

RAINFALL INDUCED SLOPE INSTABILITY (PENGARUH HUJAN TERHADAP KESTABILAN LERENG)

PROF. IR. NURLY GOFAR, MSCE, PHD

disampaikan pada

SEMINAR & WORKSHOP

KELOMPOK PENELITIAN LERENG, PUSAT STUDI OPTIMASI SPATIAL
UNIVERSITAS BINA DARMA, PALEMBANG
27 DESEMBER 2023



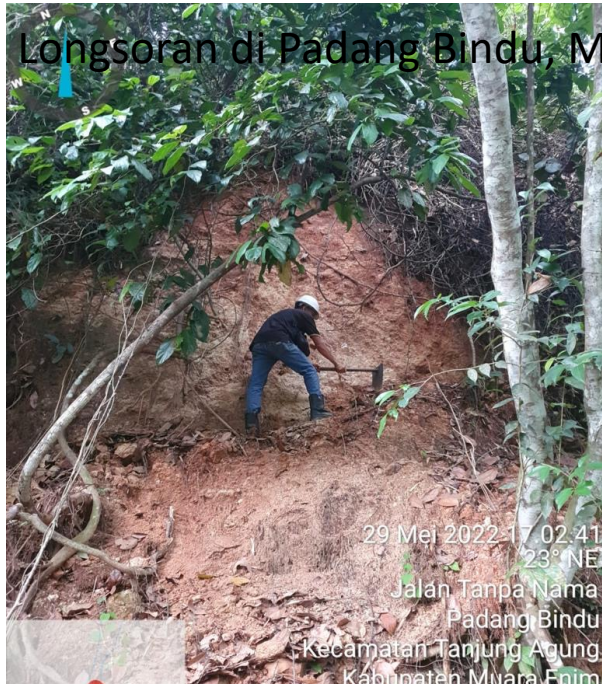
PENDAHULUAN

- Bencana Longsor merupakan bencana yang sering terjadi meskipun konsekuensinya tidak sebesar bencana lain seperti Gempa
- Tanah longsor adalah perpindahan material pembentuk lereng seperti batuan, bahan rombakan dan tanah pada suatu bidang gelicir (perlemahan)
- Longsor biasanya disebabkan oleh faktor Geologi, morfologi dan faktor manusia. Namun kejadian longsor tersebut seringkali dipicu oleh gempa bumi, aktivitas vulkanik dan **infiltrasi curah hujan**



Tanah Longsor akibat curah hujan di Desa Jati Lahat 10 Januari 2002

Longsor di Padang Bindu, Muara Enim



Longsor di OKU Selatan



Longsor di
Kec Air Napal Bengkulu



PENDAHULUAN

- Bagian barat Sumatra merupakan daerah pegunungan dan perbukitan karena terletak pada jalur pegunungan Bukit Barisan. Ada enam kabupaten di Sumsel yang rawan longsor dan longsor, yakni Kabupaten Lahat, Lintang Empat Lawang, Muara Enim, Ogan Komering Ulu dan Ogan Komering Ulu Selatan, Kota Pagar-alam dan Lubuk Linggau.
- Penelitian terdahulu (misal Wilopo & Fathani, 2021) menunjukkan bahwa meskipun merupakan daerah rawan gempa dan aktifitas vulkanik , longsor yang dipicu oleh infiltrasi hujan masih merupakan bencana yang dominan di area Pegunungan Bukit Barisan dan sekitarnya.

PENDAHULUAN

- Infiltrasi hujan ke dalam tanah menyebabkan peningkatan kandungan air dalam tanah, perubahan tekanan air pori, peningkatan berat isi tanah dan holangnya kekuatan tanah. Dalam keadaan ekstrim, hujan dapat menyebabkan naiknya muka air tanah sehingga kekuatan tanah menjadi terganggu.
- Analisis Pengaruh Hujan terhadap Kestabilan Lereng (*Rainfall Induced Slope Instability*) memerlukan pengetahuan mengenai Konsep Mekanika Tanah untuk Tanah tak Jenuh (*Unsaturated Soil Mechanics*)

PENDAHULUAN

- Namun ada keengganan dari praktisi untuk mempelajari dan menerapkan konsep ini. Mereka beranggapan adalah **berisiko** (memberikan faktor keamanan yang lebih tinggi) dan memakan waktu lama.
- Dengan demikian *conventional Soil Mechanics* yang menganggap tanah dalam kondisi jenuh air tetap digunakan (karena memberikan faktor keamanan yang lebih rendah)
- Tujuan dari seminar ini adalah untuk menunjukkan pentingnya Unsaturated soil mechanics dalam memahami kejadian tanah runtuh akibat hujan.

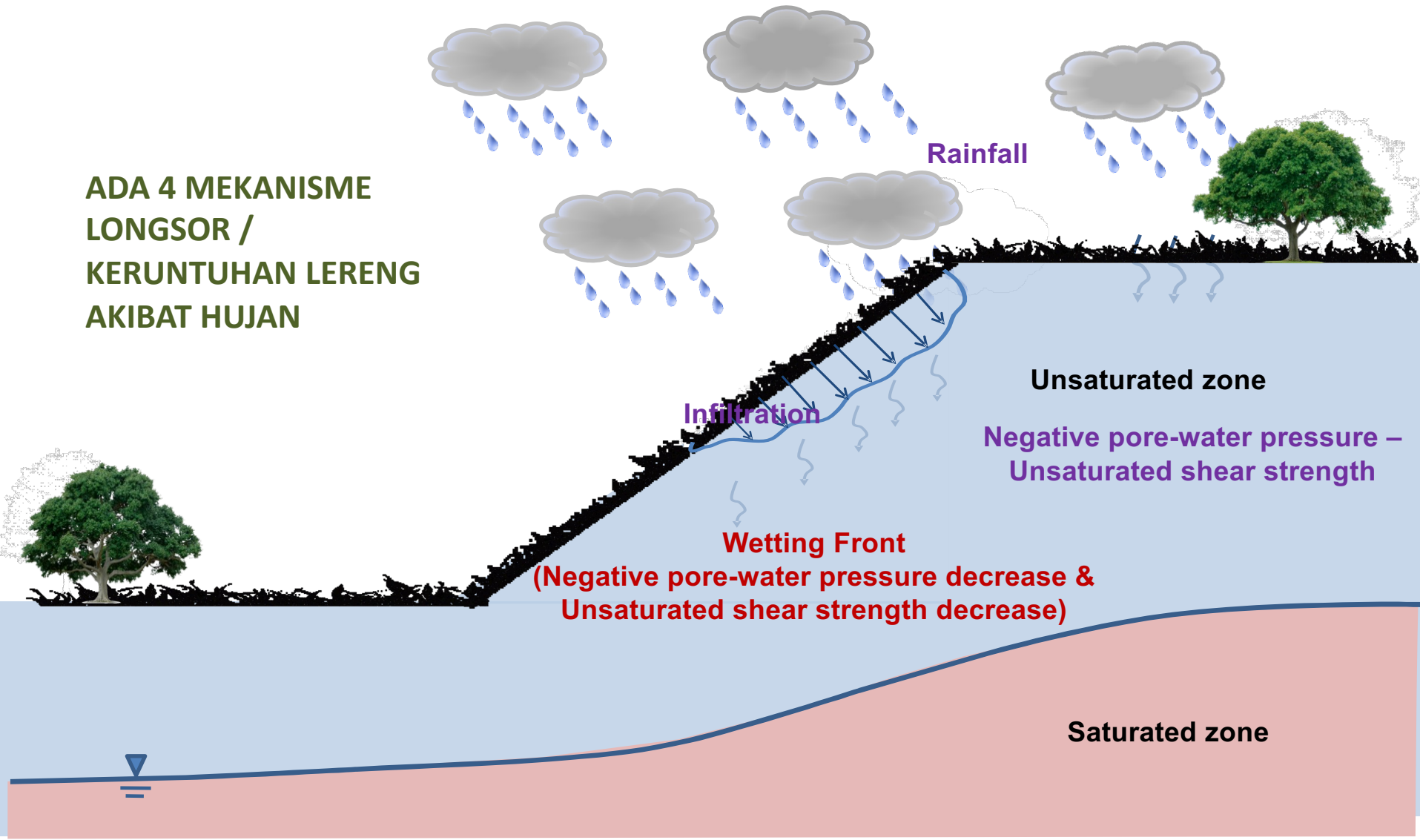
TUJUAN

Tujuan dari seminar ini adalah:

- 1) Menyampaikan mekanisme keruntuhan Lereng akibat hujan
- 2) Memberikan dasar dasar pengetahuan Unsaturated Soil Mechanics
- 3) Menunjukkan pentingnya konsep Unsaturated Soil mechanics dalam memahami kejadian tanah runtuh akibat hujan.
- 4) Menginformasikan hasil penelitian oleh kelompok penelitian Lereng UBD berkaitan skenario hujan kritis penyebab Longsor.

MEKANISME KERUNTUHAN LERENG AKIBAT HUJAN

ADA 4 MEKANISME
LONGSOR /
KERUNTUHAN LERENG
AKIBAT HUJAN



Mekanisme 1

Curah hujan

Infiltrasi

Wetting Front / Pembasahan

Penurunan suction

Pengurangan Kuat Geser

Tanah Runtuh

Mekanisme 2

Peningkatan berat tanah

Tanah Runtuh

Mekanisme 3

Air terkumpul di suatu lapisan (Perched Water Table)

Tanah Runtuh

Mekanisme 4

Wetting Front mencapai Muka Air Tanah

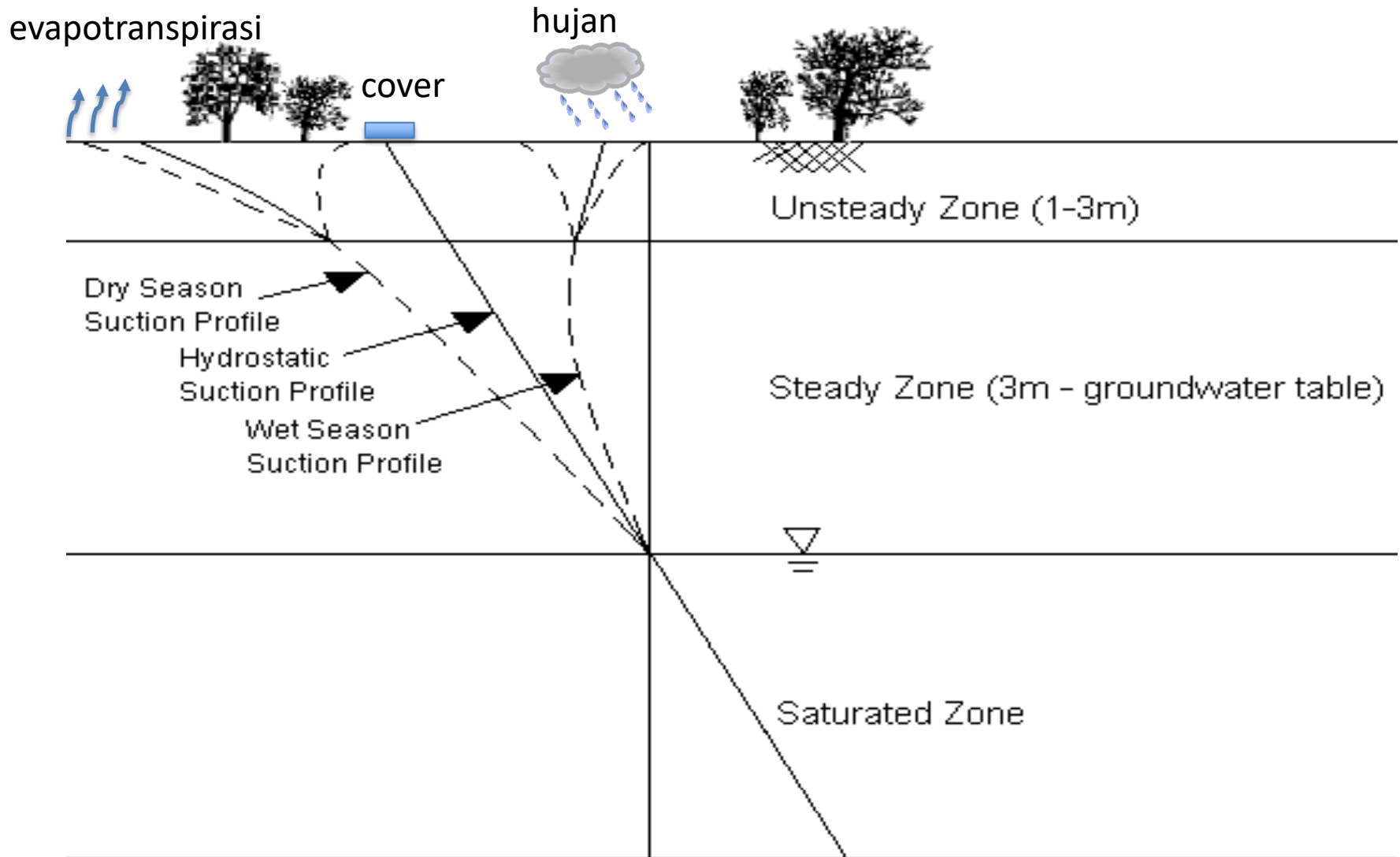
Muka air tanah naik

Tanah Runtuh

Mekanisme

- Mekanisme 2 hanya terjadi bila ada bidang perlemahan atau ada perubahan lapisan tanah dengan posisi dangkal
- Mekanime 3 terjadi bila ada lapisan lensa (pasir)
- Mekanisme 4 mungkin terjadi bila infiltrasi hujan mencapai muka air tanah dan mengakibatkan naiknya muka air tanah

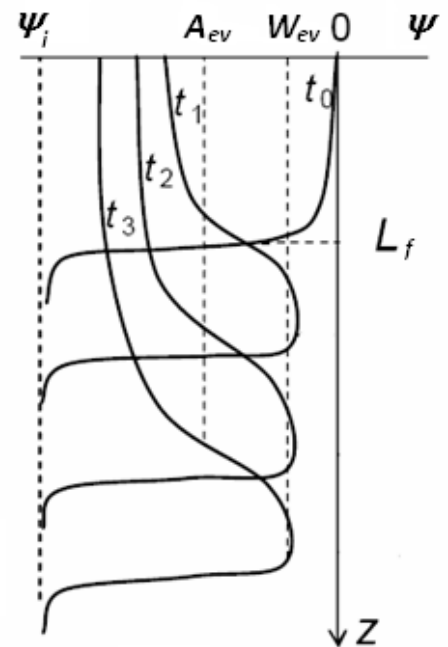
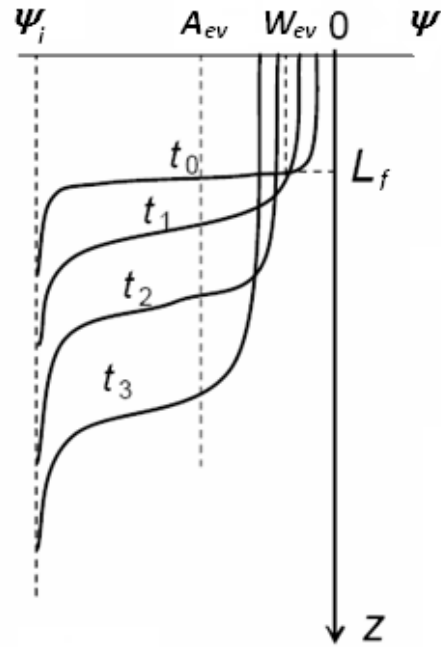
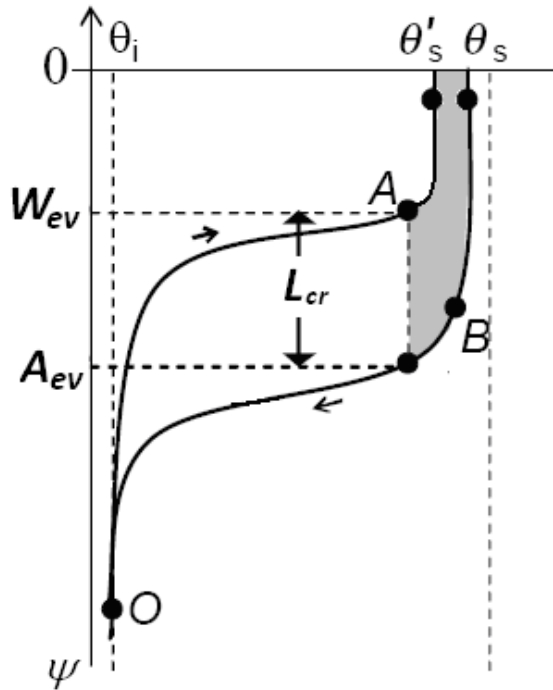
Distribusi tekanan air pori pada tanah tak jenuh



Mekanisme

- Daerah pegunungan biasanya terbentuk dari tanah residual dimana muka air tanah jauh dari permukaan tanah.
- Infiltrasi hujan terjadi sampai kedalaman tertentu (*wetting front*) tergantung dari geometri dan sifat (permeabilitas) tanah.
- Infiltrasi hujan dapat dijelaskan dengan metode Green Ampt.

Wetting Front & Suction Redistribution



Mekanisme 1

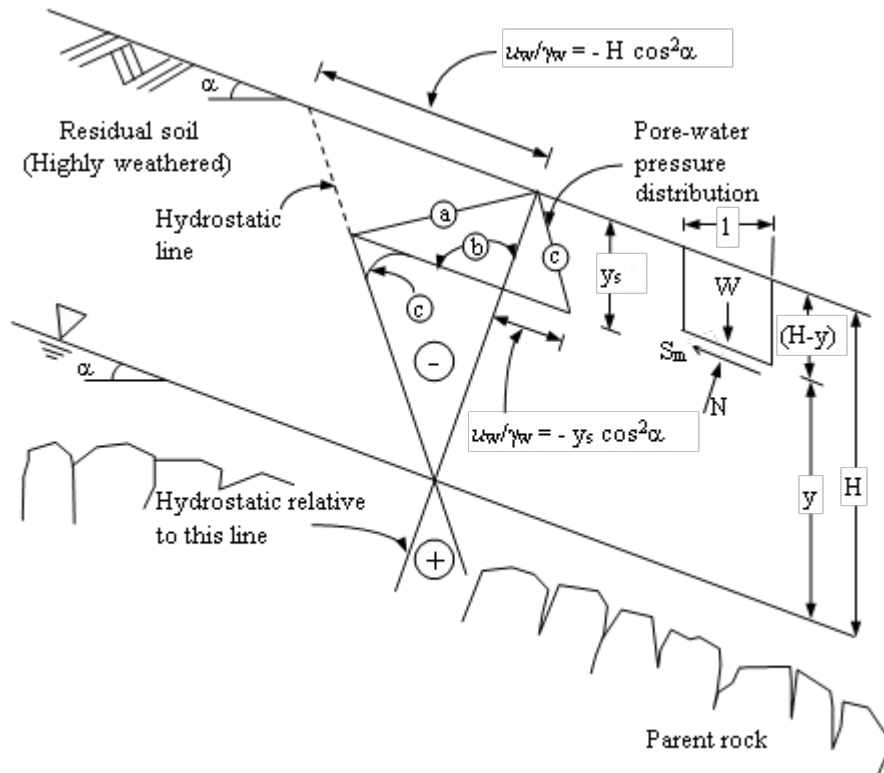
Mekanisme 1

- Curah hujan
- Infiltrasi
- Wetting Front / Pembasahan
- Penurunan suction
- Pengurangan Kuat Geser
- Tanah Runtuh

Karena posisi MAT jauh dari muka tanah maka Mekanisme 1 merupakan mekanisme yang paling mungkin terjadi dalam lereng dan dapat digunakan sebagai dasar analisis perubahan stabilitas lereng yang dipicu oleh hujan

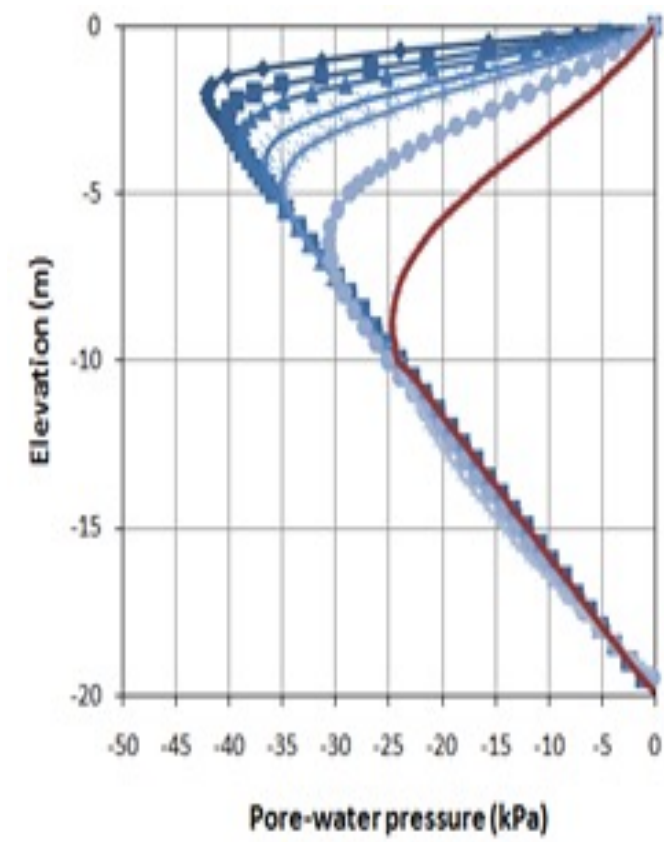
Infiltrasi hujan pada lereng

dijelaskan oleh Rahardjo et al (1995)

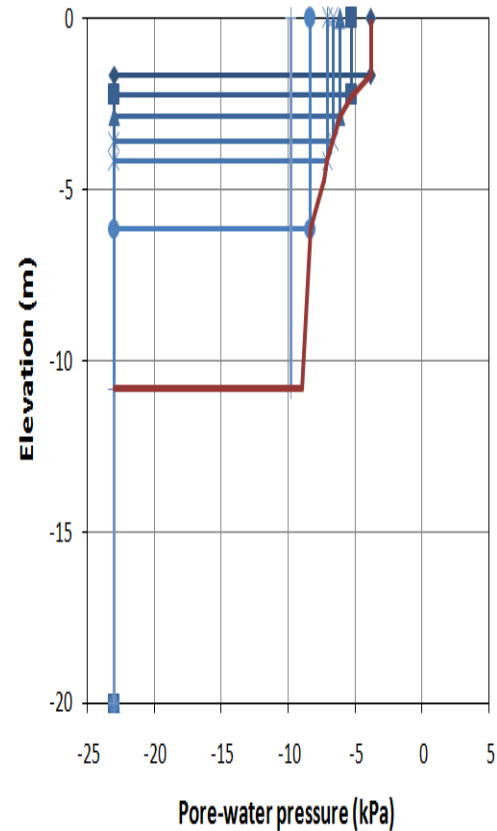


Profile a: Homogeneous low permeability soil (Lempung)
Profile b: Homogeneous high permeability soil (Pasir)
Profile c: Layered soil (Tanah berlapis)

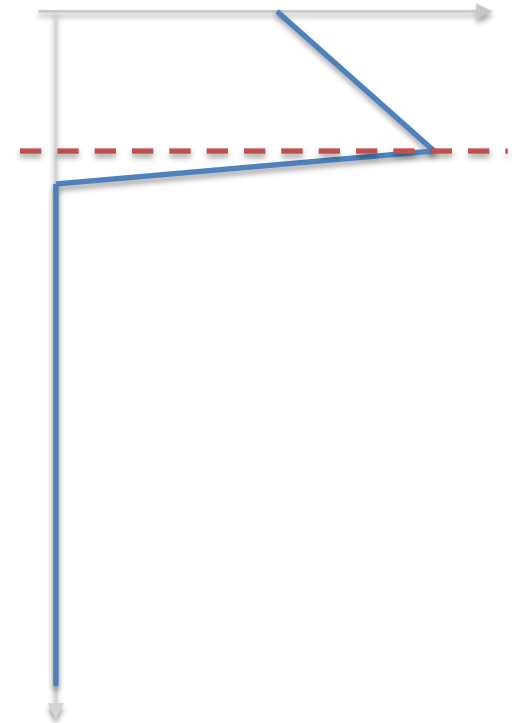
Distribusi tek air pori akibat infiltrasi hujan



Profil a , lempung



Profil b, pasir



Profil c, tanah berlapis

Infiltrasi air hujan

Dalam tanah pasir
(**permeabilitas tinggi**)
berlangsung cepat dengan
demikian keruntuhan
lereng yang terbentuk
oleh pasir terjadi pada
saat hujan lebat atau
segera sesudah hujan
berhenti.

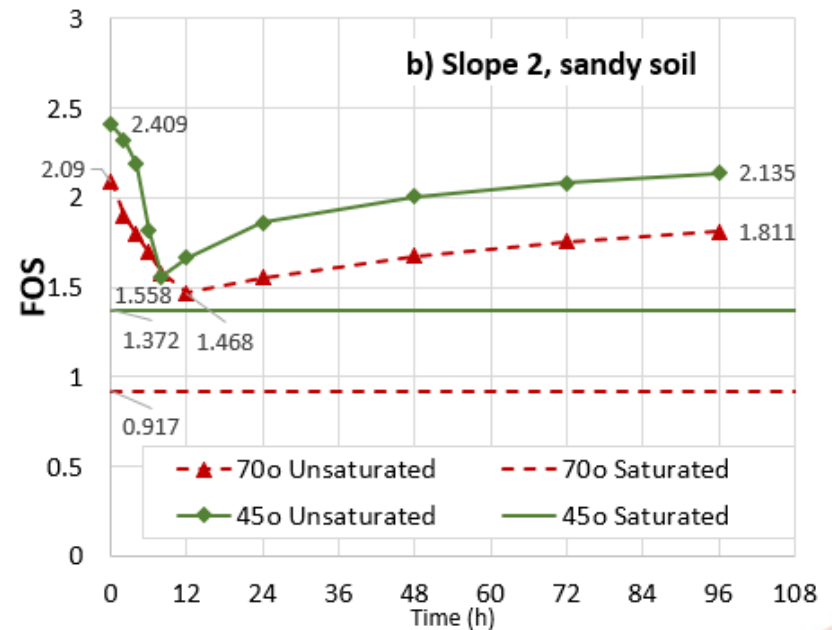
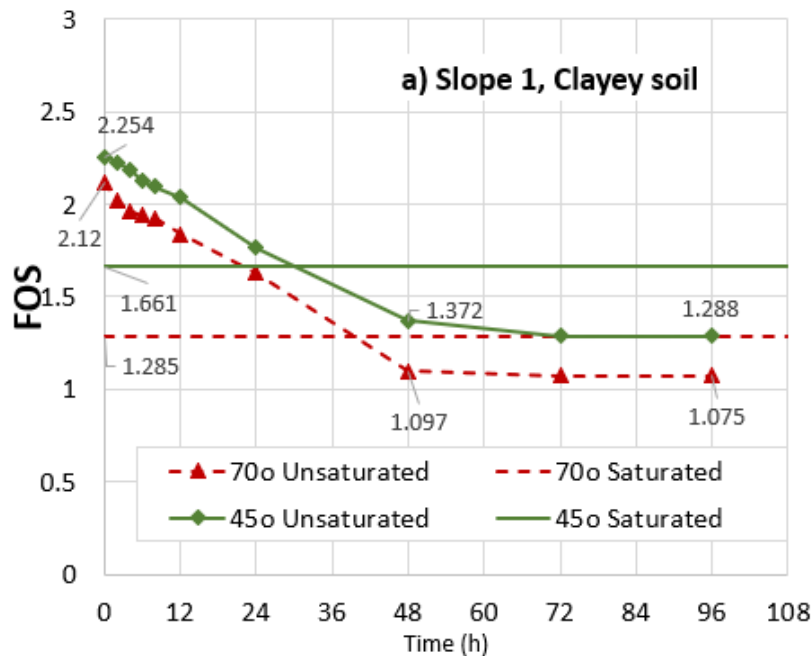
Dalam tanah lempung
(**permeabilitas rendah**)
infiltrasi hujan berlangsung
lambat sehingga
terkadang keruntuhan
lereng terjadi lama setelah
hujan berakhir (disebut
delayed failure)

Analisis dengan asumsi tanah saturated & Analisis dengan konsep tanah unsaturated (Rahardjo & Gofar, 2017)

Asumsi tanah saturated dilakukan dengan menganggap bahwa hujan menaikkan posisi muka air tanah sehingga analisis dilakukan dengan berbagai posisi muka air tanah tersebut (paling kritis $MAT = MT$)

Konsep tanah Unsaturated dilakukan dengan memodelkan infiltrasi (Green Ampt model) Dimana keruntuhan dapat terjadi sebelum air hujan mencapai MAT.

Hasil studi parametrik menunjukkan bahwa asumsi bahwa pendekatan dengan metode konvensional tidak selalu benar untuk tanah lempung (clayey soil)



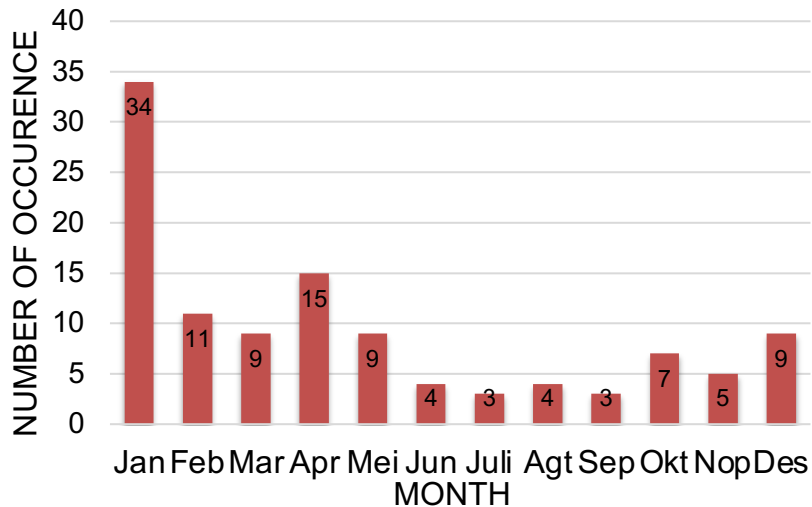
Scenario Hujan Penyebab Longsor



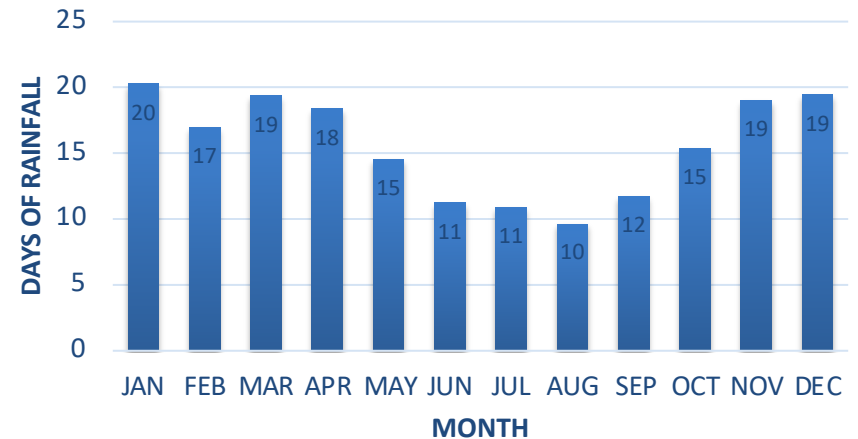
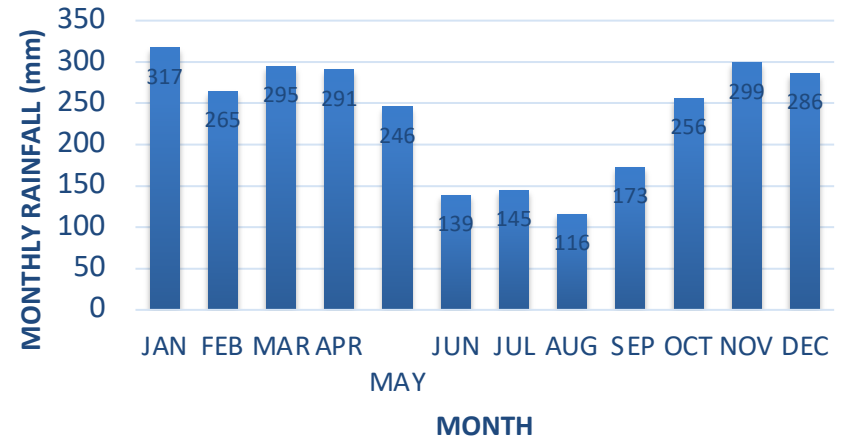
SCENARIO HUJAN PENYEBAB LONGSOR

- Di daerah Pagar Alam dan sekitarnya, longsor umumnya terjadi dalam bulan Januari sampai April (60%) meskipun musim hujan telah dimulai pada bulan Oktober.
- Pengamatan menunjukkan bahwa longsor umumnya terjadi pada pagi hari setelah hujan dengan intensitas tinggi terjadi sejak malam hari.
- Longsoran biasanya diikuti oleh banjir bandang

Kejadian Longsor di Pagar Alam
berdasarkan bulan selama 10
tahun terakhir (Data BPBD tahun
2013-2022)



Data Hujan bulanan (Rata rata tahun
1985 – 2020)



Kebanyakan longsor terjadi saat fajar setelah hujan lebat yang berlangsung pada malam sebelumnya

Contoh kejadian tanah Longsor di jalan Lahat – Pagar Alam (Desa Terkul) 5 Januari 2020 mengakibatkan terputusnya jalur lalu lintas selama 9 Jam dan 1 orang meninggal dunia.

Longsor terjadi sekitar pk 04:00 dini hari setelah hujan berterusan pada malam harinya (diperkirakan selama 10 jam)

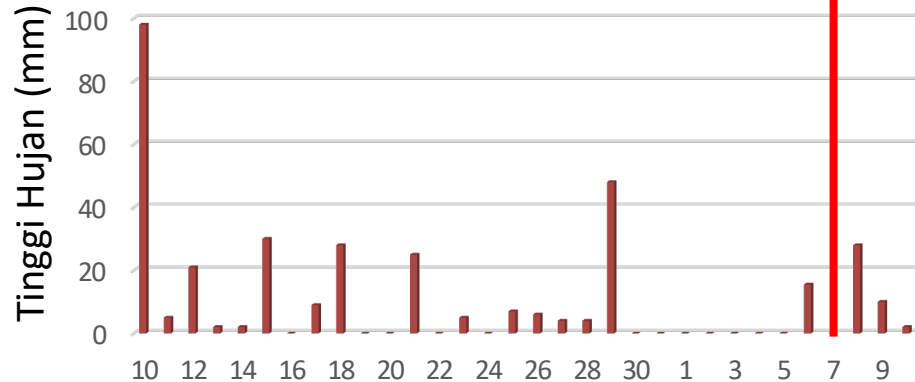


Longsor umumnya diiringi oleh banjir bandang



Longsor

Curah Hujan Stasiun Kepahiyang



Data hujan diambil dari Stasiun Geofisika (BMKG) Kepahiyang dikarenakan memiliki jarak terdekat dengan lokasi Keruntuhan Lereng. Jarak stasiun dengan KM 295+650 sejauh 54Km dan jarak dengan KM 238+000 sejauh 93Km.

Hujan terdekat terjadi pada tanggal 6 Februari 2020 dengan curah hujan sebesar 15,5 mm

Sumber : 

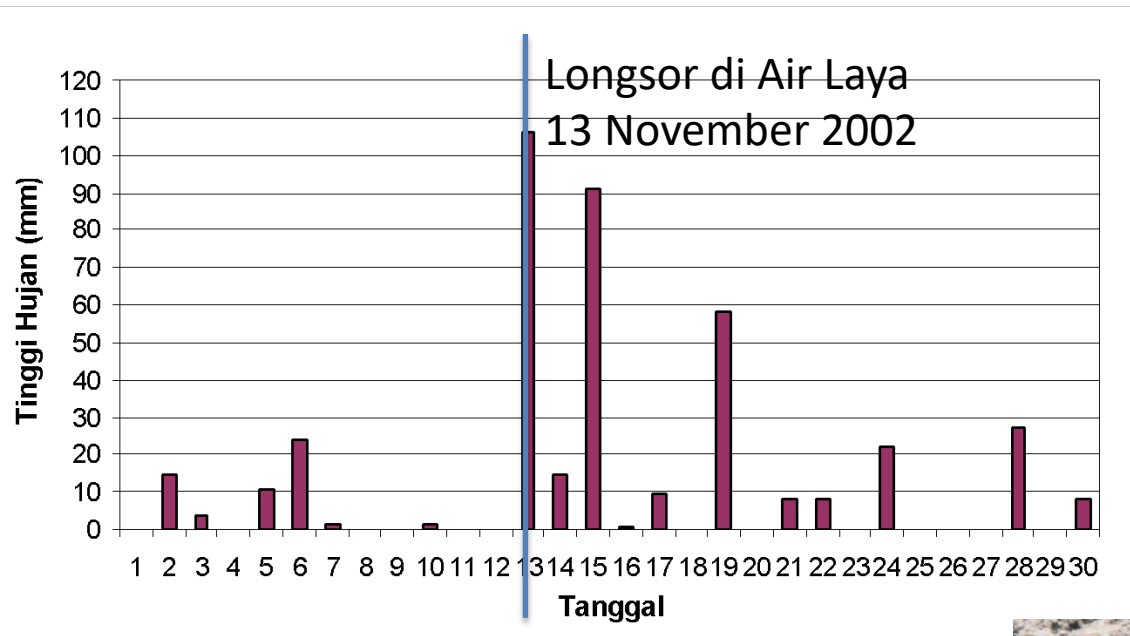
Penyebab Keruntuhan Lereng

Penyebab keruntuhan lereng pada Km 295+650 diakibatkan oleh air hujan yang memasuki celah retakan dengan litologi breksi gunung api yang memiliki porositas yang tinggi dan juga pada lokasi terdapat kelurusan rekahan yang disebabkan oleh Sesar Semangko.



Keruntuhan lereng pada Km 238 + 000 diduga karena limpasan air hujan menggenangi badan jalan yang kemudian memasuki celah retakan pada daerah dengan litologi batulempung tufan yang memiliki sifat kembang susut.

ID WMO	: 96257
Nama Stasiun	: Stasiun Geofisika Kepahiyang
Lintang	: -3.55000
Bujur	: 102.58900
Elevasi	: 517



Hujan Threshold

Beberapa peneliti menggunakan istilah jumlah curah hujan kumulatif sebagai ambang batas (threshold) penyebab longsor. Brand (1984) menyarankan curah hujan $>70\text{mm}$ selama 1 hari di Hong Kong perlu diwaspadai dengan kemungkinan terjadinya Longsor. Lee dkk (2011) menyimpulkan bahwa hujan kumulatif penyebab longsor di Hulu Kelang adalah 500mm . Wilopo dkk (2021) menyimpulkan bahwa hujan kumulatif sebelum keruntuhan di Bukit Beriti adalah $355,21\text{ mm}$.

Hujan Anteseden

- Rahardjo dkk. (2001) menekankan peran hujan anteseden dalam proses keruntuhan lereng yang dipicu oleh hujan. Lee, Gofar & Rahardjo (2009) menerjemahkan hal ini sebagai kelembaban awal (initial moisture) dimana sebagian ruang dalam pori tanah telah terisi oleh air sehingga proses infiltrasi dapat menyebabkan kejenuhan tanah dan keruntuhan yang lebih cepat.
- Rahardjo dkk. (2001) menyatakan bahwa hujan anteseden selama 5 hari merupakan pemicu dari keruntuhan lereng di Singapura. Hal ini dibuktikan pada penelitian selanjutnya (Rahardjo, Nistor, Gofar dkk, 2019).
- Beberapa peneliti seperti Lumb (1975), Ng & Shi (1998), Zezere (2005); Ma dkk. (2014); Yang dkk., (2020) menunjukkan bahwa lamanya hujan anteseden bervariasi sesuai dengan jenis dan kondisi tanah dan hujan.

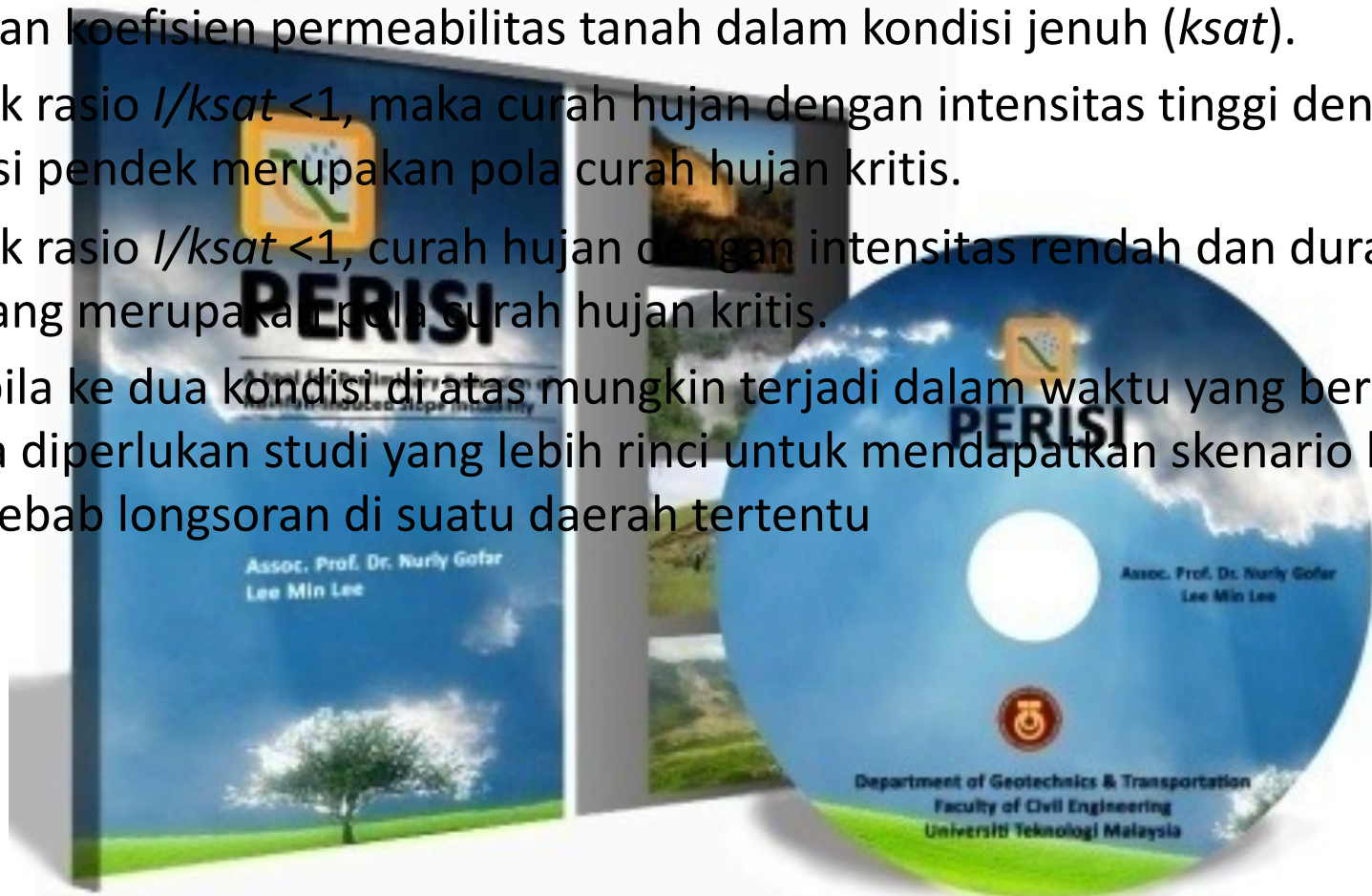
Perbandingan Intensitas Hujan dengan Jenis Tanah

Lee, Gofar & Rahardjo (2009) Membandingkan antara intensitas hujan (I) dengan koefisien permeabilitas tanah dalam kondisi jenuh (k_{sat}).

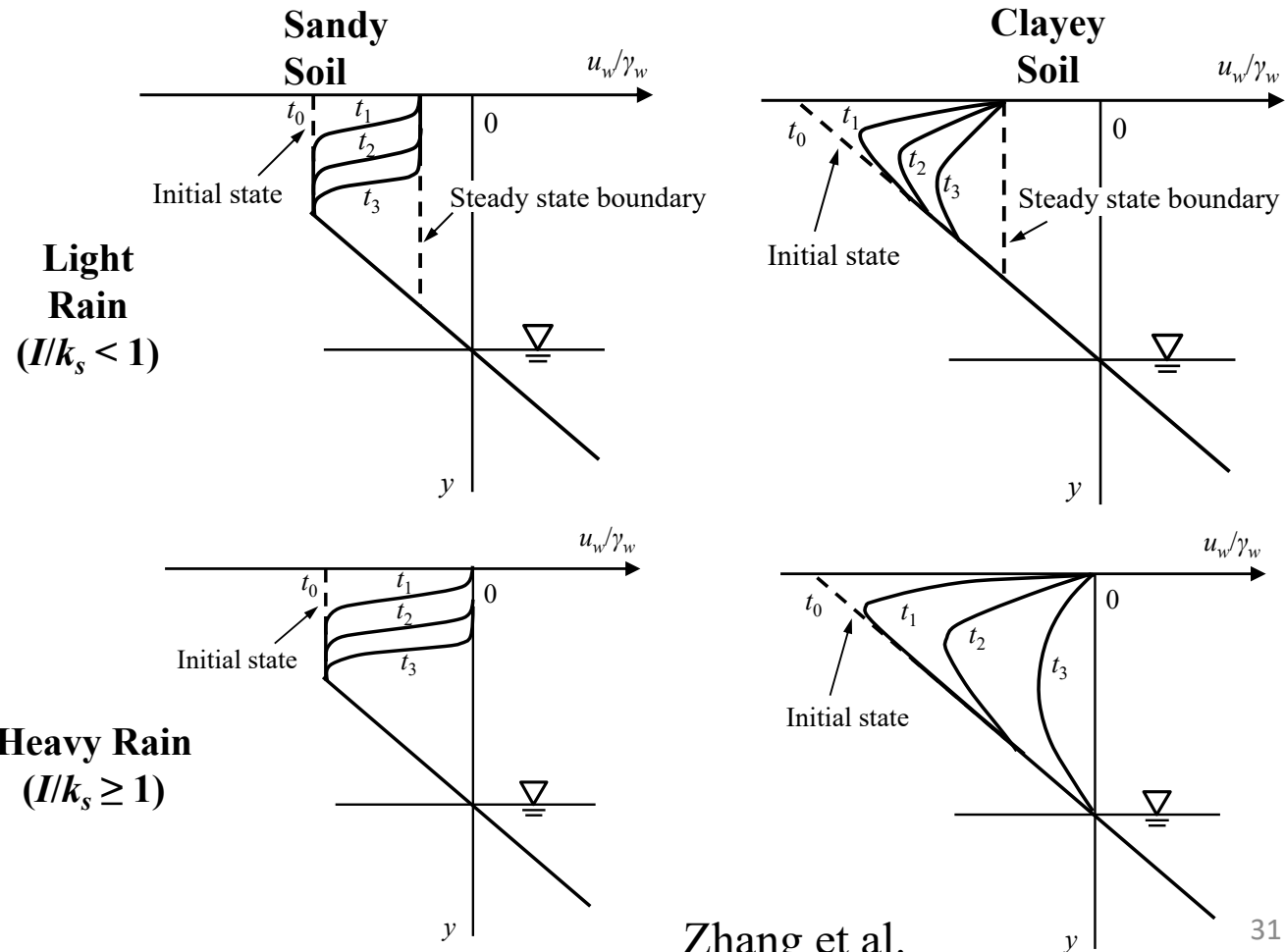
Untuk rasio $I/k_{sat} < 1$, maka curah hujan dengan intensitas tinggi dengan durasi pendek merupakan pola curah hujan kritis.

Untuk rasio $I/k_{sat} > 1$, curah hujan dengan intensitas rendah dan durasi panjang merupakan pola curah hujan kritis.

Apabila ke dua kondisi di atas mungkin terjadi dalam waktu yang berbeda, maka diperlukan studi yang lebih rinci untuk mendapatkan skenario hujan penyebab longsor di suatu daerah tertentu

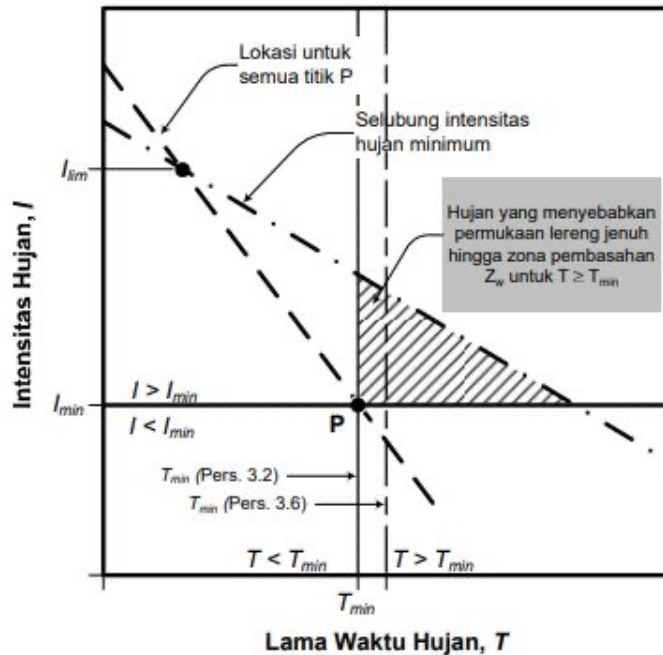


Zhang et al 2011

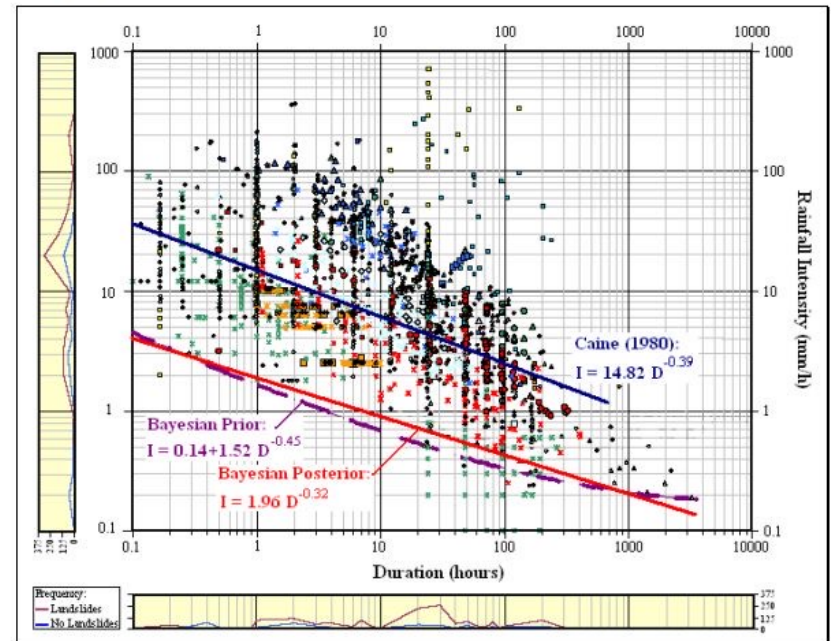


Zhang et al.
(2011)

Scenario Hujan Penyebab Longsor

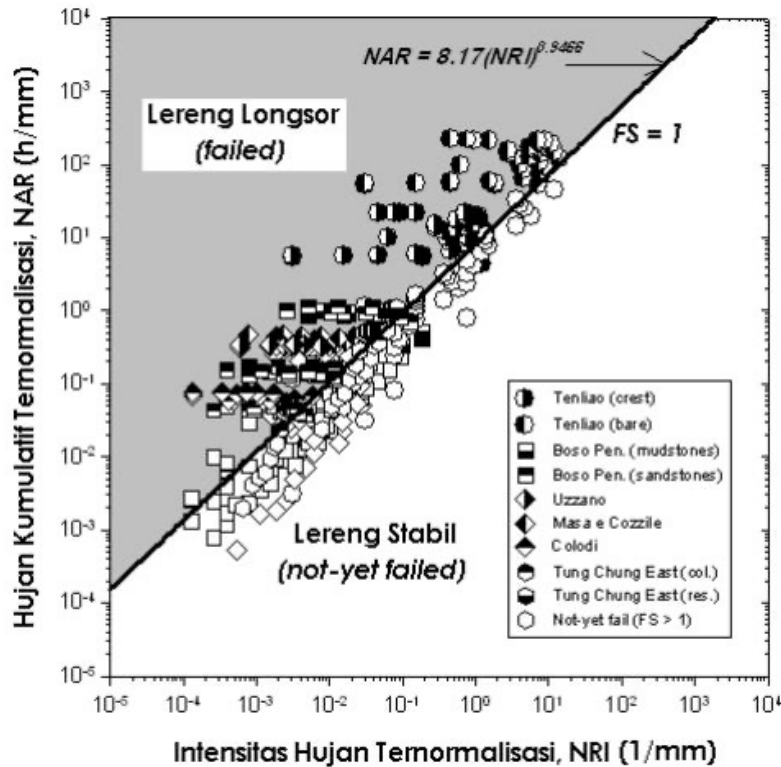


Gambar 3.5 Ambang intensitas hujan yang menyebabkan permukaan lereng jenuh air hingga zona pembasahan (dimodifikasi dari Pradel & Raad, 1993).

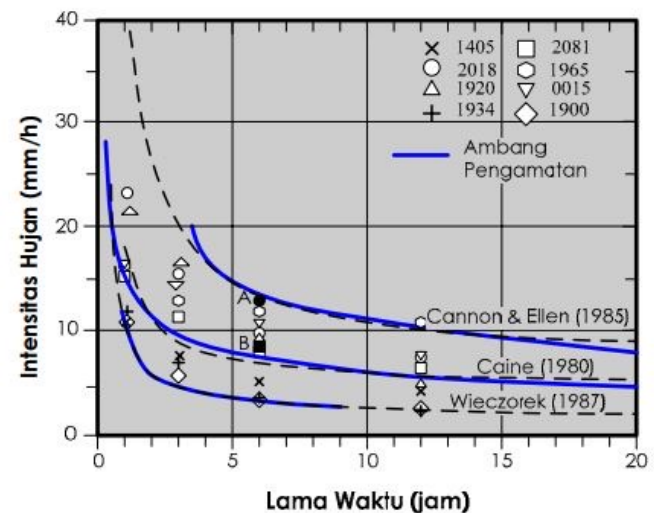


Gambar 3.8 Ambang hujan batas bawah dihitung dengan model statistika Bayesian (Guzzetti et al., 2005).

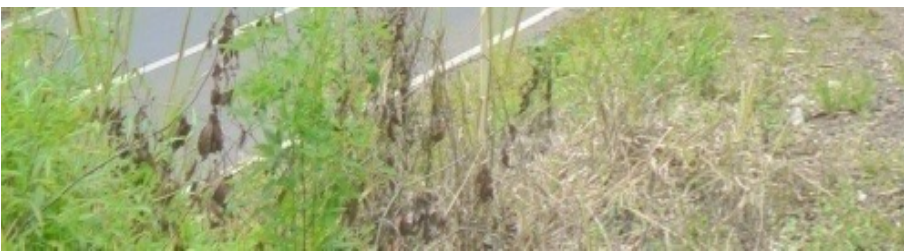
Scenario Hujan Penyebab Longsor



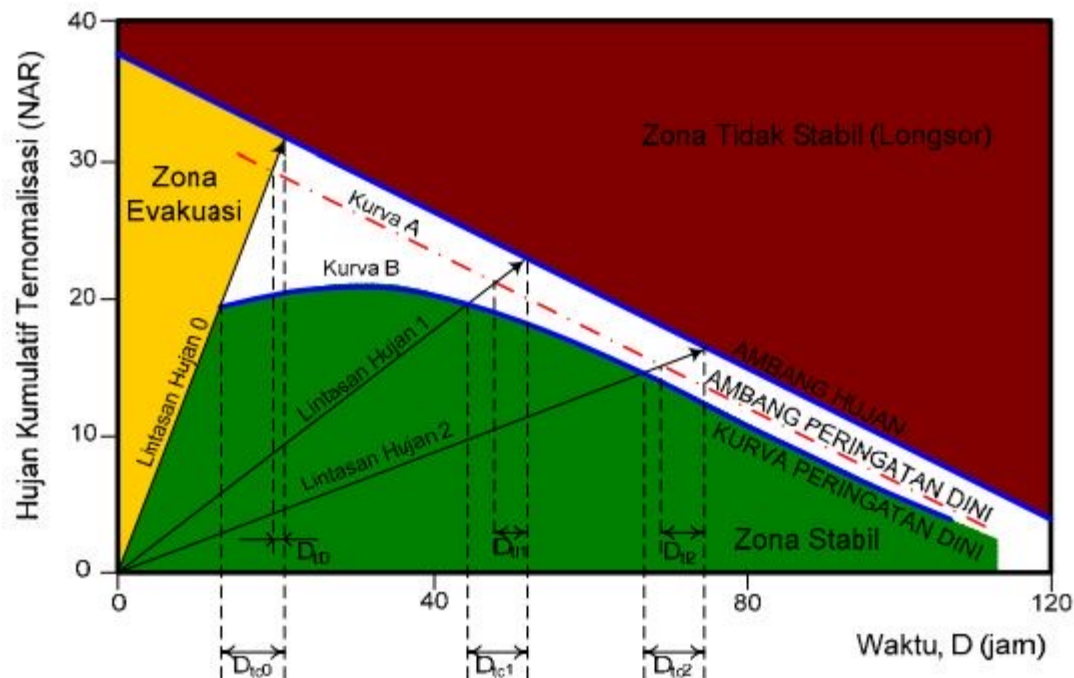
Gambar 3. 7 Kurva ambang hujan ternormalisasi berdasarkan model fis (Muntohar dan Liao, 2009).



Gambar 3.9 Ambang hujan yang dikombinasikan dengan pengukuran hujan untuk peringatan dini tanah longsor (Keefer et al., 1987).



Scenario Hujan Penyebab Longsor



Gambar 3. 11 Kriteria untuk kurva peringatan longsor berdasarkan ambang hujan (dimodifikasi dari Aleotti, 2004)

Scenario Hujan penyebab Longsor

Hasil studi Parametrik untuk tanah lempung (CH) di Pagar Alam:

1. Kondisi kritis tercapai untuk kombinasi hujan anteseden dan hujan lebat.
2. Untuk sudut 27° , hujan anteseden 1.17 mm/jam selama 7 hari diperlukan untuk mendapatkan kelembaban awal (initial suction) sebelum hujan lebat sebesar 22mm/jam selama 10 jam merupakan kondisi paling kritis. Hujan akumulatif adalah 416,55 mm
3. Untuk sudut lereng 39° , hujan anteseden 1.17 mm/hour diperlukan untuk mendapatkan kelembaban awal (initial suction) sebelum hujan lebat sebesar 22mm/jam merupakan kondisi paling kritis. Faktor keamanan turun menjadi 1 setelah hujan lebat selama 9 jam. Hujan akumulatif adalah 338,40 mm
4. Hasil ini menyerupai kondisi umum keruntuhan lereng yang terjadi di Pagaralam misalnya di Desa Terkul, kombinasi curah hujan awal (selama 30 hari) dan hujan lebat adalah 349mm. Demikian juga hasil penelitian di Beriti Hill Bukit Barisan menunjukkan komdinasi hujan awal dan hujan lebat sebesar 335.21 mm diperlukan untuk mencapai kondisi kritis..

Scenario Hujan penyebab Longsor di kota Pagaralam dengan asumsi tanah pembentuk lereng berupa Lempung

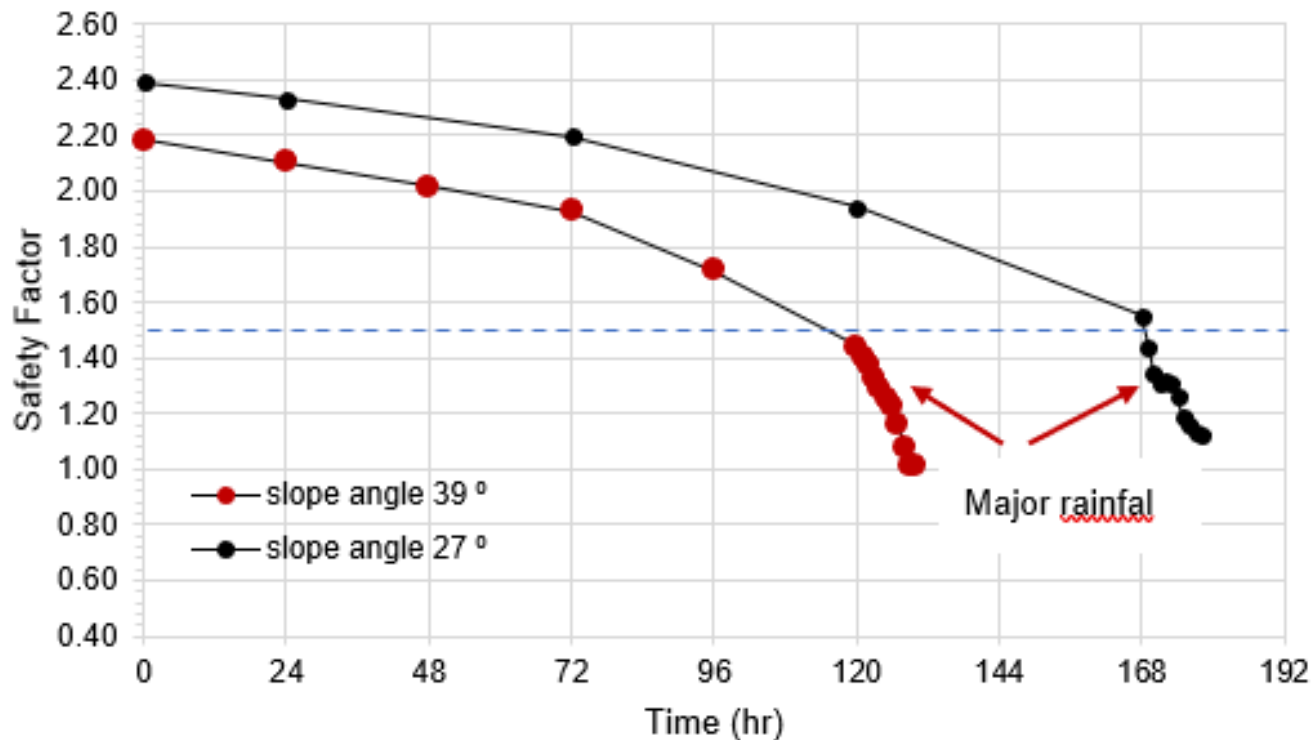
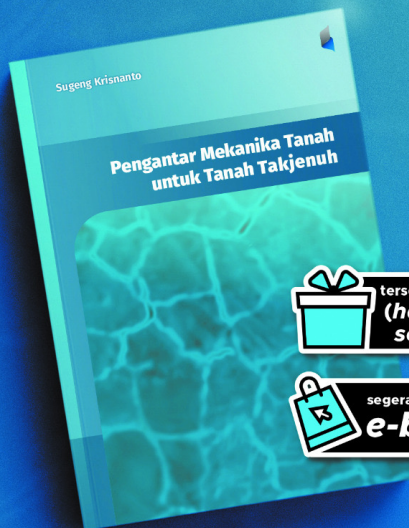


Fig. 17 Change in Factor of safety due to rain application in Scenario 3



Telah Terbit
**PENGANTAR MEKANIKA TANAH
UNTUK TANAH TAKJENUH**

Oleh: Sugeng Krisnanto



tersedia versi cetak
(**hardcover/**
softcover)



segera hadir versi
e-book

Informasi dan pemesanan via ITB Press

 0877-8806-6848 (Marketing ITB Press)  office@itbpress.id  <https://www.itbpress.id/>

Agus Setyo Muntohar



TANAH LONGSOR



THANK YOU

