

Studi Mekanisme Kelongsoran Akibat Hujan Berdasarkan Pemodelan Skala Laboratorium dan Numerik 2-D

RIZKY RISTIANTO¹, ADRIN TOHARI², INDRA NOER HAMDHAN¹

1. Mahasiswa (Institut Teknologi Nasional)
 2. Dosen pembimbing 1 (Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia)
 3. Dosen pembimbing 2 (Institut Teknologi Nasional)
- Email : rizky.eki53@gmail.com

ABSTRAK

Kelongsoran di Indonesia umumnya terjadi pada saat musim hujan. Infiltrasi air hujan dapat mengubah karakteristik tanah pada lereng, sehingga dapat mengganggu kestabilan lereng dan mengakibatkan kelongsoran. Penelitian ini dilakukan untuk mengetahui mekanisme kelongsoran berdasarkan pemodelan skala laboratorium dan numerik 2D menggunakan Plaxis 2D yang berbasis metode elemen hingga. Sebuah lereng dengan tanah pasir homogen dibuat di dalam sebuah kotak uji untuk diuji kesetabilannya akibat hujan. Intensitas hujan yang digunakan yaitu 140 mm/jam selama 6 menit dan 78 mm/jam selama 60 menit (hingga pergerakan air dalam tanah stabil). Hasil dari pengujian lereng skala laboratorium akan dibandingkan dengan analisis numerik 2D. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mekanisme kelongsoran diawali dengan penjujukan dan pembentukan muka air tanah (MAT) di kaki lereng. sementara penjujukan dan pembentukan MAT terus berjalan, deformasi dan rembesan mulai terbentuk di daerah sisi lereng yang terus membesar dan mengakibatkan kelongsoran.

Kata kunci: mekanisme kelongsoran, hujan, pemodelan laboratorium, analisis numerik 2D

1. PENDAHULUAN

Kenaikan kadar air tanah akibat hujan akan memperlemah sifat-sifat mekanik tanah dan menurunkan faktor keamanan lereng (Hirawan dan Zulfiadi, 1993). Pada penelitian ini dilakukan studi mekanisme kelongsoran pada lereng yang diakibatkan oleh hujan berdasarkan uji pemodelan fisik skala laboratorium dan numerik 2-D menggunakan Plaxis 2D yang berbasis metode elemen hingga. Tujuan dari penelitian ini yaitu untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik mengenai mekanisme kelongsoran akibat hujan.

2. LANDASAN TEORI

Tanah longsor adalah perpindahan material yang membentuk lereng berupa material tanah atau campuran yang bergerak ke bawah atau keluar lereng (Muntohar, 2010). Mekanisme Tanah longsor merupakan rangkaian kejadian yang menerus dari penyebab hingga dampak kelongsoran (Varnes, 1978). Hujan pemicu kelongsoran adalah tipe hujan deras dan tipe hujan normal tetapi berlangsung dengan durasi lama (Karnawati, 2010). Intensitas tipe hujan deras yaitu lebih dari 100 mm/hari sedangkan tipe hujan normal yaitu 20 mm/hari. Analisis stabilitas lereng dilakukan untuk menentukan faktor keamanan dari bidang longsor potensial (Hardiyatmo, 2006). *Finite element method* merupakan metode analisis stabilitas lereng dengan menyederhanakan elemen kontinyu menjadi elemen yang lebih kecil. Pada metode ini lereng dimodelkan sebagai *plain-strain* 2 dimensi dengan model keruntuhan Mohr-Coulomb dan parameter kuat geser tanah yang tersedia berturut-turut direduksi secara otomatis hingga kelongsoran terjadi. Berdasarkan SNI 8460:2017, umumnya nilai minimum faktor keamanan yang menyatakan suatu lereng dianggap stabil yaitu sebesar 1,5.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Alur Penelitian

Penelitian dilakukan dengan alur berikut: studi literatur, pengujian laboratorium, analisis numerik 2D, analisis dan pembahasan, dan kesimpulan dan saran.

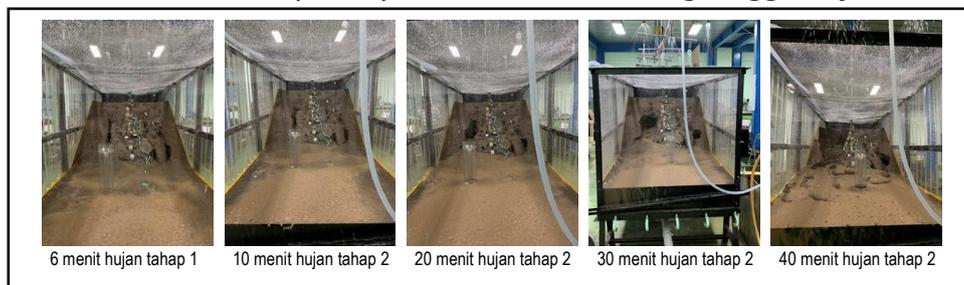
3.2 Lokasi Pengumpulan Data

Lokasi pengumpulan data dilaksanakan di laboratorium yang dimiliki oleh Pusat Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia (LIPI) Bandung yang berlokasi di JL. Sangkuriang, Kompleks LIPI, 40135, Dago, Kecamatan Coblong, Kota Bandung, Jawa Barat 40135.

4. ANALISA

Model lereng memiliki MAT inisial setinggi $\pm 23 \text{ cm}$. Intensitas hujan yang digunakan yaitu $\pm 140 \text{ mm/jam}$ selama $\pm 6 \text{ menit}$ (tahap 1) dan $\pm 78 \text{ mm/jam}$ selama $\pm 1 \text{ jam}$ (tahap 2). Pengujian direkam menggunakan kamera agar memberikan pengamatan yang lebih baik.

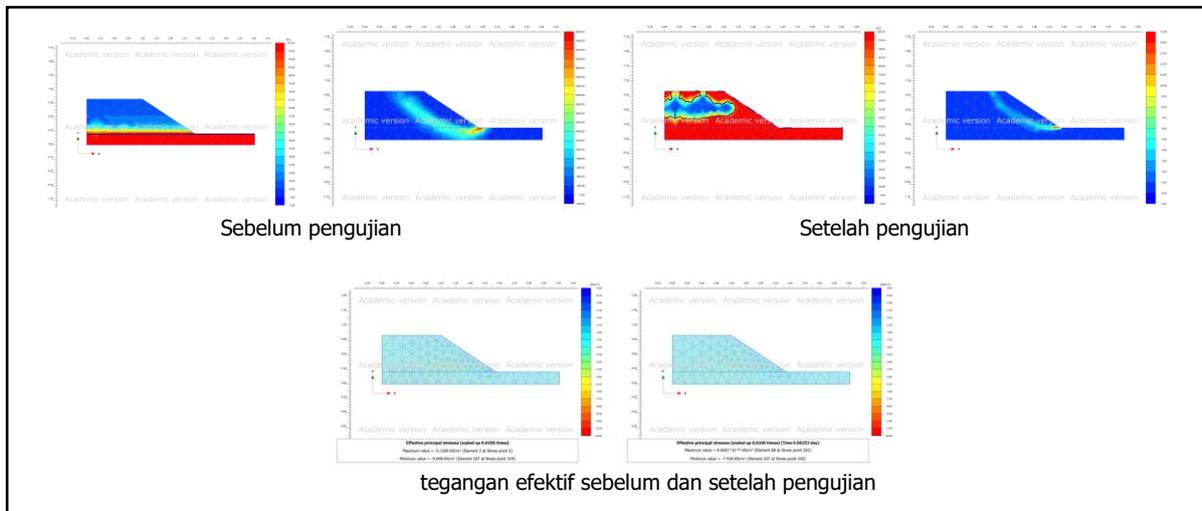
Saat simulasi hujan tahap 1 dilakukan, pembentukan muka air tanah (MAT) dalam badan lereng dengan cepat terbentuk selain itu penjenjuran dan rembesan pada daerah kaki lereng terbentuk lebih cepat pada sisi kanan lereng. Ini mungkin dapat terjadi karena kesalahan teknis pada *rainfall simulator* bagian kanan yang memberikan tekanan air yang lebih tinggi pada daerah ini. Diakhir hujan tahap 1, deformasi mulai terbentuk pada sisi-sisi lereng memanjang hingga kaki lereng. Saat hujan tahap 2 dilakukan, deformasi yang telah terbentuk terus berkembang yang diikuti dengan naiknya MAT pada bagian belakang lereng dan rembesan pada lereng. Deformasi pada bagian sisi kanan lereng runtuh dan mengeluarkan aliran lumpur setelah pengujian berjalan selama $\pm 30 \text{ menit}$, runtuh terjadi setelah itu dan longsoran terjadi pada daerah ini setelah pengujian berjalan selama $\pm 40 \text{ menit}$. **Gambar 4** menampilkan perubahan model lereng hingga terjadi kelongsoran.



Gambar 1. Perubahan bentuk lereng selama pengujian

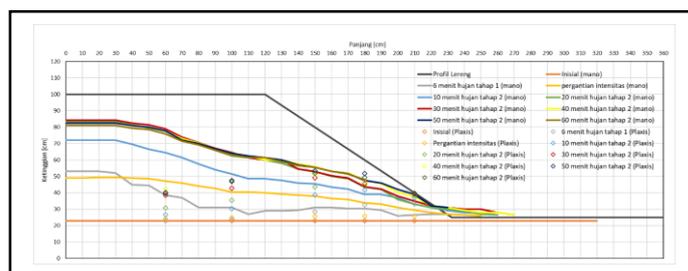
MAT terbentuk dari bawah dan atas lereng, pembentukan MAT dari bawah terbentuk karena infiltrasi air hujan di kaki lereng yang mengakibatkan kenaikan MAT di bagian belakang, sedangkan pembentukan dari atas terbentuk karena infiltrasi air hujan di permukaan yang *Phreatic line* (garis berwarna biru tua) yaitu garis yang memisahkan tanah jenuh dan tidak jenuh. Kejenuhan pada kondisi sebelum pengujian hanya pada ketinggian MAT inisial dan penjenjuran lereng terus meluas selama pengujian berjalan. Mekanisme kegagalan lereng ditampilkan oleh *deviatoric strain* ($\Delta\gamma_s$) pada fase faktor keamanan dan penurunan tegangan efektif tanah pada fase perhitungan. Bidang gelincir pada saat sebelum pengujian membentuk *non circular* yang dalam dan menjadi dangkal setelah pengujian. Penurunan nilai tegangan efektif akan mengakibatkan penurunan pada kuat geser tanah. Hal ini dapat terjadi karena adanya kenaikan tekanan air pori positif akibat kenaikan muka air tanah dalam badan lereng. Penurunan nilai kuat geser tanah dimulai sejak pengujian dimulai, sedangkan tegangan geser yang terjadi dalam tanah terus meningkat akibat kenaikan muka air tanah yang dipicu oleh infiltrasi air hujan. Akhirnya kelongsoran terjadi saat nilai kuat geser tanah

sudah lebih kecil dari tegangan geser yang ada dalam badan lereng. Perubahan MAT, penjuhan, bidang gelincir dan penurunan nilai tegangan efektif sebelum dan setelah pengujian ditampilkan pada **Gambar 2**.



Gambar 2. Perubahan MAT, penjuhan, bidang gelincir, dan nilai tegangan efektif sebelum dan setelah pengujian

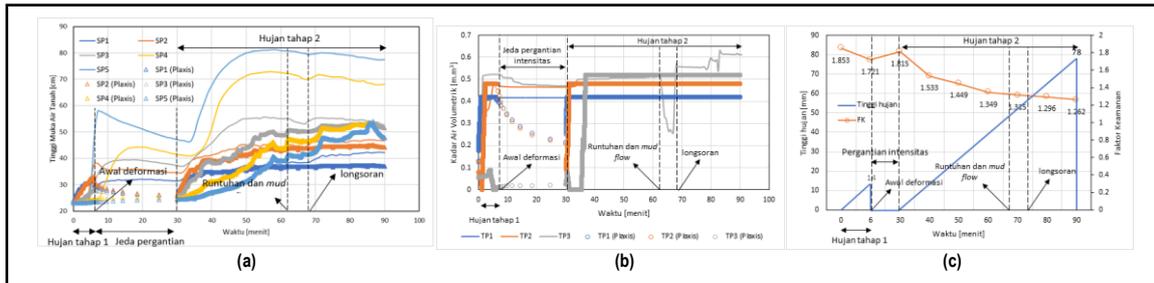
Perbandingan perubahan MAT melalui manometer dan hasil Plaxis pada model lereng ditampilkan pada **Gambar 3**. Secara visualisasi terhadap kurva ini, kecocokan antara data pembacaan manometer dengan hasil Plaxis hanya terdapat pada lokasi manometer 1, manometer 2, dan manometer 3 sedangkan pada lokasi manometer 4 dan manometer 5 terjadi ketidakcocokan data. Hal ini mungkin dapat terjadi karena adanya kesalahan teknis pada alat *rainfall simulator* yang mengakibatkan intensitas pada daerah manometer 4 dan manometer 5 itu lebih tinggi sehingga mengakibatkan kenaikan muka air tanah pada bagian belakang lereng yang tinggi dan cepat sedangkan dalam Plaxis kejadian ini tidak dapat dimodelkan. Selain itu perbedaan data juga terjadi pada pergantian intensitas (mano) dengan pergantian intensitas (Plaxis). Dalam pemodelan Plaxis saat perhitungan fase jeda pergantian intensitas dilakukan, menghasilkan penurunan MAT yang sudah terbentuk akibat hujan tahap 1 kembali ke keadaan MAT inisial, sedangkan dalam model laboratorium tidak, melainkan membentuk MAT yang lebih stabil dalam badan lereng.



Gambar 3. Perubahan MAT manometer VS hasil Plaxis

Perbandingan perubahan MAT melalui sumur pantau (SP) dengan titik tinjau melalui Plaxis ditampilkan pada **Gambar 4a**. Kurva perubahan SP1 (Plaxis), SP2 (Plaxis), dan SP3 (Plaxis) terhadap kurva SP1, SP2, dan SP3 secara visualisasi sudah menyerupai. Ketidakcocokan data terdapat pada kurva SP4 (Plaxis) dan SP 5 (Plaxis) dengan SP4 dan SP5. Perbedaan ini terjadi karena disaat awal pengujian terdapat kesalahan teknis pada alat *rainfall simulator* yang memberikan infiltrasi air hujan lebih tinggi pada daerah SP4 dan SP5 sehingga mengakibatkan perubahan MAT yang cepat dan tinggi pada daerah tersebut sedangkan dalam Plaxis perbedaan intensitas ini tidak dapat dimodelkan. Perbandingan perubahan kada air volumetrik melalui TP dengan titik tinjau TP melalui Plaxis ditampilkan pada **Gambar 4b**.

Terdapat perbedaan keadaan kadar air volumetrik pada hujan tahap 1 dan pergantian intensitas, hal ini terjadi karena terdapat perbedaan pada kondisi inisial model lereng, sedangkan saat setelah hujan tahap 2 dilakukan secara visualisasi kurva sensor TP dengan titik tinjau Plaxis memiliki kecocokan kecuali saat setelah terjadi runtuh dan *mud flow* pada daerah TP 3 sehingga pembacaan TP menjadi tidak valid. Hubungan tinggi hujan, waktu, dan faktor keamanan (FK) dapat dilihat pada **Gambar 4c**. Penurunan FK terbesar terjadi saat hujan tahap 2 dilakukan yaitu dari 1,815 menjadi 1,533. Deformasi terbentuk saat setelah hujan tahap 1 selesai dilakukan yaitu saat FK 1,721 sedangkan Runtuh, *mud flow*, dan longsor terjadi setelah ± 40 menit hujan tahap 2 dilakukan yaitu saat FK 1,315.



Gambar 4. (a) MAT SP VS titik tinjau SP melalui Plaxis, (b) perubahan kadar air volumetrik TP VS titik tinjau TP melalui Plaxis, dan (c) tinggi hujan, waktu, dan FK

5. KESIMPULAN

Hasil uji skala laboratorium menunjukkan bahwa mekanisme kelongsoran disebabkan oleh penjenjuran dan pembentukan MAT di kaki lereng, sedangkan berdasarkan analisis numerik 2-D disebabkan oleh turunnya tegangan efektif dan kuat geser tanah selama pengujian. Hasil uji skala laboratorium menunjukkan bahwa perubahan MAT dimulai dari bagian belakang lereng, sedangkan hasil analisis numerik 2-D dimulai dari permukaan lereng. Hasil uji skala laboratorium dan analisis numerik 2-D menunjukkan bahwa proses penjenjuran terbentuk dari permukaan dan dasar model lereng. Hujan tahap 2 menurunkan kestabilan lereng lebih tinggi dibandingkan dengan hujan tahap 1. Bidang gelincir sebelum pengujian membentuk *non circular* dalam dan menjadi dangkal diakhir pengujian. Terdapat perbedaan batasan model antara model laboratorium dengan numerik 2-D, sehingga ada perbedaan dalam hasilnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Pusat Penelitian Geoteknologi Lembaga Ilmu Pengetahuan Indonesia yang telah mendanai penelitian ini serta menyediakan dan mengizinkan penggunaan laboratorium geoteknik untuk melakukan penelitian ini.

DAFTAR RUJUKAN

- Hirnawan, R.F., 1993, Ketanggapan Stabilitas Lereng Perbukitan Rawan Gerakan tanah atas Tanaman Keras, Hujan & Gempa, Disertasi, UNPAD, 302pp
- Muntohar, Agus S. 2010. Tanah Longsor: Analisis – Prediksi - Mitigasi. Yogyakarta: Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Hasrullah, 2009, Studi Pengaruh Infiltrasi Air Hujan Terhadap Kestabilan Lereng, Jurnal Ilmu-Ilmu Teknik – Sistem, vol 5 No. 2:1-13.
- Karnawati, Dwikorita. 2010. Bencana Alam Gerakan Massa Tanah di Indonesia dan Upaya Penanggulangannya. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Badan Standarisasi Nasional. 2017. SNI 8740:2017 Persyaratan Perancangan Geoteknik.