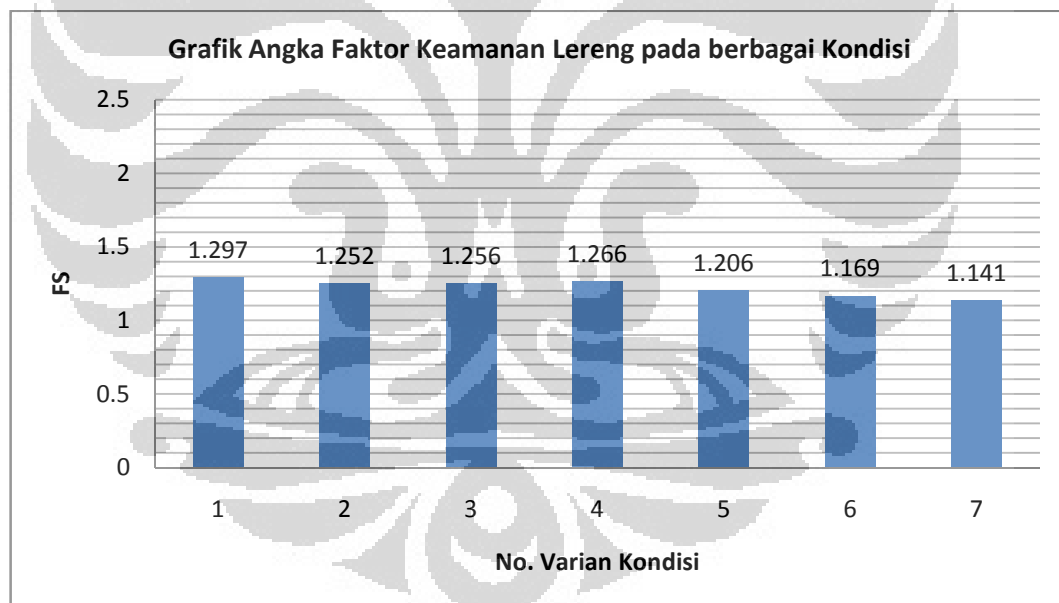
Grafik 5.15 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Cianjur, 2008)

### 5.6 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Bogor, 2009

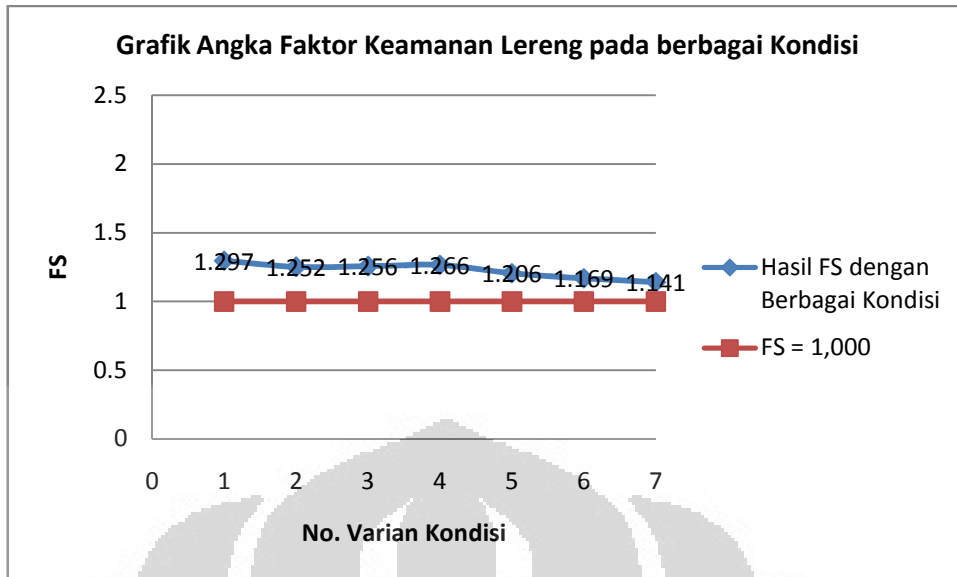
No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2										
1. Eksisting (1,297)	$\gamma = 16,5 \text{ kN/m}^3$ $C = 12 \text{ kPa}$ $\varphi = 20^\circ$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 16 \text{ kPa}$ $\varphi = 25^\circ$										
	Koordinat Elevasi MAT											
	<table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>15</td> <td>22</td> <td>30</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>10</td> <td>6</td> <td>2</td> <td>0</td> </tr> </table>	X (m)	0	15	22	30	Y (m)	10	6	2	0	
X (m)	0	15	22	30								
Y (m)	10	6	2	0								
2. Tanah menjadi jenuh (1,252)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$										
3. Kohesi menurun	$C = 11 \text{ kPa}$	$C = 15 \text{ kPa}$										

(1,256)		
4. Phi menurun (1,266)	$\varphi = 19^\circ$	$\varphi = 24^\circ$
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,206)	Koordinat Elevasi MAT	
	X (m)	0 4 15 20 26 30
	Y (m)	11 10 7 3 2 2
6. Kombinasi 2 & 5 (1,169)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$
	Koordinat Elevasi MAT	
	X (m)	0 4 15 20 26 30
	Y (m)	11 10 7 3 2 2
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (1,141)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 11 \text{ kPa}$ $\varphi = 19^\circ$	$\gamma = 19,5 \text{ kN/m}^3$ $C = 15 \text{ kPa}$ $\varphi = 24^\circ$
	Koordinat Elevasi MAT	
	X (m)	0 4 15 20 26 30
	Y (m)	11 10 7 3 2 2
8. FS mendekati satu (0,999)	$\gamma = 19,4 \text{ kN/m}^3$ $C = 11 \text{ kPa}$ $\varphi = 20,2^\circ$	$\gamma = 19,8 \text{ kN/m}^3$ $C = 12 \text{ kPa}$ $\varphi = 24,1^\circ$
	Koordinat Elevasi MAT	
	X (m)	0 4 15 20 26 30
	Y (m)	11 10 7 3 2 2

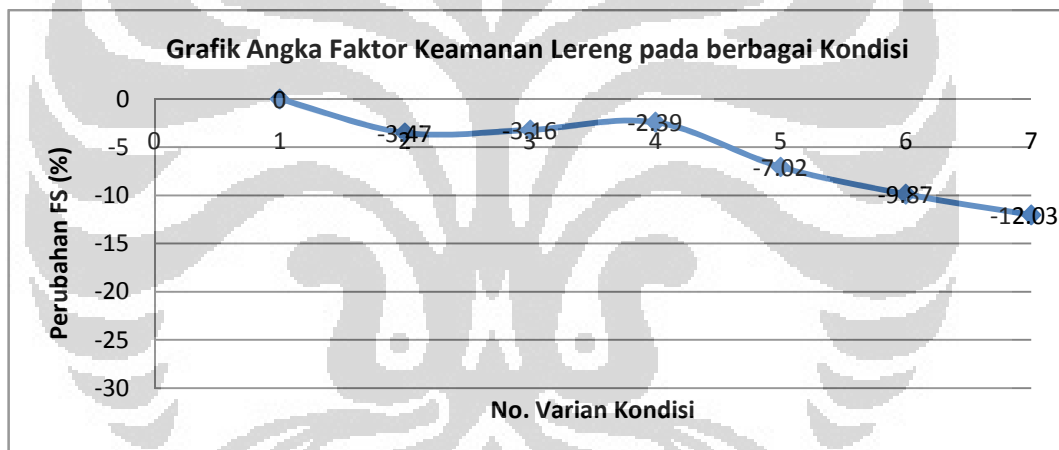
Tabel 5.6 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Bogor, 2009



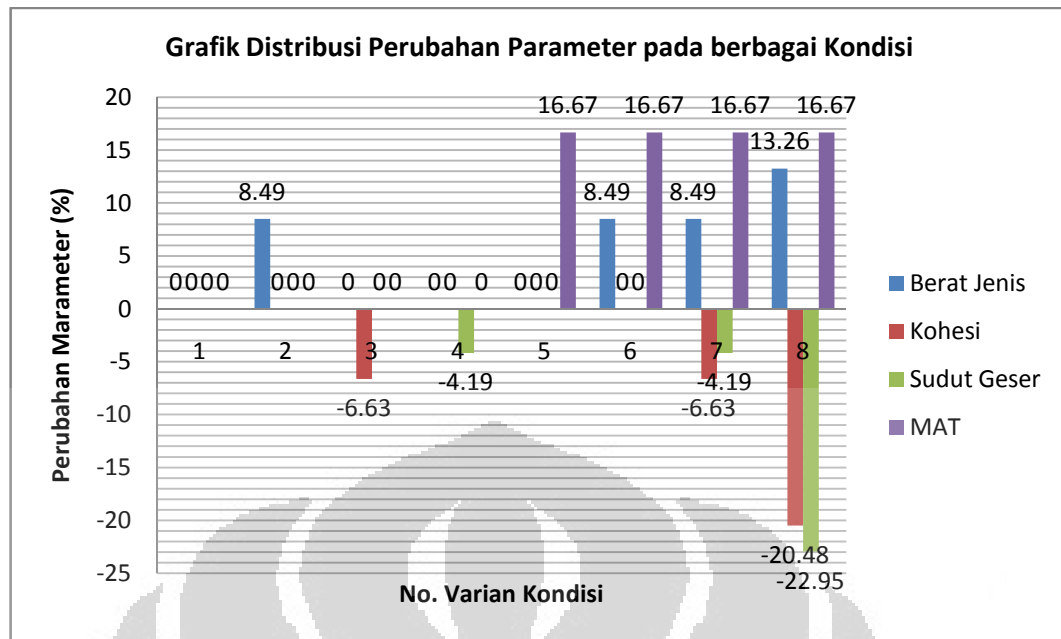
Grafik 5.16 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009)



Grafik 5.16 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009)



Grafik 5.17 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009)



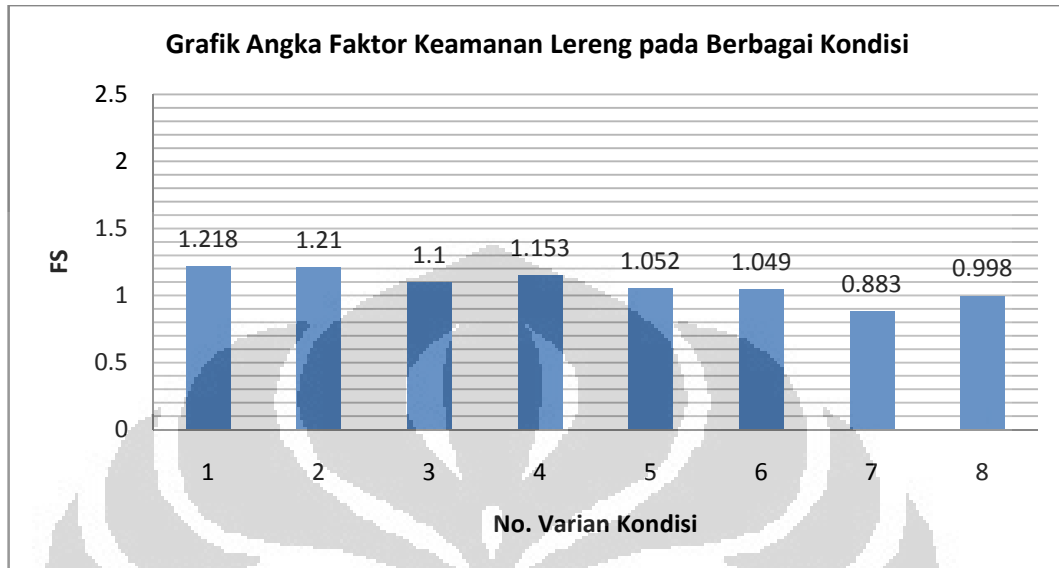
Grafik 5.18 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Bogor, 2009)

### 5.7 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010

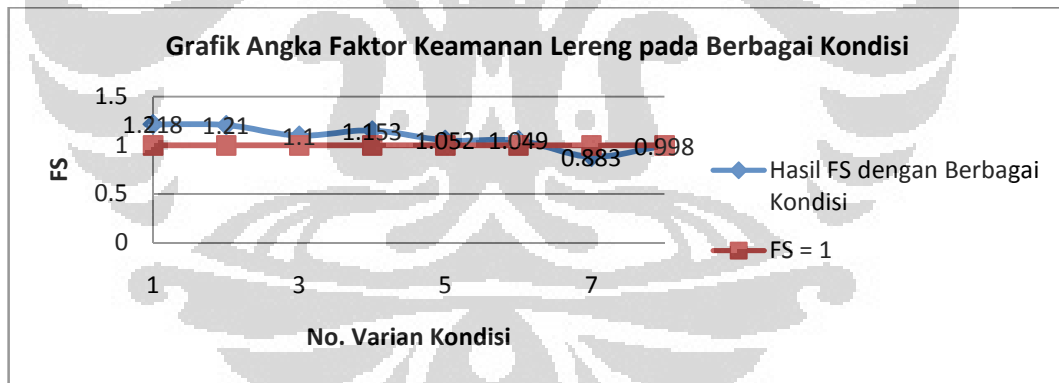
No. Varian kondisi (FS)	Parameter																								
1. Eksisting (1,218)	Lapisan 1 $\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $C = 21 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$																								
	Koordinat Elevasi MAT																								
	<table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>39</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>1</td> <td>4</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>11</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>13</td> </tr> </table>	X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60	Y (m)	0	0	1	4	6	8	10	11	12	13	13
X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60														
Y (m)	0	0	1	4	6	8	10	11	12	13	13														
2. Tanah menjadi jenuh (1,210)	$\gamma = 16.5 \text{ kN/m}^3$																								
3. Kohesi menurun (1,100)	$C = 16 \text{ kPa}$																								
4. Phi menurun (1,153)	$\phi = 23^\circ$																								
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,052)	Koordinat Elevasi MAT																								
	<table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>39</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> </table>	X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60	Y (m)	0	0	3	6	8	10	12	13	14	15	15
	X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60													
Y (m)	0	0	3	6	8	10	12	13	14	15	15														
6. Kombinasi 2 & 5 (1,049)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ Koordinat Elevasi MAT																								
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (0,883)	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$ $C = 16 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$																								
	Koordinat Elevasi MAT																								
	<table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>10</td> <td>15</td> <td>21</td> <td>25</td> <td>30</td> <td>35</td> <td>39</td> <td>45</td> <td>55</td> <td>60</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>0</td> <td>0</td> <td>3</td> <td>6</td> <td>8</td> <td>10</td> <td>12</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>15</td> <td>15</td> </tr> </table>	X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60	Y (m)	0	0	3	6	8	10	12	13	14	15	15
X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60														
Y (m)	0	0	3	6	8	10	12	13	14	15	15														
8. FS mendekati satu (0,998)	$\gamma = 16,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 16,3 \text{ kPa}$ $\phi = 24,1^\circ$																								
	Koordinat Elevasi MAT																								

	X (m)	0	10	15	21	25	30	35	39	45	55	60
	Y (m)	0	0	2	5	7	9	11	12	13	14	14

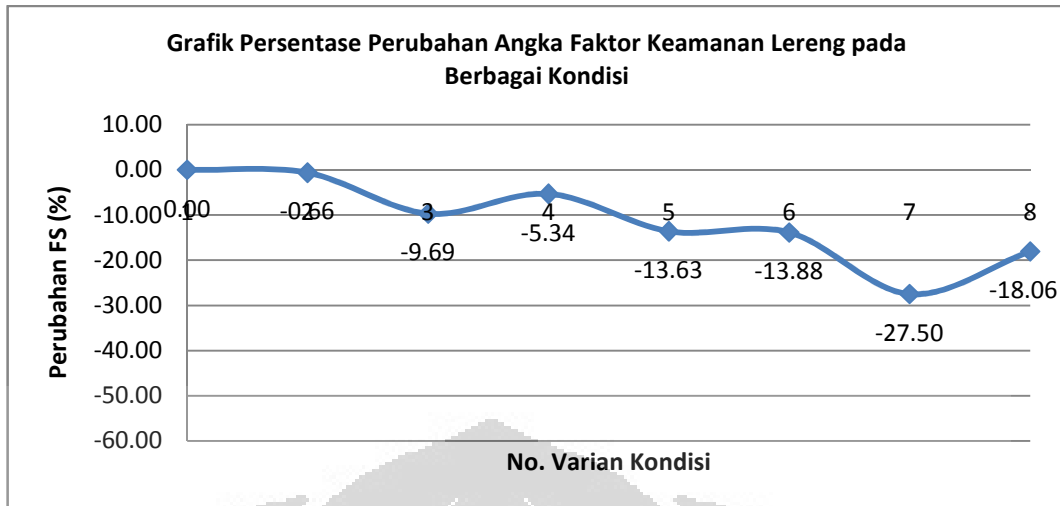
Tabel 5.7 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Ciwidey - Bandung, 2010



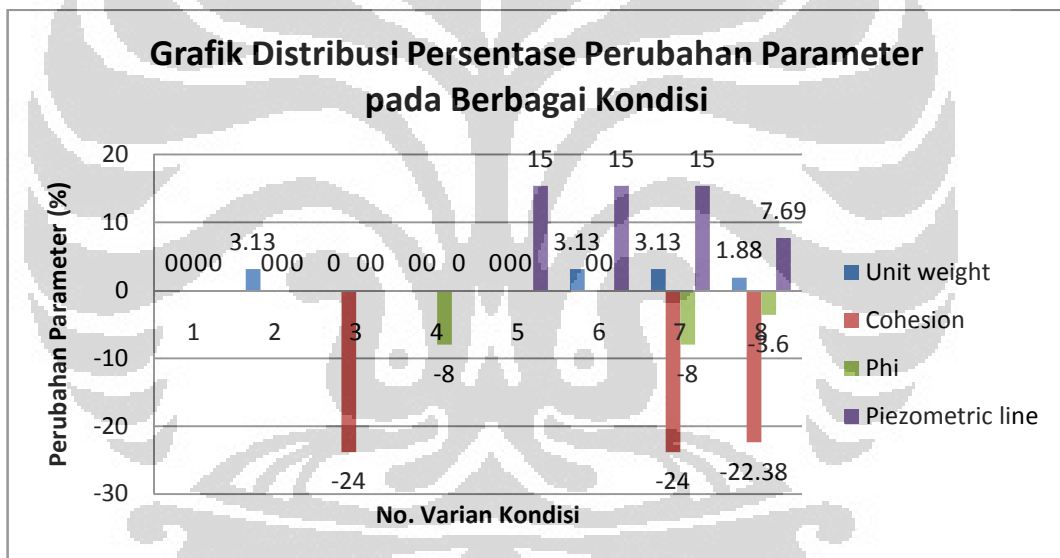
Grafik 5.19 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010)



Grafik 5.19 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010)



Grafik 5.20 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010)

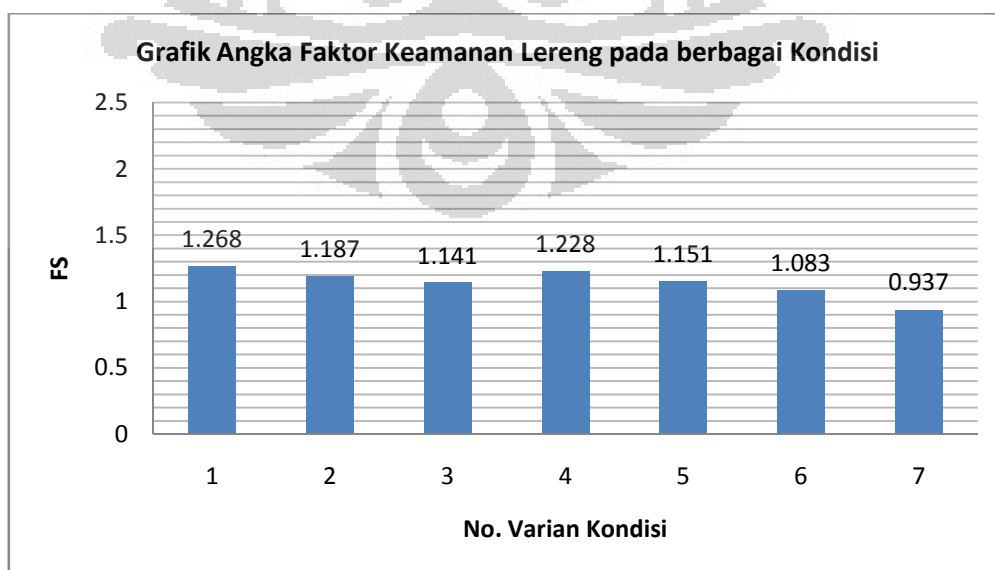


Grafik 5.21 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Ciwidey - Bandung, 2010)

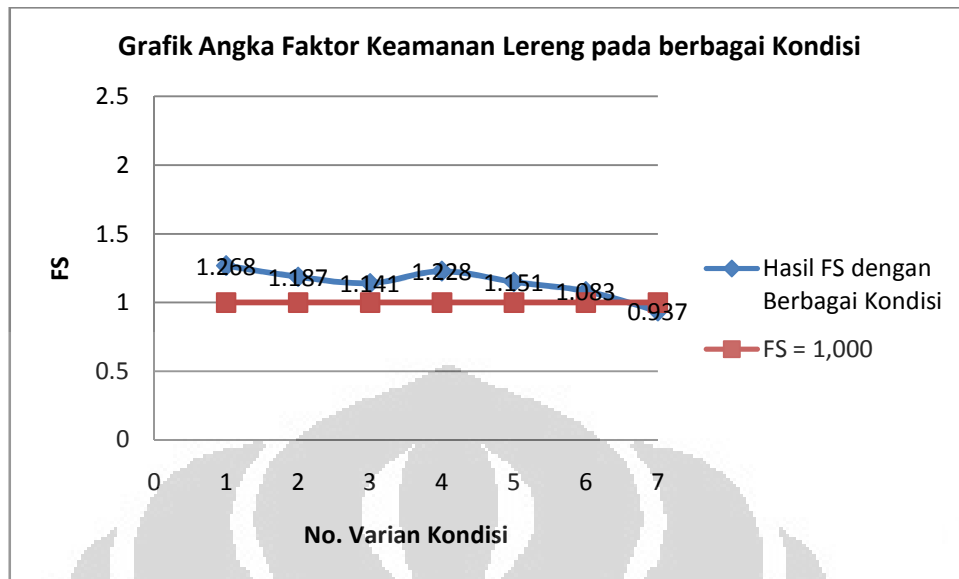
### 5.8 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Wonosobo, 2011

No. Varian kondisi (FS)	Lapisan 1	Lapisan 2														
1. Eksisting (1,268)	$\gamma = 16 \text{ kN/m}^3$ $C = 30 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$	$\gamma = 17 \text{ kN/m}^3$ $C = 15 \text{ kPa}$ $\phi = 25^\circ$														
	Koordinat Elevasi MAT <table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </table>		X (m)	0	13	14	24	Y (m)	8	7	5	5				
X (m)	0	13	14	24												
Y (m)	8	7	5	5												
2. Tanah menjadi jenuh (1,187)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$														
3. Kohesi menurun (1,141)	$C = 13 \text{ kPa}$	$C = 25 \text{ kPa}$														
4. Phi menurun (1,228)	$\phi = 23^\circ$	$\phi = 23^\circ$														
5. Elevasi muka air tanah meningkat (1,151)	Koordinat Elevasi MAT <table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>12</td> <td>12.5</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </table>		X (m)	0	12	12.5	13	14	24	Y (m)	10	9	8	7	5	5
	X (m)	0	12	12.5	13	14	24									
Y (m)	10	9	8	7	5	5										
6. Kombinasi 2 & 5 (1,083)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$	$\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$														
	Koordinat Elevasi MAT <table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>12</td> <td>12.5</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </table>		X (m)	0	12	12.5	13	14	24	Y (m)	10	9	8	7	5	5
X (m)	0	12	12.5	13	14	24										
Y (m)	10	9	8	7	5	5										
7. Kombinasi 2, 3, 4, & 5 (0,937)	$\gamma = 19 \text{ kN/m}^3$ $C = 13 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$	$\gamma = \text{kN/m}^3$ $C = 25 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$														
	Koordinat Elevasi MAT <table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>12</td> <td>12.5</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>10</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </table>		X (m)	0	12	12.5	13	14	24	Y (m)	10	9	8	7	5	5
X (m)	0	12	12.5	13	14	24										
Y (m)	10	9	8	7	5	5										
8. FS mendekati satu (0,997)	$\gamma = 19,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 14 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$	$\gamma = 18,3 \text{ kN/m}^3$ $C = 25 \text{ kPa}$ $\phi = 23^\circ$														
	Koordinat Elevasi MAT <table border="1"> <tr> <td>X (m)</td> <td>0</td> <td>12.5</td> <td>13</td> <td>14</td> <td>24</td> </tr> <tr> <td>Y (m)</td> <td>9</td> <td>8</td> <td>7</td> <td>5</td> <td>5</td> </tr> </table>		X (m)	0	12.5	13	14	24	Y (m)	9	8	7	5	5		
X (m)	0	12.5	13	14	24											
Y (m)	9	8	7	5	5											

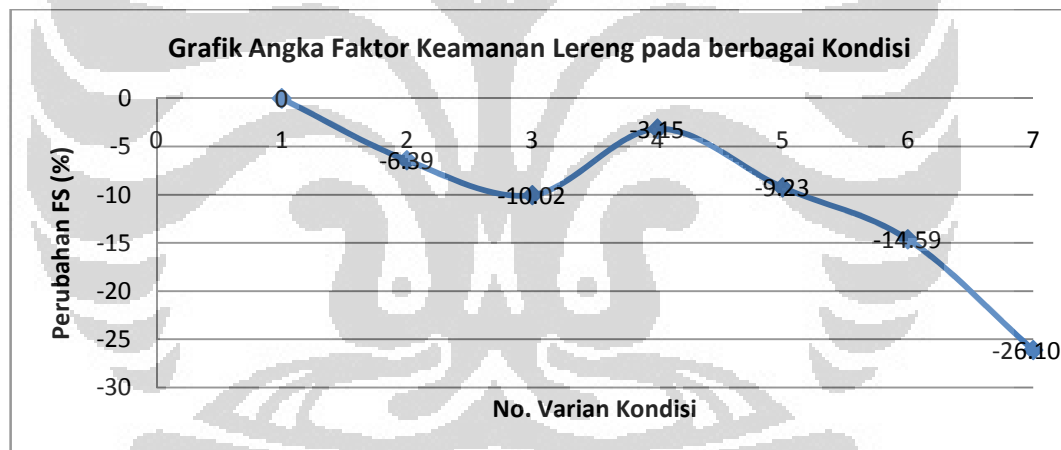
Tabel 5.8 Rekapitulasi Analisis Kasus Longsor Wonosobo, 2011



Grafik 5.22 (a) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011)

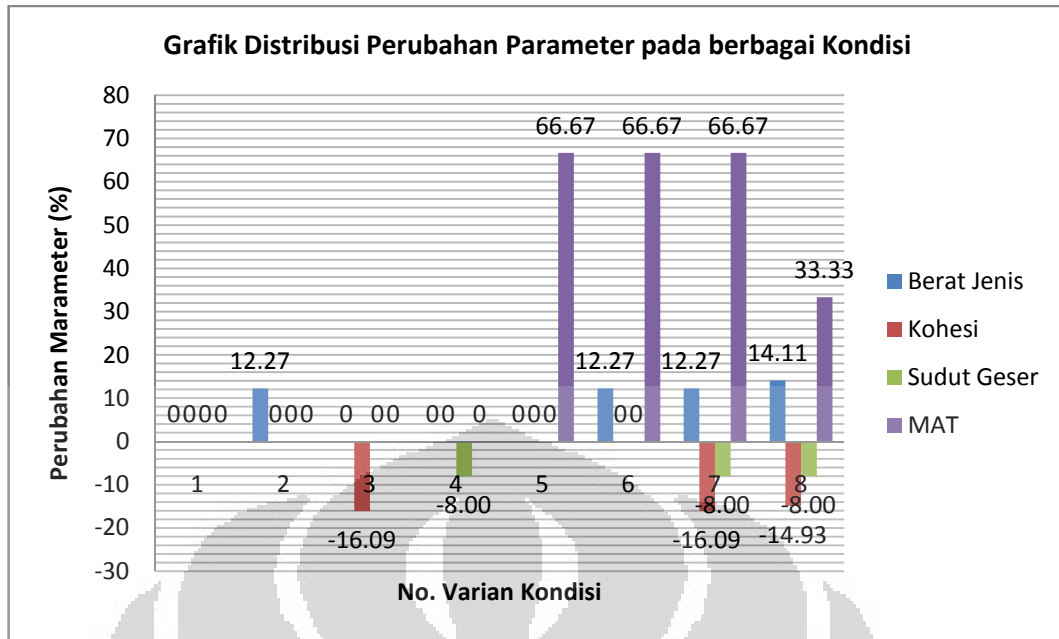


Grafik 5.22 (b) Angka FS pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011)



Grafik 5.23 Perubahan FS (%) pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011)

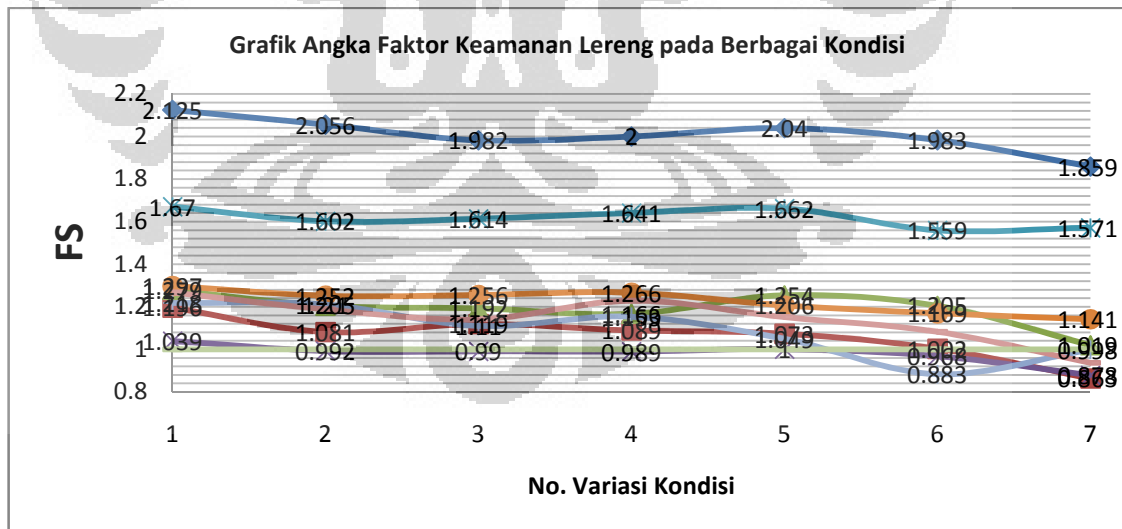




Grafik 5.24 Distribusi Perubahan Parameter pada berbagai Kondisi Lereng (Wonosobo, 2011)

### 5.9 Rekapitulasi Analisis Kasus-kasus Kelongsoran yang Ditinjau

Berdasarkan pada data faktor keamanan delapan lereng yang ditinjau pada berbagai kondisi, dapat dibuat grafik sebagai berikut:



Grafik 5.25 Angka Faktor Keamanan Lereng pada Berbagai Kondisi

Keterangan:

- ◆ Citatah '93
- ▲ Jember '06
- ✱ Cianjur '08
- + Ciwidey 10
- Kulon Progo '03
- ✱ Karanganyar '07
- Bogor '09
- Wonosobo '11

Hasil analisis secara statistik memperlihatkan bahwa dari keempat parameter, diketahui bahwa perubahan pada kohesi paling mempengaruhi perubahan pada faktor keamanan. Jadi, pemantauan yang paling diperlukan pada lereng dengan curah hujan intens dan lama adalah perubahan kohesi sebelum, pada saat, dan setelah longsor.

Berdasarkan pada hasil keseluruhan analisis delapan kasus kelongsoran pada berbagai kondisi, dibuatlah tabel rekapitulasi analisis berikut ini:

No		Citatah '93	Kulon Progo '03	Jember '06	Karanganyar '07	Cianjur '08	Bogor '09	Ciwidey '10	Wonosobo '11
1.	Eksisting								
	• FS	2.125	1.196	1.279	1.039	1.670	1.279	1.195	1.268
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	17 & 18	17	17, 16, 16, 18	16.5, 17, 16.3	17.2 & 17.9	16.5 & 18	17.5	16 & 17
	• Cohesion (kPa)	20 & 23	20	21, 14, 27, 1	27, 30, 26	18 & 19.5	12 & 16	21	30 & 15
	• Phi (°)	27 & 30	25	29, 34, 33, 35	24, 27, 28	25 & 23	20 & 25	25	25 & 25
	• Piezometric line (X(m),Y(m))	(0,6) (5,6) (8,5) (12,15) (18,0) (20,0)	(0,9) (8,6) (19,2) (26,1)	(0,16) (8,16) (15,14) (21,8) (26,5) (35,4) (40,4)	(0,21) (8,21) (15,20) (22,17) (30,12) (37,8) (46,2) (50,0) (53,0)	(0,5) (11,5,5) (15,3,5) (23,1,5) (25,1,5)	(0,10) (15,6) (22,2) (30,0)	(0,0) (10,0) (15,1) (21,4) (25,6) (30,8) (35,10) (39,11) (45, 12) (55,13) (60,13)	(0,8) (13,7) (14,5) (24,5)
2.	Unit weight meningkat	-	-	-	-	-	-	-	-
	• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-
	• FS	2.056	1.081	1.205	0.992	1.602	1.252	1.174	1.187
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	18 & 20	20	19, 18, 18, 20	18.5, 19, 18.3	18.4, 19.1	18, 19.5	19	19 & 18
	• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (X(m),Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-
	• FS ( & %)	-0.069 & -3.25	-0.115 & -9.62	-0.074 & -5.79	-0.047 & -4.52	-0.068 & -4.07	-0.027 & -3.42	-0.021 & -1.76	-0.081 & -6.39
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	(1 & 2) & (9.07)	3 & 17.65	(2, 2, 2) & 12.04	(2, 2, 2) & 12.04	(0.8, 1.2) & 6.78	(1.5, 1.5) & 8.49	1.5 & 8.57	(3, 1) & 12.27
	• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
3.	Cohesion menurun	-	-	-	-	-	-	-	-
	• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-
	• FS	1.982	1.119	1.192	0.990	1.614	1.256	1.130	1.141
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Cohesion (kPa)	18	19	18, 21, 24, 1	24, 27, 23	17 & 18.5	11 & 15	18	13 & 25
	• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (X(m),Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-
	• FS ( & %)	-0.143 & -6.73	-0.077 & -6.44	-0.087 & -6.80	-0.049 & -4.72	-0.056 & -3.35	-0.023 & -3.16	-0.065 & -5.44	-0.127 & -10.02
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Cohesion (kPa & %)	(-2 & -3) & -10.25	-1 & -5	(-3, -3, -3, 0) & -12.31	(-3, -3, -3) & -4.72	(-1 & -1) & -3.35	(-1 & -1) & -3.16	-3 & -5.44	(-17 & -10) & -10.02

	• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Phi menurun	-	-	-	-	-	-	-	-	-
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	-
• FS	2.000	1.089	1.166	0.989	1.641	1.266	1.064	1.228	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (°)	25 & 26	20	24, 29, 28, 30	22, 25, 26	24 & 22	19 & 24	21	23 & 23	
• Piezometric line (X(m),Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	- 0.125 & -5.89	-0.107 & -8.95	-0.113 & -8.84	-0.05 & -4.81	-0.029 & -0.48	-0.031 & -2.89	-0.031 & -10.96	-0.04 & -3.15	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (° & %)	(-2 & -4) & -10.84	-5 & -20	(-5, -5, -5, -5) & -15.25	(-2, -2, -2) & -7.49	(-1 & -1) & -4.24	(-1 & -1) & -4.19	-4 & -16	(-2 & -2) & -8	
• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5 Elevasi MAT meningkat	-	-	-	-	-	-	-	-	
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS	2.040	1.073	1.254	1.000	1.662	1.206	1.043	1.151	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Piezometric line (X(m),Y(m))	(0.6,5) (5,6.5) (9,5,6.5) (12,5,3,5) (18,0,5) (20,0,5)	(0,10) (11,9) (15,4) (26,3)	(0,18) (8,18) (15,17) (21,11) (26,7) (35,6) (40,6)	(0,23) (8,23) (15,22) (22,19) (30,14) (37,10) (46,4) (51,2) (53,2)	(0,6) (12,6) (15,3,5) (23,2,5) (25,2,5)	(0,11) (4,10) (15,7) (20,3) (26,2) (30,2)	(0,0) (10,0) (15,3) (21,6) (25,8) (30,10) (35,12) (39,13) (43,14) (53,15) (60,15)	(0,10) (12,9) (12,5,8) (13,7) (14,5) (14,5)	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	-0.085 & -4	-0.123 & -10.28	-0.025 & -1.95	-0.039 & -3.75	-0.008 & -0.48	-0.091 & -7.02	-0.152 & -12.72	-0.117 & -9.23	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Piezometric line (m & %)	0.5 & 16.67	1 & 20	2 & 22.22	2 & 9.52	1 & 100	1 & 16.67	2 & 15.38	2 & 66.67	
3 Saat longsor (FS mendekati 1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS	0.979	0.987	0.995	0.995	1.000	0.999	0.995	0.997	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	20 & 20	19	19, 18, 18, 20	17.5, 18, 17.3	20 & 20	19.4 & 19.8	19	19.3 & 18.3	
• Cohesion (kPa)	12 & 11	21	17, 20, 23, 1	24.6, 27.7, 23.6	12 & 12	11 & 12	20	14 & 25	
• Phi (°)	25 & 20	21	24, 29, 28, 30	24, 28, 29	18 & 18.5	20.2 & 24.1	22	23 & 23	
• Piezometric line (X(m),Y(m))	(0,7,5) (10,7,5) (17,1,5) (20,1,5)	(0,10) (11,9) (15,4) (26,3)	(0,18) (8,18) (15,17) (21,11) (26,7) (35,6) (40,6)	(0,22) (8,22) (15,21) (22,18) (37,9) (46,3) (50,1) (53,1)	(0,6,5) (10,6,5) (13,6) (15,4,5) (17,5,3) (20,5,2) (25,2)	(0,11) (4,10) (15,7) (20,3) (26,2) (30,2)	(0,0) (10,0) (15,2) (21,5) (25,7) (30,9) (35,11) (39,12) (43,13) (53,14) (60,14)	(0,9) (12,5,8) (13,7) (14,5) (24,5)	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	(-1.146) & (-53.93)	(-0.209) & (-17.47)	(-0.284) & (-22.20)	-0.044 & -4.23	-0.67 & -40.12	-0.298 & -22.98	-0.2 & -16.74	-0.271 & -21.37	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) & (%)	(3 & 2) & (17,65 & 11,11)	(2) & (11,76)	(2, 2, 2, 2) & (12,04)	(1, 1, 1) & 6.02	(2,8 & 2,1) & 13.01	(2,9 & 1,8) & 13.26	1,5 & 8,57	(3,3 & 1,3) & 14,11	
• Cohesion (kPa) & (%)	(-8 & -12) & (-40 & -52,17)	(1) & (5)	(-3, -3, -3, 0) & (-12,31)	(-2,4, -2,3, -2,4) & -8,53	(-6, -7,5) & -37,06	(-1 & -4) & -20,48	-1 & -4,76	(-1 & -5) & -14,93	
• Phi (°) & (%)	(-2 & -10) & (-7,41 & -33,33)	(-4) & (-16)	(-5, -5, -5, -5) & (-15,25)	(0, 1, 1) & 2,86	(-7 & -4,5) & -22,15	(0,2 & -0,9) & -22,95	-3 & -12	(-2 & -2) & -8	
• Piezometric line (m) & (%)	(1,5) & (50)	1 & 20	(2) & (22,22)	1 & 4,76	0,5 & 150	1 & 16,67	1 & 7,69	1 & 33,33	
4 Pengaruh unit weight, cohesion, phi, piezometric line terhadap FS	$\text{unit weight} \approx \frac{1}{FS}$ $\text{cohesion} \approx FS$ $\text{phi} \approx FS$ $\text{piezometric line} \approx \frac{1}{FS}$								

Tabel 5.9 Rekapitulasi Analisis Kasus-kasus Kelongsoran yang Ditinjau

## BAB VI

### PENUTUP

#### 6.1 KESIMPULAN

- Pada delapan kasus kelongsoran yang ditinjau, berlaku bahwa peningkatan intensitas curah hujan dan lama waktu hujan menyebabkan tanah menjadi jenuh, menurunnya kohesi dan sudut geser, meningkatkan elevasi muka air tanah, meningkatkan tekanan air-pori, mengurangi tegangan efektif tanah begitu pula kekuatan gesernya, sehingga menurunkan faktor keamanan lereng dan berpotensi untuk longsor.
- Hasil analisis secara statistik memperlihatkan bahwa dari keempat parameter, perubahan pada kohesi paling mempengaruhi perubahan pada faktor keamanan. Jadi, pemantauan yang paling diperlukan pada lereng dengan curah hujan intens dan lama adalah perubahan kohesi sebelum, pada saat, dan setelah longsor.
- Rekapitulasi hasil analisis adalah sebagai berikut:

No		Citatah '93	Kulon Progo '03	Jember '06	Karanganyar '07	Cianjur '08	Bogor '09	Ciwidey '10	Wonosobo '11
1.	Eksisting								
	• FS	2.125	1.196	1.279	1.039	1.670	1.279	1.195	1.268
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	17 & 18	17	17, 16, 16, 18	16,5, 17, 16,3	17,2 & 17,9	16,5 & 18	17,5	16 & 17
	• Cohesion (kPa)	20 & 23	20	21, 14, 27, 1	27, 30, 26	18 & 19,5	12 & 16	21	30 & 15
	• Phi (°)	27 & 30	25	29, 34, 33, 35	24, 27, 28	25 & 23	20 & 25	25	25 & 25
	• Piezometric line (X(m), Y(m))	(0,6) (5,6) (8,5) (12,1,5) (18,0) (20,0)	(0,9) (8,6) (19,2) (26,1)	(0,16) (8,16) (15,14) (21,8) (26,5) (35,4) (40,4)	(0,21) (8,21) (15,20) (22,17) (30,12) (37,8) (46,2) (50,0) (53,0)	(0,5) (11,5,5) (15,3,5) (23,1,5) (25,1,5)	(0,10) (15,6) (22,2) (30,0)	(0,0) (10,0) (15,1) (21,4) (25,6) (30,8) (35,10) (39,11) (45, 12) (55,13) (60,13)	(0,8) (13,7) (14,5) (24,5)
2.	Unit weight meningkat	-	-	-	-	-	-	-	-
	• Nilai								
	• FS	2.056	1.081	1.205	0.992	1.602	1.252	1.174	1.187
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	18 & 20	20	19, 18, 18, 20	18,5, 19, 18,3	18,4, 19,1	18, 19,5	19	19 & 18
	• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (X(m), Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Perubahan								
	• FS ( & %)	-0.069 & -3.25	-0.115 & -9.62	-0.074 & -5.79	-0.047 & -4.52	-0.068 & -4.07	-0.027 & -3.42	-0.021 & -1.76	-0.081 & -6.39
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	(1 & 2) & (9.07)	3 & 17.65	(2, 2, 2, 2) & 12.04	(2, 2, 2) & 12.04	(0,8, 1,2) & 6.78	(1,5, 1,5) & 8.49	1,5 & 8.57	(3, 1) & 12.27
	• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
3.	Cohesion menurun	-	-	-	-	-	-	-	-
	• Nilai								
	• FS	1.982	1.119	1.192	0.990	1.614	1.256	1.130	1.141
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Cohesion (kPa)	18	19	18, 21, 24, 1	24, 27, 23	17 & 18,5	11 & 15	18	13 & 25
	• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (X(m), Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Perubahan								
	• FS ( & %)	-0.143 & -6.73	-0.077 & -6.44	-0.087 & -6.80	-0.049 & -4.72	-0.056 & -3.35	-0.023 & -3.16	-0.065 & -5.44	-0.127 & -10.02
	• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Cohesion (kPa & %)	(-1 & -3) & -10.23	-1 & -5	(-3, -3, -3, 0) & -12.31	(-3, -3, -3) & -4.72	(-1 & -1) & -3.35	(-1 & -1) & -3.16	-3 & -5.44	(-17 & -10) & -10.02



	• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
	• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0
4. Phi menurun	-	-	-	-	-	-	-	-	-
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	-
• FS	2.000	1.089	1.166	0.989	1.641	1.266	1.064	1.228	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (°)	25 & 26	20	24, 29, 28, 30	22, 25, 26	24 & 22	19 & 24	21	23 & 23	
• Piezometric line (X(m), Y(m))	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	- 0.125 & -5.89	-0.107 & -8.95	-0.113 & -8.84	-0.05 & -4.81	-0.029 & -0.48	-0.031 & -2.89	-0.031 & -10.96	-0.04 & -3.15	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (° & %)	(-2 & -4) & -10.84	-5 & -20	(-5, -5, -5, -5) & -15.25	(-2, -2, -2) & -7.49	(-1 & -1) & -4.24	(-1 & -1) & -4.19	-4 & -16	(-2 & -2) & -8	
• Piezometric line (m & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
5 Elevasi MAT meningkat	-	-	-	-	-	-	-	-	
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS	2.040	1.073	1.254	1.000	1.662	1.206	1.043	1.151	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (°)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Piezometric line (X(m), Y(m))	(0.6,5) (5,6,5) (9,5,6,5) (12,5,3,5) (18,0,5) (20,0,5)	(0,10) (11,9) (15,4) (26,3)	(0,18) (8,18) (15,17) (21,11) (26,7) (35,6) (40,6)	(0,23) (8,23) (15,22) (22,19) (30,14) (37,10) (46,4) (51,2) (53,2)	(0,6) (12,6) (15,3,5) (23,2,5) (25,2,5)	(0,11) (4,10) (15,7) (20,3) (26,2) (30,2)	(0,0) (10,0) (15,3) (21,6) (25,8) (30,10) (35,12) (39,13) (43,14) (53,15) (60,15)	(0,10) (12,9) (12,5,8) (13,7) (14,5) (14,5)	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	-0.085 & -4	-0.123 & -10.28	-0.025 & -1.95	-0.039 & -3.75	-0.008 & -0.48	-0.091 & -7.02	-0.152 & -12.72	-0.117 & -9.23	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Cohesion (kPa & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Phi (° & %)	0	0	0	0	0	0	0	0	
• Piezometric line (m & %)	0.5 & 16.67	1 & 20	2 & 22.22	2 & 9.52	1 & 100	1 & 16.67	2 & 15.38	2 & 66.67	
3 Saat longsor (FS mendekati 1)	-	-	-	-	-	-	-	-	
• Nilai	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS	0.979	0.987	0.995	0.995	1.000	0.999	0.995	0.997	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	20 & 20	19	19, 18, 18, 20	17,5, 18, 17,3	20 & 20	19,4 & 19,8	19	19,3 & 18,3	
• Cohesion (kPa)	12 & 11	21	17, 20, 23, 1	24,6, 27,7, 23,6	12 & 12	11 & 12	20	14 & 25	
• Phi (°)	25 & 20	21	24, 29, 28, 30	24, 28, 29	18 & 18,5	20,2 & 24,1	22	23 & 23	
• Piezometric line (X(m), Y(m))	(0,7,5) (10,7,5) (17,1,5) (20,1,5)	(0,10) (11,9) (15,4) (26,3)	(0,18) (8,18) (15,17) (21,11) (26,7) (35,6) (40,6)	(0,22) (8,22) (15,21) (22,18) (37,9) (46,3) (50,1) (53,1)	(0,6,5) (10,6,5) (13,6) (15,4,5) (17,5,3) (20,5,2) (25,2)	(0,11) (4,10) (15,7) (20,3) (26,2) (30,2)	(0,0) (10,0) (15,2) (21,5) (25,7) (30,9) (35,11) (39,12) (45,13) (55,14) (60,14)	(0,9) (12,5,8) (13,7) (14,5) (24,5)	
• Perubahan	-	-	-	-	-	-	-	-	
• FS ( & %)	(-1.146) & (-53.93)	(-0.209) & (-17.47)	(-0.284) & (-22.20)	-0.044 & -4.23	-0.67 & -40.12	-0.298 & -22.98	-0.2 & -16.74	-0.271 & -21.37	
• Unit weight (kN/m <sup>3</sup> ) & (%)	(3 & 2) & (17,65 & 11,11)	(2) & (11,76)	(2, 2, 2, 2) & (12,04)	(1, 1, 1) & 6,02	(2,8 & 2,1) & 13,01	(2,9 & 1,8) & 13,26	1,5 & 8,57	(3,3 & 1,3) & 14,11	
• Cohesion (kPa) & (%)	(-8 & -12) & (-40 & -52,17)	(1) & (5)	(-3, -3, -3, 0) & (-12,31)	(-2,4, -2,3, -2,4) & -8,53	(-6, -7,5) & -37,06	(-1 & -4) & -20,48	-1 & -4,76	(-1 & -5) & -14,93	
• Phi (°) & (%)	(-2 & -10) & (-7,41 & -33,33)	(-4) & (-16)	(-5, -5, -5, -5) & (-15,25)	(0, 1, 1) & 2,86	(-7 & -4,5) & -22,15	(0,2 & -0,9) & -22,95	-3 & -12	(-2 & -2) & -8	
• Piezometric line (m) & (%)	(1,5) & (50)	1 & 20	(2) & (22,22)	1 & 4,76	0,5 & 150	1 & 16,67	1 & 7,69	1 & 33,33	
4 Pengaruh unit weight, cohesion, phi, piezometric line terhadap FS	unit weight $\approx \frac{1}{FS}$ cohesion $\approx FS$ phi $\approx FS$ piezometric line $\approx \frac{1}{FS}$								

## 6.2 SARAN

- Untuk analisis yang lebih akurat, diperlukan sumber data lapangan / data primer berdasarkan pada investigasi geoteknik lereng setempat yang lebih akurat pada waktu tidak lama setelah longsor.
- Diperlukan perbandingan hasil menggunakan analisis numerik lainnya (perangkat lunak SEEP/W, Plaxis, Midas GTS, Talren, GIS) untuk lebih memverifikasi hasil analisis dengan perangkat lunak SLOPE/W.

## DAFTAR REFERENSI

- Aleotti, P. (2004). *A Warning System for Rainfall-Induced Shallow Failures*. Engineering Geology, Vol. 73. hlm. 247-265.
- Arif, Musta'in dan Widodo, Amien (2008). *Analisa Balik Kelongsoran (Studi Kasus di Jember)* hlm. 5-8. Surabaya: Skripsi Sarjana FTSP-ITS.
- Budhu, M. (2011). *Soil Mechanics and Foundations* (3rd ed.). hlm. 723-725. New York: John Wiley and Sons, Inc.
- Caine, N. (1980). *The Rainfall Intensity-Duration Control of Shallow Landslides and Debris Flows*. Geografiska Annaler, Vol. 62A (1-2). hlm. 23-27.
- Cancelli, A. and Nova, R. (1985). *Landslides in Soil Debris Cover Triggered by Rainstorm in Valtellina (Central Alps, Italy)*. In Sassa K. (ed) Proceeding of Interpraevent 1992. Bern, Switzerland, Osterr, Wasserwirtsch, Klagenfurt, 2: hlm. 9-20.
- Chleborad, A. F., Baum, R. L., and Godt J. W. (2006). *Rainfall Thresholds for Forecasting Landslides in the Seattle, Washington, Area - Exceedance and Probability*: U. S. Geological Survey Open-File Report. hlm. 1006-1064.
- Cho, E. and Lee, S. R. (2002). *Evaluation of Surficial Stability for Homogenous Slopes Considering Rainfall Characteristics*. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering. Vol. 128(9). hlm. 756-763.
- Craig, R. F. (1991) *Mekanika Tanah* (4th ed.) hlm. 33, 35, 72-74, 91-. (Budi Susilo Soepandji, Penerjemah). Jakarta: Erlangga.
- Craig, R. F. (2004) *Soil Mechanics* (7th ed.) London and New York: Spon Press - Taylor & Francis Group.
- Crosta, G. (1988). *Regionalization of Rainfall Threshold: An Aid to Landslides Hazard Evaluation*. Environmental Geology, Vol. 35: 131-145.
- Departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan PU Pusat penelitian dan Pengembangan Jalan. (1993). *Laporan Penelitian Efektivitas Penggunaan Drainase Bawah Permukaan pada Daerah Longsoran Citatah KM.24+500 BD Jawa Barat* hlm. 9-14. Jakarta: Perpustakaan Departemen Pekerjaan Umum.

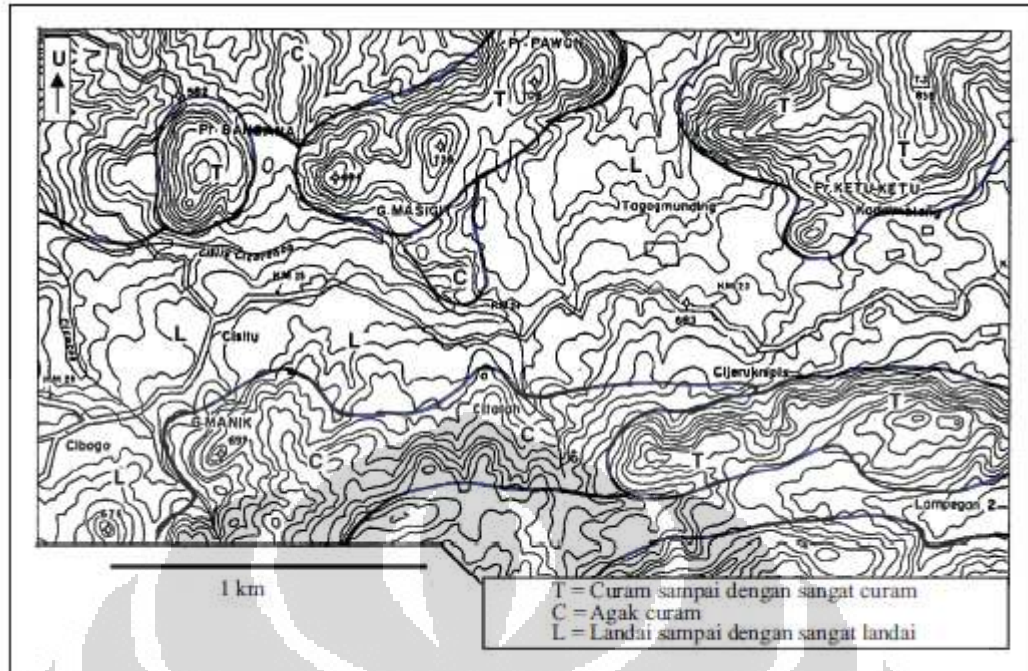
- Djo Hong, Kho. (1991). *Kemantapan Lereng untuk Mengatasi Masalah Kelongsoran Tanah* hlm. 2-13. Depok: Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil.
- D'Odorico, P., Fagherazzi, S., and Rigon, R., (2005). *Potential for Landsliding: Depending In Hyetograph Characteristics*. *Journal of Geophysical Research*, Vol. 110.
- Fadly. (2007). *Probabilitas Keruntuhan Lereng Bantaran Sungai Ciliwung* hlm. 14-27. Depok: Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil.
- Gardland, G. G., and Olivier, M. J. (1993). *Predicting Landslides From Rainfall In A Humid, Subtropical Region*. *Geomorphology*, Vol. 8: 165– 173.
- GEO, 1992. Reassessment of the Po Shan Landslide of 18 June 1992. Geotechnical Engineering Office, Hong Kong, SPR 16/92. 75p.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2008). *Seepage Modeling with SEEP/W 2007 Version* (3rd ed.) pp. 5-31. Calgary, Alberta, Canada.
- GEO-SLOPE International Ltd. (2008). *Stability Modeling with SLOPE/W 2007 Version* (3rd ed.) pp. 1-5, 88-92. Calgary, Alberta, Canada.
- Glade, T., Crozier, M., and Smith, P. (2000). *Applying Probability Determination to Refine Landslide Triggering Rainfall Thresholds Using an Empirical ‘Antecedent Daily Rainfall Model’*. *Pure and Applied Geophysics*, Vol. 157: 1059-1079.
- Godt, J. W., Baum, R. L., and Chleborad, A. F. (2006). *Rainfall Characteristics for Shallow Landsliding in Seattle, Washington, USA*. *Earth Surface Processes and Landforms*, Vol. 31: 97–110.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., and Rossi, M. (2005). *Definition of Critical Threshold for Different Scenarios. RISK-Advanced Weather Forecast System to Advise on Risk Events and Management (RISK-AWARE), Action*. Perugia, Italy: IRPI CNR, 36p.
- Guzzetti, F., Peruccacci, S., Rossi, M., and Stark, C. P. (2007). *Rainfall Thresholds for the Initiation of Landslides in Central And Southern Europe*. *Meteorology and Atmospheric Physics*, Vol. 98, Issue 3-4, pp. 239-267.
- Ilyas, Tommy. (2011). *Stabilitas Lereng dan Perbaikan Tanah, course lecture notes*.

- Indroyono, Agus. (2004). *Pengaruh Fluktuasi Muka Air Sungai Ciliwung terhadap Tekanan Air Pori pada Bantaran Sungai Ciliwung* hlm. 12-19. Depok: Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil.
- Karnawati, D. (1996) *Rain-Induced Landslide Problems in West Java*, Media Teknik No.3 Tahun XVIII / November, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Karnawati, D. (1997) *Prediction of Rain-Induced Landsliding by Using Slope Hydrodynamic Numerical Model*, Forum Teknik, Vol 20 / No.1, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Karnawati, D. (2000) *The Importance of Low Intensity Rainfall on Landslide Occurrence*, Forum Teknik, Vol 24 / No.1, Univ. Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Liao, Z., Ching, J. Y., Lee, W. F., and Wei, J. (2006) *Landslide along Mountain Roads in Taiwan*. In *Tham L-G, Chau K-T (eds): Proceeding of the Seminar on The Sate-of-the practice of Geotechnical Engineering in Taiwan and Hong Kong*, 20 January 2006, Hong Kong: pp. 75-99.
- Limianto, R. P. (2011). *Analisis Lereng Bendungan Tanah pada Kondisi Rapid Drawdown dengan Perangkat Lunak Geostudio* hlm iii-ix, 2-23, 30-42. Depok: Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil.
- Muntohar, A. S. (2009). *Proposal Ambang Hujan untuk Peringatan Dini Tanah Longsor*. August 22, 2011. <http://www.docstoc.com/docs/22530151/> hlm.1-22.
- Morgenstern, N. R. (1992) *The Role of Analysis in the Evaluation of Slope Stability*. Keynote Paper, Proceeding 6th International Symposium on Landslides, Christchurch, Vol. 3, pp.1615-1630.
- Tim Mitigasi Bencana BPPT. *Laporan Rapid Assessment: Kulon Progo, 2003; Jember, 2006; Karanganyar, 2007, Cianjur, 2008; Bogor, 2009*. December 4, 2011 <http://sirrma.bppt.go.id/home/rapid-assessment/>
- Pradel, D., and Raad, G. (1993). *Effect of Permeability on Surficial Stability of Homogeneous Slopes*. Journal of Geotechnical Engineering, Vol. 119(2): 315-332.



- Premchitt, J. (1997). *Warning System Based on 24-hour Rainfall in Hong Kong. "Manual for zonation on areas susceptible to rain-induced slope failure"*. Asian Technical Committee on Geotechnology for Natural Hazards in International Society of Soil Mechanics and Foundation Engineering, pp. 72–81.
- Rasyidati, Siti. (2004). *Metode Pencegahan kelongsoran Lereng pada Bantaran Sungai Ciliwung* hlm. 2-13, 30-32. Depok: Skripsi Sarjana FTUI Departemen Teknik Sipil.
- Ridley, A. (2007). *CLIFFS-Instrumentation and Monitoring*. December 19, 2011 [cliffs@lboro.ac.uk](mailto:cliffs@lboro.ac.uk)
- Suryo, Nanik. (2010). *Sistem Peringatan Dini untuk Bencana Banjir / Longsor Berbasis Data Penginderaan Jauh, Studi Kasus: Banjir / Longsor di Kabupaten Cianjur, November 2008* hlm. 409-411. Bandung: Bidang Pemantauan SDA dan Lingkungan, Lembaga Penerbangan dan Antariksa Nasional.
- Suwantono, Joko. (2011). “Longsor Wonosobo Putus Jalan Utama ke Tempat Wisata Dieng” *Kompas*, 26 Desember 2011, hlm.1, 17.
- Walsh, Michael. (2003). *Engineering and Design Slope Stability*. Washington: Department of the Army - US pp. E-3. Army Corps of Engineers.
- Wesley, L. D. (2012). *Mekanika Tanah untuk Tanah Endapan dan Residu ; Bab 12. Sifat-sifat Tanah di Pulau Jawa* hlm. 559-577. Yogyakarta: Penerbit Andi.
- Wongso, A. (2010). *Agroforestry, Antisipasi Erosi dan Longsor*. October 26, 2010. [soil-investigation.com/soil/?page=artikel&&no=29](http://soil-investigation.com/soil/?page=artikel&&no=29)
- Yunarto. (2010). *Penyusunan Peta Zona Potensi Bencana Alam Geologi Gerakan Tanah Berbasis Penginderaan Jauh dan Sistem Informasi Geografis Wilayah Cianjur Selatan, Jawa Barat* hlm. 18, 28, lampiran. Jakarta: Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI.





Gambar 5. Peta morfologi wilayah Citatah.



Tabel 4. Hasil uji Mekanika Tanah untuk Perhitungan Faktor Keamanan

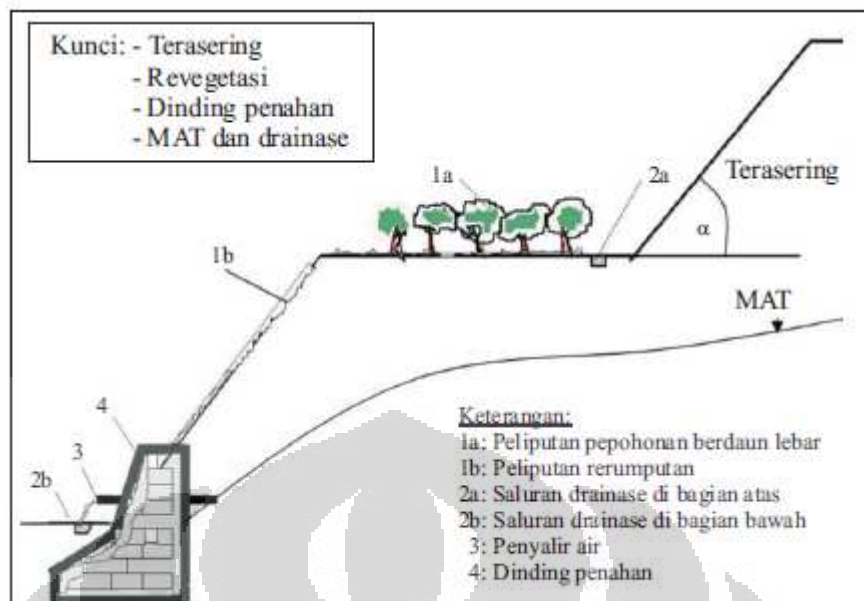
No.	Kedalaman (m)	Kadar Air ( $\omega$ ; %)	$\gamma$ -wet KN/M <sup>3</sup>	$\gamma$ -dry KN/M <sup>3</sup>	Kohesi, c KN/M <sup>2</sup>	$\phi$ (derajat)	Klasifikasi Tanah
A-1	1,00 - 1,45	46,660	15,819	10,786	210,843	17,00	OH-MH
	2,00 - 2,45	48,920	16,378	10,998	186,326	14,00	OH-MH
B-1	1,00 - 1,45	33,020	18,506	13,912	171,616	10,00	MH
	2,00 - 2,45	38,270	17,888	12,937	44,30	16,00	MH
T-2	1,00 - 1,45	23,610	19,320	15,630	156,906	10,00	CH
	2,00 - 2,45	25,830	18,771	14,917	63,43	15,00	CH
B-2	1,00 - 1,45	32,540	18,182	13,718	34,23	15,00	CH
	2,00 - 2,45	26,150	18,928	15,004	44,30	14,00	CL
T-1	1,00 - 1,45	22,270	16,044	13,122	9,16	35,00	MH
	2,00 - 2,45	18,670	16,309	13,743	13,729	27,00	MH

Tabel 5. Hasil Simulasi Perhitungan Faktor Keamanan

Variabel	Sudut lereng	Faktor Keamanan		
		MAT (dalam)	MAT (-5M)	MAT (-3M)
$\omega = 48,92\%$	15°	1,535	1,366	1,309
$\gamma_d = 10,7529 \text{ KN/M}^3$	30°	1,259	1,194	1,110
$\gamma_w = 16,1442 \text{ KN/M}^3$	45°	1,156	1,099	0,946
$\phi = 10^\circ$	60°	1,116	1,051	0,978
$c = 9,3160 \text{ KN/M}^2$				

Tabel 6. Hubungan Faktor Keamanan dengan Kemiringan Lereng Tanah

Nilai Faktor Keamanan (F) dan maknanya (Bowles, 1989)	Stabilisasi	Hubungan dengan $\alpha$ (kemiringan lereng)
$F < 1,07$	Longsor sering terjadi	Lereng labil $\alpha > 44,28^\circ$
$1,07 < F < 1,25$	Longsor pernah terjadi	Lereng relatif labil $44,28^\circ < \alpha < 26,29^\circ$
$F > 1,25$	Longsor jarang terjadi	Lereng relatif stabil $\alpha < 26,29^\circ$



Gambar 7. Sketsa stabilisasi lereng terpadu.



Gambar 8. Lereng hasil rekayasa (Foto: Zakaria, 2009).



Gambar 10. Retakan sepanjang terasering pada lereng rekayasa (Foto: Zakaria, 2009).



Gambar 9. Lubang pada lereng rekayasa (Foto: Zakaria, 2009).

Konsep Starlet (Stabilisasi dan Rancang Bangun lereng terpadu) maupun SGW (Satuan Genetika Wilayah) masih perlu didiskusikan untuk mendapatkan hasil yang optimal. Konsep SGW sendiri telah dikembangkan oleh Hirnawan (2004) dan digunakan untuk analisis potensi dan kendala wilayah pertambangan.

## 2. Sumber Data Kasus Kelongsoran Kulon Progo, 2003

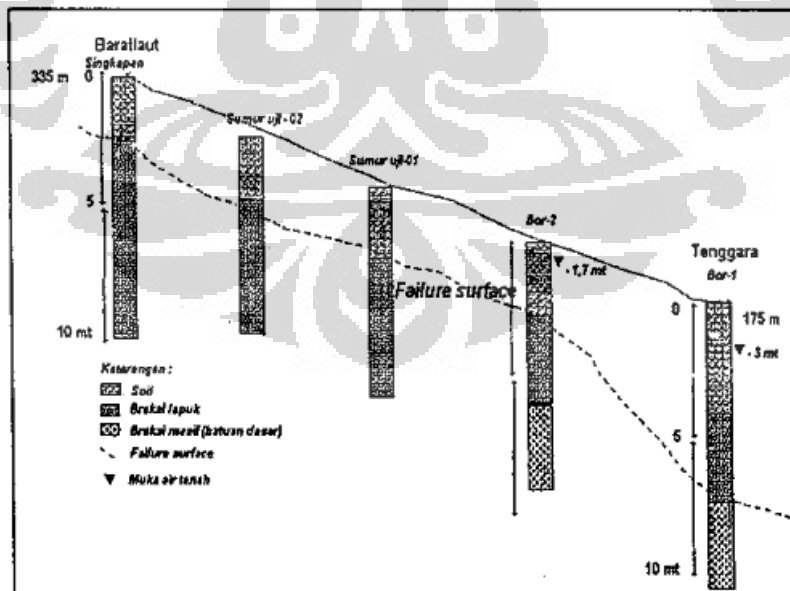
### MODEL MITIGASI BENCANA GERAKAN TANAH DI DAERAH TROPIS ( STUDI KASUS DI DAERAH KEDUNGRONG, KULON PROGO )

Eko Soebowo, Herryal Z. Anwar, U. Siswandi S., Iyuk Rukmana

Pusat Penelitian Geoteknologi – LIPI  
Kompleks LIPI, Jl. Sangkuriang Bandung  
Tlp. 022 – 2507771, 2503654, Fax. 022 - 2504593

Tabel 1. Sebaran lokasi gerakan tanah/longsoran di daerah Kabupaten Purworejo - Kulonprogo

Lokasi	Satuan batuan	Kemiringan (°)	Kondisi Keairan	Struktur	Lebar (m)	Panjang (m)	Tinggi (m)	Arah Longsoran N ° E	Tipe longsoran	Kejadian	Potensi bencana	Kerusakan
Margorejo (Pwjo-Mgl)	Breksi lapuk	30 - 45	Rembesan	Rekahan	30-40	30-50	10-20	135	Bahan rombakan, Nendatan.	2000	Sangat Tinggi	Jalan pernah putus
Kemanggunan	Breksi lapuk, tufa psr		Mt air, rembesan	Patihan, rekahan	50-60	30-75	40-50	185-200	Bahan rombakan, Nendatan.	Nov 2001 malam	Sangat Tinggi	Jalan, rumah, jiwa ring
Girimulyo	Breksi lapuk, tufa psr		Mt air, rembesan						Bahan rombakan, Nendatan.		Sangat Tinggi	Jalan, rumah, 5 jiwa
Boro	Breksi lapuk		Mt air, rembesan		30 - 40	40 - 50	30 - 40	265	Bahan rombakan, Nendatan.		Sangat Tinggi	5 rnh
Kedungrong	Breksi lapuk		Mt air, rembesan	Rekahan	60-100	175-200	30-50	130-135	Bahan rombakan, Nendatan.		Sangat Tinggi	
Saluran Induk K. Bawang (Km 0.0)	Breksi lapuk	40 - 50	Rembesan air	Rekahan					Rayapan	1980	Tinggi	Saluran ingasi
Saluran Induk K. Bawang (Km 8.5)	Tufa pasiran		Rembesan air						Rayapan	1980	Tinggi	Saluran ingasi
Saluran Induk K. Bawang (Km 15.2)	Lmp napalan	12-35	Rembesan air		40 - 50	50	15 - 20	75 - 85	Rayapan	1980, 2001	Tinggi	Saluran ingasi



Gambar 8. Penampang lapisan tanah pada longsoran Kedungrong, Kulonprogo

Tabel 2a. Karakteristik geoteknik beberapa conto tana/batuan pada zona longoran

Lokasi	Satuan batuan	Kedalaman (cm)	Berat jenis	Ukuran butir (%)				Tekstur/USCS	Atterberg limit		
				Kerikil	Pasir	Lanau	Lempung		Batas cair (%)	Batas plastis (%)	Indeks plastis (%)
P1 H2	Bx Lpk	80 - 100	2,45 3	3	26	-	11	MH	65,35	41,99	23,4
P2 H2/1	Bx Lpk	100 - 120		-	-	-		MH	69,35	40,11	30,99
P2 H1	Bx Lpk	20 - 40	2,64 4	17	20	-	11	MH	69,35	38,26	13,59
P1 H4/1	Bx Lpk	160 - 180	-	8	45	-	8	MH	69,35	46,06	21,12
P1 H3/1	Bx Lpk	140 - 160	2,51 3	-	-	-	-	MH	-	-	-
P1 H3/2	Bx Lpk	140 - 160	2,85 7	2	33	-	7	MH	-	-	-
P1 H4/2	Bx Lpk	160 - 180	2,35 0	2	18	-	13	MH	-	-	-
P1 H4/3	Bx Lpk	200 - 300	2,29 0	-	-	-	-	MH	-	-	-
P2 H2/2	Bx Lpk	100 - 120	2,42 6	9	34	-	12	MH	-	-	-

Tabel 2b. Sifat Index dan Sifat Teknis Tanah

Parameter	P1H1	P1H2	P1H3	P1H4
Kadar air alam (%)	33.15	39.37	46.8	40.16
Berat isi tanah basah (gr/cm <sup>3</sup> )	1.77	1.51	1.61	1.48
Berat isi tanah kering (gr/cm <sup>3</sup> )	1.34	1.21	1.34	1.17
Derajat kejenuhan (%)	90.11	64.8	71.61	41.91
Porositas	48.08	52.45	39.75	49.91
Kohesi puncak (kg/cm <sup>2</sup> )	0.16	0.48	0.52	-
Kohesi residu (kg/cm <sup>2</sup> )	0.12	0.36	0.31	-
Sudut geser dalam puncak (°)	24	10	10	-
Sudut geser dalam residu (°)	18	9	8	-

Keterangan :

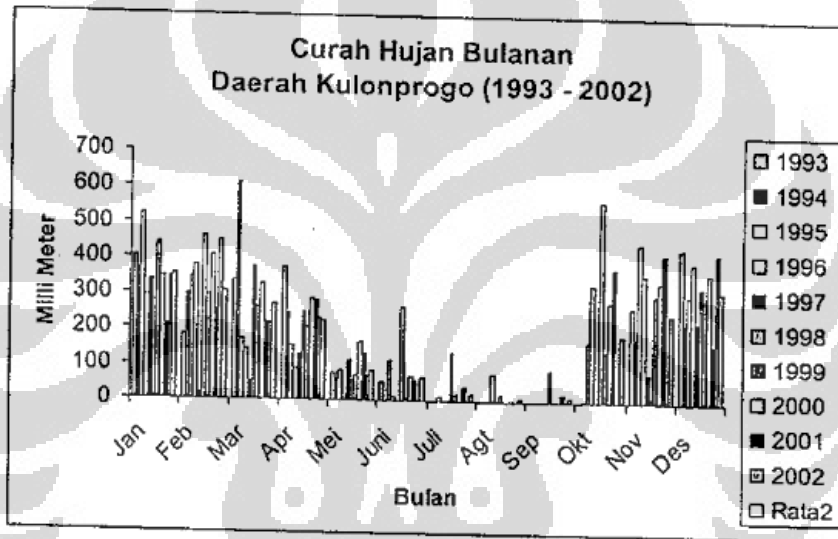
- P1H1 : tanah residu  
P1H2/P2H2 : Tanah pelapukan sempurna breksi  
P1H3 : Tanah pelapukan total breksi  
P1H4 : Tanah pelapukan sebagian breksi

Tabel 3. Analisis Faktor Keamanan Lereng Kedungrong

Kondisi	Faktor Keamanan Minimum (F)											
	Ordinary		Bishop		Janbu		Morgenster n & Price		Spencer		GLE	
	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F	M	F
Saturated – Residual Strength	0.766	-	0.779	-	-	0.760	0.780	0.774	0.777	0.781	0.742	0.742
Saturated – Peak Strength	1.076	-	1.083	-	-	1.063	1.085	1.083	1.091	1.091	1.013	1.013
Normal – Residual Strength	0.902	-	0.892	-	-	0.910	0.907	0.916	0.908	0.909	0.919	0.919
Normal – Peak Strength	1.213	-	1.199	-	-	1.220	1.234	1.241	1.211	1.218	1.219	1.219
Dry – Residual Strength	1.307	-	1.318	-	-	1.293	1.318	1.310	1.322	1.322	1.242	1.242
Dry – Peak Strength	1.740	-	1.746	-	-	1.722	1.748	1.743	1.751	1.747	1.608	1.608

M = moment equilibrium

F = force equilibrium



Gambar 10. Grafik curah hujan bulanan tahun 1993 – 2002 daerah Kulonprogo

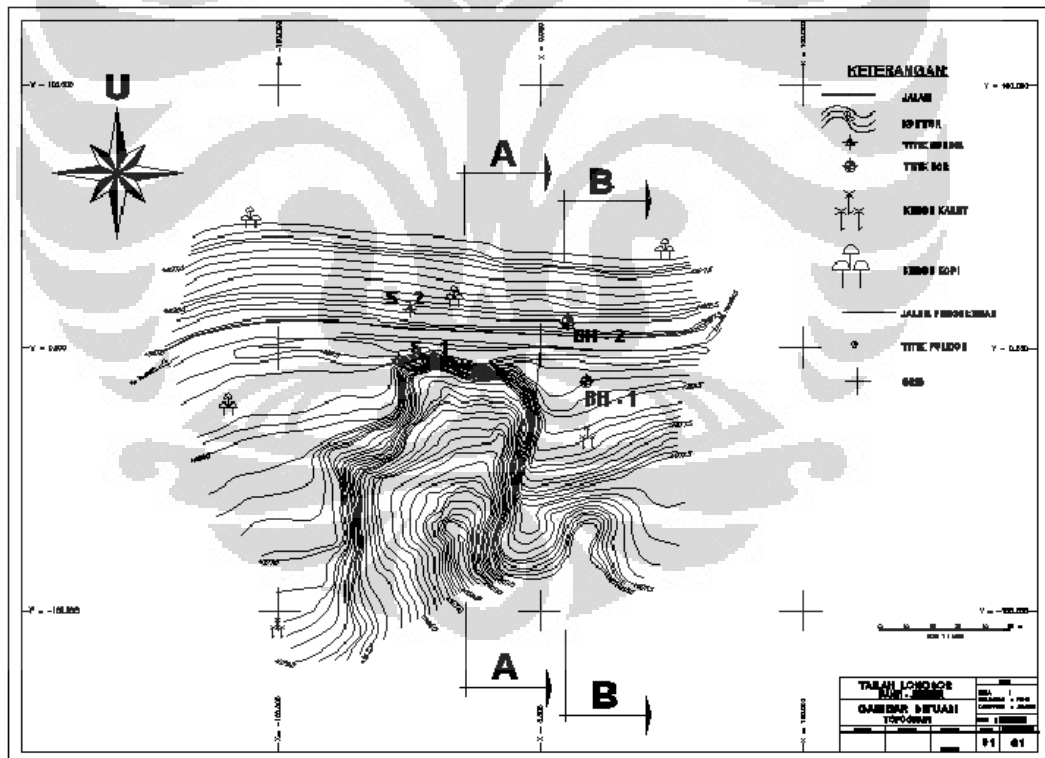


3. Sumber Data Kasus Kelongsoran Jember, 2006

**ANALISA BALIK KELONGSORAN  
(STUDI KASUS DI JEMBER)**

Mustafin Arif  
Amien Widodo

Jurusan Teknik Sipil, FTSP – ITS Surabaya



Gambar 4. Peta Topografi.

# Tabel 1. Hasil Penyelidikan Lapangan BOR1

DRILLING LOG																	
Project No.		Project				Type of Drilling		Rotary		Remarks							
Borehole No.		Elevation				Date		Driller		SPT = Standard Penetration Test							
Water Table		Elevation				Date		Driller		SPT = SPT Test							
Depth (m)	Elevation	Depth (m)	Thickness (m)	Logrel	Type of Soil	Color	Moisture Content (%)	Liquid Limit (%)	Plasticity Index (%)	Ground Remarks	SPT TEST		Standard Penetration Test			TINGKAT PELAPUKAN (WEATHERING Grade)	
											LD / CS	SPT TEST	Blows per each 15 cm	N-Value			
											Sample Code	Sample Code	Blow	Blow	Blow		
0.0	11.00				LEMPUNGANU BERPASIR	COKLAT TUA	VERY SOFT	SPT = 2			01	01	2	1	1	1	TANAH RESIDUAL (VI)
4.50	4.50				LEMPUNG BERLANAU	COKLAT	VERY SOFT	SPT = 2			02	02	2	0	1	1	
6.50	2.00				LEMPUNG BERLANAU BERPASIR	COKLAT	VERY SOFT	SPT = 1			03	03	1	0	0	1	
12.50	6.00				LEMPUNG	COKLAT TUA	SOFT TO MEDIUM	SPT Antara 4 and 8			04	04	4	1	2	2	
16.50	4.00				LEMPUNG BERKERIKIL	COKLAT TUA	MEDIUM TO STIFF	SPT Antara 9 and 12			05	05	9	3	2	6	LAPUK SEDANG-LAPUK TINGGI (III-V)
18.00	1.50				PASIR BERLANAU SERLEMPUNG PADAT	COKLAT	MEDIUM	SPT = 12			06	06	12	3	5	7	
20.50	2.50				PASIR LANAU PADAT	COKLAT	VERY DENSE	SPT = 50			07	07	50				
21.50	1.00				BATU CADAS	ABU-ABU KE COKLATAN	VERY DENSE	SPT = 50			08	08	50				LAPUK SEDIKIT - BATUAN DASAR (I-II)
22.50	0.50				End of Bore						09	09	50				

# Tabel 2. Hasil Penyelidikan Lapangan BOR2

DRILLING LOG																
Project No.		Project				Type of Drilling		Remarks								
Bore Hole No.		Elevation				Date		ID = Underside Sample								
Water Table		Diameter				Diker		CS = Core Sample								
						SPT = SPT Test										
Elevation (m)	Elevation (ft)	Depth (m)	Thickness (m)	Legend	Type of Soil	Color	Moisture Content (%)	General Remarks	UID / CS		SPT TEST		Standard Penetration Test			TINGKAT PELAPUKAN (WEATHERING Grade)
									Sample Code	Sample Code	Blows (15 cm/6 in)	Blows (30 cm/12 in)	Blows per inch (15 cm)	Blows per inch (30 cm)	N-Value	
0		0.00														
1																
2					LUMPUR BERLANSI	COGLAT TUA										
3																
4		3.50	3.50													
5																
6																
7																
8					LUMPUNG	COGLAT TUA	SOFT TO MEDIUM	SPT Antara 2-3 dan 5								
9																
10																
11																
12		12.50	9.00													
13																
14																
15																
16																
17					LANSI BERPASIR PADAT	ABU-ABU MUDA	MEDIUM TO DENSE	SPT Antara 20 dan 34								
18																
19																
20																
21		21.00	8.50													
22																
23																
24																
25																
26																
27																
28																
29																
30		30.50	10.50													
31																
32																
33																
34																
35																
36																
37																
38																
39																
40																
41																
42																
43																
44																
45																
46																
47																
48																
49																
50																
51																
52																
53																
54																
55																
56																
57																
58																
59																
60																
61																
62																
63																
64																
65																
66																
67																
68																
69																
70																
71																
72																
73																
74																
75																
76																
77																
78																
79																
80																
81																
82																
83																
84																
85																
86																
87																
88																
89																
90																
91																
92																
93																
94																
95																
96																
97																
98																
99																
100																

## Tabel 3. Ringkasan tes Laboratorium BOR1

Project		STUDI LONGSOR PANTI JEMBER				
Standard		ASTM				
Borehole No.		BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1	BH - 1
Sample No.		UD-1	UD-2	UD-3	UD-4	UD-5
Sample Depth (m)	From :	-2.50	-5.50	-8.50	-11.50	-14.50
	To :	-3.00	-6.00	-9.00	-12.00	-15.00
Condition of Sample		Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed
Specific Gravity ( $G_s$ )		3.012	2.574	2.863	2.921	2.672
Natural void ratio ( $e$ )		3.469	1.121	3.088	2.344	2.187
Degree of saturation, ( $S_r$ ) %		84.2	87.0	90.1	88.8	91.4
Wet density, ( $\gamma_t$ ) gr/cc		1.327	1.673	1.381	1.496	1.466
Natural water content, ( $W_c$ ) %		96.9	37.9	97.2	71.2	74.8
Dry density, ( $\gamma_d$ ) gr/cc		0.674	1.214	0.700	0.874	0.838
Saturated density, ( $\gamma_{sat}$ ) gr/cc		1.450	1.742	1.456	1.574	1.525
Atterberg Limit	Liquid limit, (LL) %	56.82	83.02	54.89	44.16	51.83
	Plastic limit, (PL) %	40.00	36.63	36.49	39.16	40.66
	Plastic Index, (PI) %	16.82	46.39	18.40	5.00	11.17
Grain Size Distribution	Gravel, %					
	Sand, %					
	Silt, %					
	Clay, %					
	Max. diameter, mm					
	Diam. at 60%, mm					
Unconfined Compression Test	Peak Deviator Stress, $q_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	3.609	*	2.081	*
	Undisturbed Cohesion, $C_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	1.8045	*	1.0405	*
	Modulus Elasticity, $E_{50}$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	*	*	*	*
	Strain at failure, %	*	*	*	*	*
Triaxial Compression Test	Friction Angle, degree					
	Cohesion Intercept, kg/cm <sup>2</sup>					
	Drainage condition					
Direct Shear Test	Friction Angle, degree					
	Cohesion Intercept, kg/cm <sup>2</sup>					
Lab. Vane Shear Test	Shear Undrained, $S_u$ , KPa	18	61	16	16	18
	Shear Undrained, $S_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	0.18	0.61	0.16	0.16	0.18

# Tabel 4. Ringkasan tes Laboratorium BOR2

Project STUDI LONGSOR PANTI JEMBER  
Standard ASTM

Borehole No.	BH - 2	BH - 2	BH - 2	BH - 2	BH - 2	BH - 2	
Sample No.	UD-1	UD-2	UD-3	UD-4	UD-5	UD-6	
Sample Depth (m)	From : -2.50 To : -3.00	-3.50 -6.00	-8.50 -9.00	-11.50 -12.00	-14.50 -15.00	-17.50 -18.00	
Condition of Sample	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	Undisturbed	
Specific Gravity (Gs)	2.745	3.282	3.034	2.951	2.722	2.865	
Natural void ratio (e)	2.303	2.511	2.100	1.544	1.244	1.441	
Degree of saturation, (Sr) %	84.2	87.0	90.1	88.8	91.4	92.9	
Wet density, ( $\gamma_t$ ) gr/cc	1.418	1.557	1.589	1.699	1.720	1.722	
Natural water content, (Wc) %	70.6	66.6	62.4	46.4	41.8	46.7	
Dry density, ( $\gamma_d$ ) gr/cc	0.831	0.935	0.979	1.160	1.213	1.174	
Saturated density, ( $\gamma_{sat}$ ) gr/cc	1.528	1.650	1.656	1.767	1.767	1.764	
Atterberg Limit	Liquid limit, (LL) %	40.98	50.98	54.98	43.91	87.17	51.60
	Plastic limit, (PL) %	39.28	37.02	36.40	42.56	36.45	40.78
	Plastic Index, (PI) %	1.70	13.96	18.58	1.35	50.72	10.82
Grain Size Distribution	Gravel, %						
	Sand, %						
	Silt, %						
	Clay, %						
	Max. diameter, mm						
	Diam. at 60%, mm						
Unconfined Compression Test	Peak Deviator Stress, $q_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	1.096	2.077	*	*	29.342
	Undisturbed Cohesion, $C_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	0.548	1.0385	*	*	14.671
	Modulus Elasticity, $E_{cu}$ , kg/cm <sup>2</sup>	*	*	*	*	*	*
	Strain at failure, %	*	*	*	*	*	*
	Friction Angle, degree						
Triaxial Compression Test	Cohesion Intercept, kg/cm <sup>2</sup>						
	Drainage condition						
	Friction Angle, degree						
Direct Shear Test	Cohesion Intercept, kg/cm <sup>2</sup>						
	Shear Undrained, $S_u$ , KPa	20	57	12	36	40	62
Lab. Vane Shear Test	Shear Undrained, $S_u$ , kg/cm <sup>2</sup>	0.2	0.57	0.12	0.36	0.4	0.62
	Preconsolidation Pressure, kg/cm <sup>2</sup>						

## RAPID ASSESSMENT PASCA BENCANA LONGSOR DAN BANJIR BANDANG DI PEGUNUNGAN ARGAPURO, KABUPATEN JEMBER 1 JANUARI 2006

Oleh : Heru Sri Naryanto, Wisyanto dan Bambang Marwanta

PTLWB-TPSA, BPPT

### Analisis

Sebelum bencana longsor dan banjir bandang terjadi, daerah Pegunungan Argopuro telah diguyur hujan yang sangat tinggi selama 3 hari berturut-turut. Curah hujan di Kec. 107 mm, di Kec. 187 mm. Curah hujan tersebut termasuk curah hujan yang sangat besar untuk daerah tersebut. Curah hujan sangat tinggi di daerah bencana menjadi penyebab utama terjadinya tanah longsor dan banjir bandang.

Topografi di daerah hulu Pegunungan Argopuro sebagai pusat longsor sangat curam sehingga. Tingkat keterlereng daerah tersebut lebih dari 60°, sehingga sangat rawan terhadap gerakan tanah. Topografi sangat curam sampai curam menyebabkan kecepatan banjir bandang yang terdiri dari campuran air, tanah dan pohon-pohon yang tercabut bergerak dengan kecepatan sangat tinggi

#### 4. Sumber Data Kasus Kelongsoran Karanganyar, 2007

LAPORAN RAPID ASSESSMENT BENCANA LONGSOR DI DUSUN MOGOL, DESA LEGOKSARI, KECAMATAN TAWANGMANGU, KABUPATEN KARANGANYAR PROVINSI JAWA TENGAH

Oleh Tim BPPT:

*Dr. Agus Kristijono, Dr. Iwan G. Tejakusuma, Ir. Dadan Nurjaman, MT, Ir. Suryana Prawiradisastra, Ir. Adelin Setiabudi, Ir. Eko Widi Santoso, M dan Ir Suryant*



*Gambar 1. Kondisi morfologi dan jalan yang menghubungkan lokasi bencana dengan jalan utama*



DATA CURAH HUJAN DI SEKITAR LOKASI BANJIR DAN LONGSOR TANGGAL 22-28 DESEMBER 2007(Dalam Milimeter)

No	Lokasi(Kab/Kec)	Tanggal						Jumlah	Rata-Rata	
		22	23	24	25	26	27			28
1	Waduk Nawangan	16.0	16.0	11.0	147.0	54.0	4.0	28.0	276.0	39.0
2	Tawang Mangu	0.0	0.0	8.0	194.0	1.0	56.0	44.0	303.0	43.3
3	Wonogiri	48.0	1.0	1.0	164.0	6.0	31.0	41.0	292.0	41.0
4	Palur	1.0	0.0	1.0	102.0	2.0	95.0	37.0	238.0	34.0
5	Pabelan	0.0	0.0	2.0	133.0	5.0	111.0	25.0	276.0	39.4
6	Slahung	7.0	0.0	0.0	95.0	25.0	0.0	12.0	139.0	19.9
7	Ponorogo	7.0	0.0	2.0	263.0	10.0	0.0	0.0	282.0	40.3
8	Jiwan	17.0	0.0	6.0	120.0	3.0	61.0	12.0	219.0	31.3
9	Magetan	0.0	2.0	0.0	119.0	11.0	59.0	8.0	199.0	28.4
10	Ngebel Ponorogo	10.0	0.0	1.0	162.0	15.0	11.0	0.0	199.0	28.4
11	Sooka	1.0	0.0	3.0	136.0	20.0	3.0	7.0	170.0	24.3
12	Ngambe	16.0	0.0	0.0	17.0	0.0	32.0	23.0	88.0	12.6
13	Baturetno	-	-	-	163.0	-	-	-	163.0	-
14	Batuwarno	-	-	-	132.0	-	-	-	132.0	-
15	Tegal Ombo	-	-	-	211.0	-	-	-	211.0	-
16	Bandar Pacitan	-	-	-	231.0	-	-	-	231.0	-
17	Nawangan Pacitan	-	-	-	105.0	-	-	-	105.0	-
18	Arjosari	-	-	-	112.0	-	-	-	112.0	-
19	Sidoarjo	0.0	0.0	-	217.5	-	-	-	217.5	-
20	Gintontro	8.0	0.0	0.0	154.0	-	-	-	162.5	-

Sumber : Stasiun Klimatologi Semarang dan Balai Sungai Surakarta.

Keterangan :

- Hujan ringan dengan intensitas 5-20 mm/ hari;
- Hujan sedang dengan intensitas 20-50 mm/ hari;
- Hujan lebat dengan intensitas 50-100 mm/ hari;
- Hujan sangat lebat dengan intensitas > 100 mm/ hari.

## 5. Sumber Data Kasus Kelongsoran Cianjur, 2008

Tabel 1. Kemiringan lereng dan satuan morfologi

Bentuk Medan	Kemiringan lereng		Satuan Morfologi
	(%)	(°)	
Datar	0 - 5	0 - 3	Dataran
Landai	5 - 15	3 - 9	Perbukitan relatif halus
Agak terjal	15 - 30	9 - 17	Perbukitan relatif sedang
Terjal	30 - 50	17 - 27	Perbukitan relatif agak kasar
Sangat terjal	50 - 70	27 - 36	Perbukitan relatif kasar
Tegak	>70	36 - 90	Perbukitan relatif sangat kasar

### Morfologi Perbukitan relatif sangat kasar

Satuan morfologi ini mempunyai bentuk permukaan yang bergelombang sangat kasar dengan kemiringan  $36^{\circ}$  -  $90^{\circ}$  (> 70%), Daerah ini termasuk dalam satuan tingkat erosi tinggi, terutama erosi vertikalnya. Umumnya batuan penyusunnya merupakan batuan vulkanik dari gunung Patuha, seperti lava, breksi dan tufa. Pengamatan lapangan menunjukkan bahwa daerah ini banyak dijumpai air terjun dan torehan-torehan erosi dengan topografi hampir tegak.

No	Kode conto	Jenis Analisis						
		Berat tanah kering	Kadar Air	Berat isi tanah kering	Berat jenis	Isi pori	Derajat kejenuhan	Porositas
1	S-01	151,07	48,98	0,876	2,666	115,723	63,937	67,130
2	S-02	117,500	49,643	0,823	2,744	99,889	58,395	69,993
3	S-03	133,540	43,365	0,924	2,855	97,818	59,202	67,653
4	S-04	123,930	63,754	0,860	2,052	83,731	94,361	58,096
5	S-05	159,810	41,647	1,135	2,641	80,280	82,984	57,021
6	S-06	149,830	38,577	1,040	2,617	86,863	66,541	60,269
7	S-071	140,310	47,089	0,990	2,866	92,711	71,264	65,443
8	S-072	127,180	55,842	0,898	2,646	93,603	75,874	66,072
9	S-08	140,940	51,398	0,970	2,472	86,304	82,034	60,766
10	S-09	161,600	41,349	1,106	2,625	84,487	79,089	57,849
11	S-10	144,160	28,212	0,987	2,762	93,855	43,333	64,263
12	S-11	171,510	40,581	1,174	2,733	83,294	83,559	57,031
13	S-12	126,090	70,791	0,846	2,709	102,425	87,146	68,756
14	S-13	130,080	71,018	0,873	2,646	95,809	92,557	66,999
15	TANGGEUNG	134,800	54,815	0,945	2,533	89,495	82,563	62,710

No.	Kode Conto	Jenis Analisis						
		Batas cair (LL)	Batas plastis (PL)	Plastis Index (PI)	SL	Koef. rembesan	f	Kohesi
1	S-04	110,00	72,88	37,12	30,09			
2	TANGGEUNG	97,00	57,31	39,69	22,47	4,81E-07	3,00E+01	2,16E-01

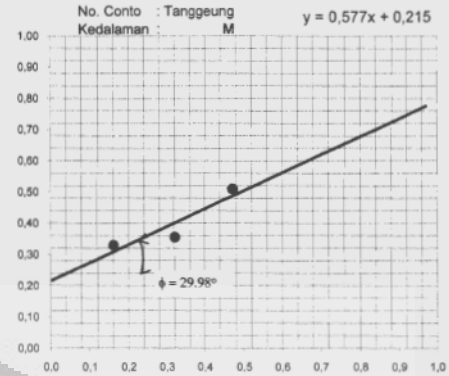
Tabel 2. Hasil analisa laboratorium untuk tanah di daerah penelitian





**KEKUATAN GESER LANGSUNG**  
 (DIRECT SHEAR) SNI 108-1990-03

GAYA NORMAL		P1 = 5 kg $\sigma = 0,16 \text{ kg/cm}^2$			P2 = 10 kg $\sigma = 0,32 \text{ kg/cm}^2$			P3 = 15 kg $\sigma = 0,47 \text{ kg/cm}^2$		
WAKTU	PERGE SERAN	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15"	20	15	1,224	0,039	23	1,876261	0,059	43	3,50779	0,111
30"	40	33	2,852	0,085	40	3,263063	0,103	68	5,54721	0,175
45"	60	43	3,506	0,111	55	4,486712	0,142	83	6,77086	0,214
1:00"	80	59	4,313	0,132	68	5,547207	0,175	93	7,56832	0,240
1:15"	100	72	5,874	0,185	80	6,526126	0,206	105	6,56534	0,270
1:30"	120	83	8,771	0,214	93	7,568222	0,240	115	9,38131	0,296
1:45"	140	90	7,342	0,232	100	8,157658	0,258	121	9,87077	0,312
2:00"	160	98	7,955	0,252	110	8,973424	0,283	128	10,4418	0,330
2:15"	180	103	8,402	0,265	117	9,54446	0,301	135	11,0944	0,350
2:30"	200	110	8,973	0,283	123	10,33392	0,317	142	11,5839	0,366
2:45"	220	116	9,463	0,299	128	10,4418	0,330	145	12,0733	0,381
3:00"	240	120	9,789	0,309	130	10,80496	0,335	154	12,5626	0,397
3:15"	260	124	10,115	0,319	133	10,84989	0,343	158	12,8891	0,407
3:30"	280	125	10,197	0,322	135	11,01284	0,348	163	13,297	0,420
3:45"	300	125	10,197	0,322	135	11,01284	0,348	167	13,8233	0,430
4:00"	320	125	10,197	0,322	135	11,01284	0,348	172	14,0312	0,4430
4:15"	340							175	14,3375	0,4533
4:30"	360							176	14,3875	0,4533
4:45"	380							177	14,4391	0,4599
5:00"	400							179	14,6022	0,4611
5:15"	420							181	14,7654	0,4662
5:30"	440							182	14,8499	0,4688
5:45"	460							180	14,8338	0,4638
6:00"	480							181	14,7854	0,4682
6:15"	500							182	14,8499	0,4638
6:30"	520							183	14,9285	0,4714

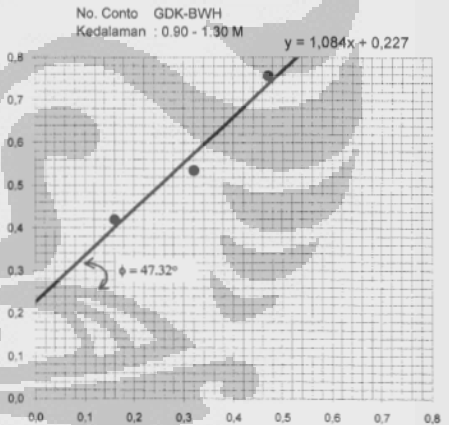


Contoh	Diameter	: 6,35
	tinggi	: 3,00
	Luas	: 31,67
Alat	Kalibrasi Proving Ring	= 0,0815/658 kg/div
Hasil	C =	0,215/ kg/cm <sup>2</sup> phi : 29,98



**KEKUATAN GESER LANGSUNG**  
 (DIRECT SHEAR) SNI 108-1990-03

GAYA NORMAL		P1 = 5 kg $\sigma = 0,16 \text{ kg/cm}^2$			P2 = 10 kg $\sigma = 0,32 \text{ kg/cm}^2$			P3 = 15 kg $\sigma = 0,47 \text{ kg/cm}^2$		
WAKTU	PERGE SERAN	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$	PEMB. DIAL	GAYA GESER	TEGA-NGAN GESER $t_s$
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
15"	20	36	3,100	0,098	63	5,139325	0,162	87	5,46583	0,173
30"	40	55	4,487	0,142	63	5,139325	0,162	93	6,77086	0,214
45"	60	66	5,384	0,170	71	5,781937	0,183	125	10,1971	0,322
1:00"	80	87	7,097	0,224	98	7,884505	0,242	138	11,2578	0,355
1:15"	100	96	7,831	0,247	112	9,136577	0,285	166	15,1732	0,476
1:30"	120	112	9,137	0,286	119	9,707613	0,307	208	16,9679	0,536
1:45"	140	125	10,197	0,322	129	10,32338	0,332	235	16,1105	0,606
2:00"	160	154	10,931	0,345	158	11,23757	0,355	254	20,7205	0,654
2:15"	180	143	11,665	0,368	148	12,07333	0,381	286	21,9441	0,693
2:30"	200	149	12,155	0,374	157	12,80769	0,404	280	22,8474	0,721
2:45"	220	153	12,481	0,384	163	13,29698	0,420	286	23,3309	0,737
3:00"	240	158	12,859	0,407	166	13,70467	0,433	292	23,8204	0,752
3:15"	260	160	13,082	0,412	172	14,03117	0,448	294	23,9835	0,757
3:30"	280	161	13,134	0,415	178	14,82063	0,458	292	23,8204	0,752
3:45"	300	182	13,215	0,417	181	14,78536	0,466	292	23,8204	0,752
4:00"	320	183	13,287	0,420	184	15,01009	0,474	292	23,8204	0,7521
4:15"	340	182	13,215	0,417	188	15,3364	0,484			
4:30"	360	182	13,215	0,417	190	15,49955	0,489			
4:45"	380	182	13,215	0,417	182	15,3627	0,485			
5:00"	400				195	15,80743	0,502			
5:15"	420				201	16,99901	0,508			
5:30"	440				198	16,15216	0,510			
5:45"	460				201	16,99900	0,510			
6:00"	480				202	16,47847	0,520			
6:15"	500				203	16,46605	0,523			
6:30"	520				204	16,64183	0,525			
6:45"	540				205	16,7232	0,528			
7:00"	560				206	16,80478	0,531			
7:15"	580				207	16,88635	0,533			
7:30"	600				208	16,96793	0,536			
7:45"	620				208	16,96793	0,536			
8:00"	640									



Contoh	Diameter	: 6,35
	tinggi	: 3,00
	Luas	: 31,67
Alat	Kalibrasi Proving Ring	= 0,0815/658 kg/div
Hasil	C =	0,227/ kg/cm <sup>2</sup> phi : 47,32

## 6. Sumber Data Kasus Kelongsoran Bogor, 2009

Bencana Longsor Kampung Adat Urug Desa Kiara Pandak Kecamatan Sukajaya Kabupaten Bogor, Jawa Barat

LAPORAN  
RAPID ASSESSMENT

BENCANA LONGSOR KAMPUNG ADAT URUG  
DESA KIARA PANDAK KECAMATAN SUKAJAYA  
KABUPATEN BOGOR, JAWA BARAT  
SEPTEMBER 2009



TIM MITIGASI BENCANA BPPT



PUSAT TEKNOLOGI SUMBERDAYA LAHAN WILAYAH DAN MITIGASI BENCANA  
KEDEPUTIAN TEKNOLOGI PENGEMBANGAN SUMBERDAYA ALAM  
BADAN PENGAJIAN DAN PENERAPAN TEKNOLOGI

LAPORAN BENCANA LONGSOR KAMPUNG ADAT URUG  
DESA KIARA PANDAK KECAMATAN SUKAJAYA  
KABUPATEN BOGOR PROVINSI JAWA BARAT

Oleh:

Iwan G. Tejakusuma, Nana Sudiana, Suryana P., Hasmana S



Universitas Indonesia







Kontak antara tufa putih di bagian bawah dengan bagian tanah yang lebih terlapukkan di bagian atasnya. Tampak air mengalir pada batas kontak ini mencirikan lapisan kedap air sekaligus merupakan bidang gelincir pada batas kontak tersebut.

## **7. Sumber Data Kasus Kelongsoran Ciwidey - Bandung, 2010**

### **ANALISIS INTENSITAS CURAH HUJAN WILAYAH BANDUNG PADA AWAL 2010**

*ANALYSIS OF THE RAINFALL INTENSITY IN BANDUNG  
IN EARLY 2010*

*Annie Hanifah<sup>1)</sup>, Endarwin<sup>2)</sup>*

*<sup>1)</sup>Stasiun Geofisika Kelas 1 Bandung, Jl. Cemara 66 Bandung*

*<sup>2)</sup>Subid Cuaca Ekstrim BMKG, Jl. Angkasa 1 No.2, Jakarta Pusat 10720*

*Email : stageof.bandung@bmkgo.id*

## 8. Sumber Data Kasus Kelongsoran Wonosobo, 2011

