

## **Pemodelan Hidrologi Longsoran di Lereng Km 1, Jalur Lintas Barat Liwa - Krui, Lampung Barat**

### ***Landslide Hydrological Modeling at Slope Km 1, Liwa – Krui West Traffic Road, West Lampung***

Prahara Iqbal<sup>1</sup>, Asep Mulyono<sup>1</sup>, Arifan Jaya Syahbana<sup>2</sup>

<sup>1</sup>UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana, Liwa – LIPI, Lampung Barat

<sup>2</sup>Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung

Naskah diterima 30 September 2015, selesai direvisi 10 Juli 2016, dan disetujui 28 Juli 2016

e-mail: praharaiqbal123@gmail.com

#### **ABSTRAK**

Kejadian longsoran di jalur lintas barat Liwa - Krui sering terjadi yang menyebabkan putusnya jalur perekonomian antar- daerah. Longsoran yang terjadi dominan berjenis longsoran translasi tanah yang diakibatkan oleh infiltrasi air hujan. Pemodelan hidrologi di salah satu lereng jalur lintas barat Liwa - Krui Km 1 telah dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui proses terjadinya longsoran dan untuk memilih solusi penanggulangan yang tepat. Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi, analisis geoteknik, dan pemodelan hidrologi. Pemodelan hidrologi dilakukan dengan simulasi numerik yang menggunakan data laboratorium. Hasil analisis menunjukkan bahwa longsoran yang terjadi di lereng jalur lintas barat Liwa - Krui Km 1 adalah longsoran translasi dangkal yang disebabkan oleh penjenjuran tanah akibat infiltrasi air hujan. Penanggulangan yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memasang lapisan *impermeabel* berupa lapisan semen.

**Kata kunci:** jalur lintas barat Liwa - Krui, longsoran, pemodelan hidrologi

#### **ABSTRACT**

*Landslide phenomena at Liwa - Krui west cross road oftenly occur causing loss of inter-regional economic lines. The landslide type predominantly is soil translational slide, caused by rain water infiltration. Slope hydrological modeling at Liwa - Krui west cross road Km 1 was conducted with purposed to determine the occurrence of landslide and choose the right mitigation solution. The methodology used consists of geological mapping, geotechnical analysis, and hydrological modeling. Hydrological modeling was carried out by numerical simulation using laboratory data. The analysis show that the landslide on the Liwa - Krui west cross road slopes is translational shallow landslide, triggered by the soil saturation due to rainfall infiltration. The mitigation method that can be applied to overcome this problem is to place an impermeable layer such as cement on the slope face.*

**Keywords:** Liwa - Krui West Cross road, landslide, hydrological modeling

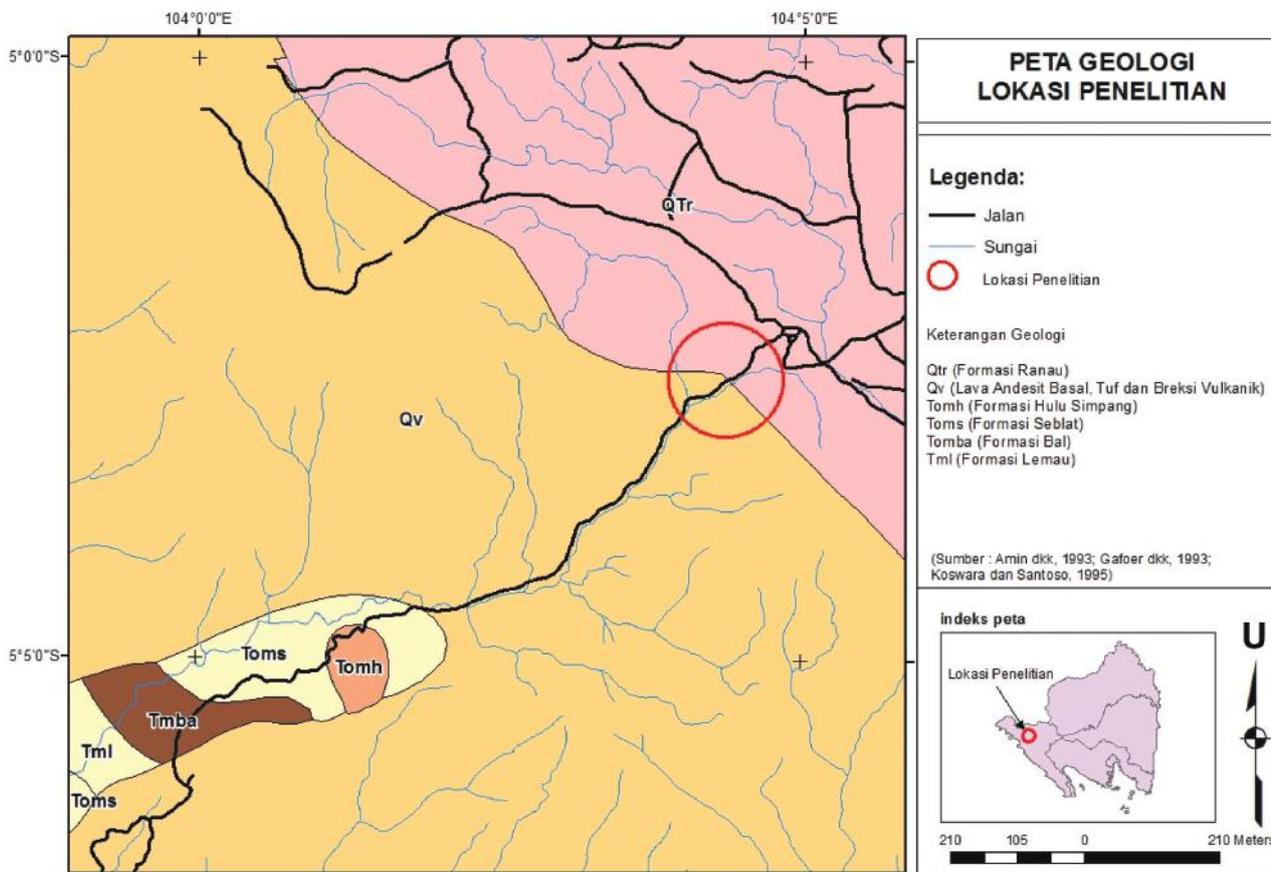
**PENDAHULUAN**

Jalur lintas barat Sumatra melalui Kota Liwa merupakan jalur utama menuju beberapa wilayah Sumatra lainnya, seperti Sumatra Selatan dan Bengkulu. Jalur ini melewati wilayah yang memiliki topografi pedataran sampai perbukitan dengan kemiringan lereng landai sampai sangat curam dan disusun oleh berbagai macam jenis batuan dan tanah berumur Tersier sampai Kuartar. Kejadian longsor di lereng sepanjang jalur ini sering terjadi yang mengakibatkan akses jalur lintas barat menjadi terputus, sehingga mengganggu kegiatan transportasi dan perekonomian Kota Liwa dan sekitarnya. Tingginya curah hujan di wilayah ini menambah potensi dan kejadian longsor semakin tinggi.

Salah satu jalur lintas barat yang sering putus akibat kejadian longsor adalah jalur lintas barat Liwa - Krui. Berdasarkan penelitian yang dilakukan Soebowo dr. (1997) kejadian longsor di jalur ini

dominan disebabkan oleh curah hujan yang tinggi, kemiringan lereng yang curam, hadirnya mata air, dan hadirnya bidang-bidang lemah seperti kekar dan sesar. Jenis longsor yang berkembang berupa longsor dengan tipe runtuh tanah, runtuh planar, runtuh membaji, dan jungkiran. Penelitian tersebut menjabarkan secara komprehensif bagian-bagian mana saja dari jalur yang berpotensi longsor berikut dengan jenis longsorannya, akan tetapi belum menjabarkan bagaimana proses salah satu penyebab longsor, yaitu infiltrasi air hujan dapat menyebabkan longsor.

Beberapa peneliti telah menemukan bahwa longsor yang terjadi akibat infiltrasi air hujan merupakan bagian dari perilaku tanah tak jenuh (Fredlund dan Rahardjo, 1993) yang melibatkan tanah residu (Wesley, 2013) dengan ukuran butir halus (Rahardjo, dr., 1995; Ali, dr., 2014). Longsor tersebut terjadi ketika kekuatan tanah berkurang akibat pembentukan tekanan



Gambar 1. Lokasi penelitian dan peta geologi regional lokasi penelitian (Modifikasi dari Amin dr., 1993; Gafoer dr., 1993; Koswara dan Santoso, 1995).

air pori positif (Lim, dr., 1996; Lan, dr., 2003; Collins dan Znidarcic 2004; Cai dan Ugai, 2004; Dahal, dr., 2009; Dahal dr., 2011). Memahami distribusi tekanan air pori positif dan tekanan air pori negatif adalah hal yang terpenting untuk mempelajari longsoran akibat infiltrasi air hujan (Rahardjo dr., 2005). Umumnya metode yang dipakai untuk mempelajari distribusi tekanan air positif yang terbentuk di lereng adalah melalui pemodelan hidrologi (Anderson dan Llyod, 1991; Collison dan Anderson, 1996). Model tersebut dapat dihubungkan sebagai model kestabilan lereng dengan tujuan menggambarkan kondisi stabilitas lereng selama hujan (Dahal, dr., 2011). Oleh karena itu, diperlukan kajian mengenai mekanisme hidrologi lereng terhadap potensi kejadian longsoran agar upaya pemeliharaan lereng dan penanggulangan longsoran yang dilakukan oleh pemerintah daerah lebih efektif dan efisien. Penelitian ini dilakukan dengan maksud untuk mengetahui proses infiltrasi air hujan yang masuk ke lereng dan terjadi peristiwa longsor, sehingga dapat diketahui mekanisme longsoran yang terjadi dan dapat diketahui upaya mitigasi yang efektif dan efisien.

### Lokasi Penelitian

Penelitian dilakukan pada salah satu lereng di jalur lintas barat, yaitu jalur lintas barat Liwa - Krui Km 1. Jalur ini memiliki jarak tempuh  $\pm$  30 km dengan titik nol Km di Kota Liwa dan dapat ditempuh dengan waktu tempuh kendaraan 1 - 2 jam. Jalur ini berada di sebelah selatan Liwa dan berada di dua wilayah kabupaten, yaitu Kabupaten Lampung Barat dan Kabupaten Pesisir Barat (Gambar 1). Secara umum, lokasi penelitian adalah perbukitan vulkanik Kuarter yang berada di ketinggian 900 m di atas permukaan laut. Tata guna lahan yang berkembang di lokasi penelitian adalah hutan lindung, kebun campuran, dan ladang.

Berdasarkan Peta Geologi Regional Lembar Kotaagung (Amin dr., 1993), Lembar Baturaja (Gafoer dr., 1993), dan Peta Geologi rinci daerah Liwa, Lampung Barat (Koswara dan Santoso, 1995) seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, lokasi penelitian berada di Formasi Ranau yang berumur Kuarter, disusun oleh breksi batu apung, tuf mikaan, dan tuf batu apung.

### METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipakai adalah pemetaan geologi, analisis geoteknik, dan pemodelan hidrologi.

#### Pemetaan Geologi

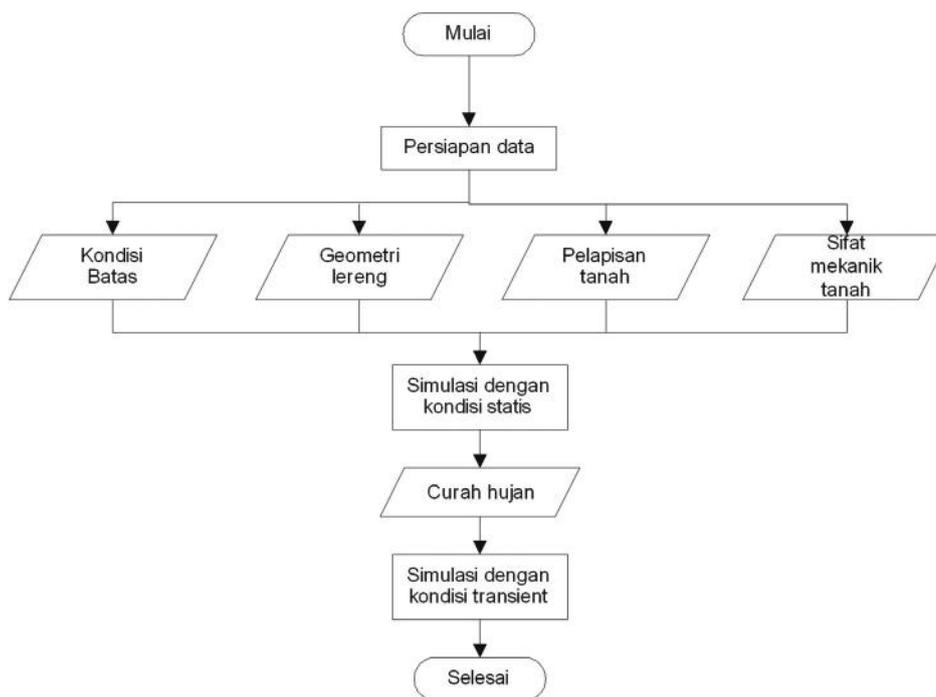
Pemetaan geologi dilakukan untuk mendapatkan gambaran kondisi geologi dan morfologi lokasi penelitian. Pemetaan dilakukan dengan melakukan pengamatan pada singkapan batuan dan tanah di lereng lokasi penelitian.

#### Analisis Geoteknik

Analisis geoteknik dilakukan melalui pengambilan tanah terganggu sebanyak dua sampel. Masing-masing sampel seberat 500 gr dan sampel tanah tak terganggu sebanyak empat sampel. Selanjutnya, sampel tersebut diuji di laboratorium TEKMIRA, Kementerian ESDM, Bandung, berdasarkan standar ASTM. Pengujian tersebut meliputi: analisis ukuran butir dan batas Atterberg untuk sampel terganggu; uji porositas dan permeabilitas untuk sampel tidak terganggu.

#### Pemodelan Hidrologi Lereng

Pemodelan hidrologi merupakan simulasi numerik yang akan menggambarkan proses hidrologi lereng akibat infiltrasi curah hujan (Gasmoo dr., 2000). Proses pemodelan dilakukan dengan menggunakan perangkat lunak Seep/W (Anonim, 2012) yang dengan metode *finite element*. Metode tersebut memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan aliran air di dalam tanah tak jenuh dan proses kejadian longsor (Iverson, 2000). Pemodelan dibagi menjadi dua kondisi, yaitu kondisi statis dan *transient*. Kondisi statis dilakukan dengan membuat tampang melintang lereng di lokasi penelitian berdasarkan data geoteknik, kondisi batas, dan permukaan air tanah. Setelah didapatkan kondisi statis, selanjutnya dilakukan analisis *transient*. Maksud analisis *transient* adalah menggunakan kondisi awal dari kondisi yang berada di waktu sebelumnya ditambah dengan curah hujan selama waktu yang ditentukan. Melalui pemodelan dapat diamati pola penjenahan akibat air hujan dan efeknya terhadap pembentukan tekanan air positif, sehingga menyebabkan longsoran (Lim dr., 1996;



Gambar 2. Bagan alir pemodelan hidrologi lereng.

Tabel 1. Karakteristik Litologi Penyusun Lereng

No	Jenis Tanah/ Batuan	Properties
1	Lanau Pasiran	<i>Vol water content</i> = 0,489 Permeabilitas jenuh = $3,36 \times 10^{-6}$ m/s $c' = 25$ kPa $\phi' = 34,54^\circ$ $\gamma_b = 16,56$ kN/m <sup>3</sup> $\gamma_s = 16,7$ kN/m <sup>3</sup>
2	Breksi Vulkanik	<i>Vol water content</i> = 0,565 Permeabilitas jenuh = $1,65 \times 10^{-9}$ m/s

lokasi penelitian dengan karakteristik telah terlapukkan pada tingkat derajat pelapukan 2 (Sadisun dan Bandonon, 1998; Bell, 2007; Price, 2009). Karakter pelapukan tersebut bisa terlihat dengan ciri perubahan struktur batuan. Berdasarkan pengamatan langsung di permukaan, retakan berada di sekitar batuan, disertai kekerasan batuan yang semakin mudah dihancurkan oleh tangan. Lapisan tanah di atasnya, yaitu lanau pasiran merupakan tanah residu hasil

Dahal dr., 2011). Diagram pemodelan dapat dilihat pada Gambar 2.

pelapukan breksi vulkanik berwarna coklat terang dengan ketebalan  $\pm 2$  m. Litologi ini memiliki permeabilitas cukup tinggi (Tabel 1).

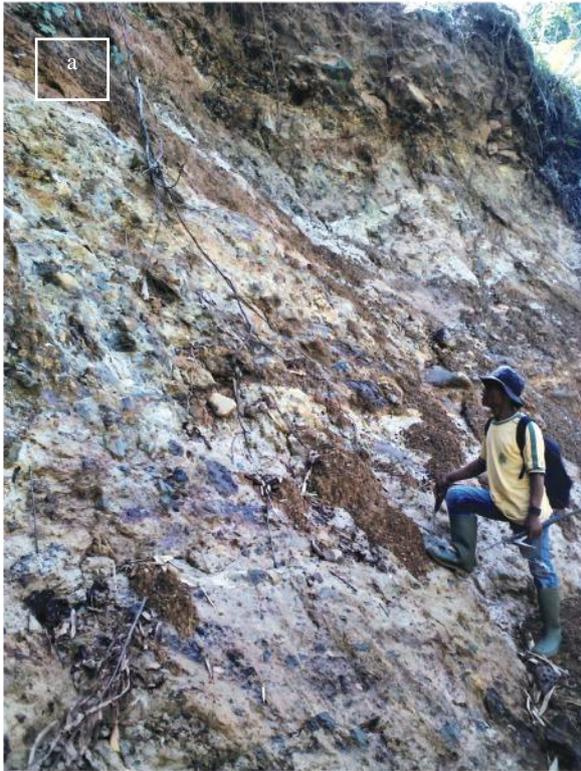
**HASIL DAN PEMBAHASAN**

**Geologi Lokasi Penelitian**

Secara geologis, lokasi penelitian berada pada lereng berkemiringan  $\pm 45^\circ$ . Lereng ini disusun oleh litologi lanau pasiran dan breksi vulkanik (Gambar 3). Secara umum, breksi vulkanik berwarna abu-abu terang sampai abu-abu gelap yang disusun oleh andesit, tuf, dan abu vulkanik. Breksi vulkanik sebagai litologi yang dominan menyusun

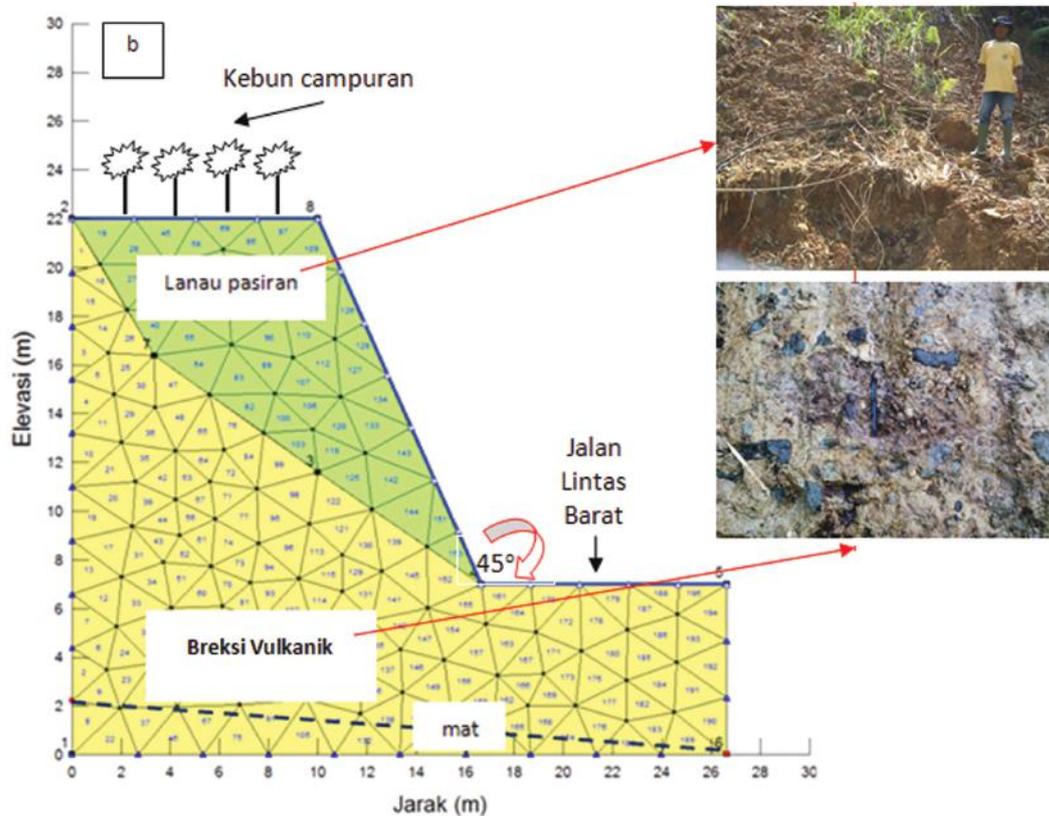
**Pemodelan Hidrologi Lereng**

Parameter internal litologi penyusun lereng yang digunakan untuk melakukan pemodelan adalah ukuran butir (Gambar 4), *Vol water content*, dan permeabilitas (Tabel 1). Sementara parameter eksternal yang digunakan adalah besarnya curah hujan. Puncak curah hujan daerah Liwa dan sekitarnya biasanya terjadi dari bulan November

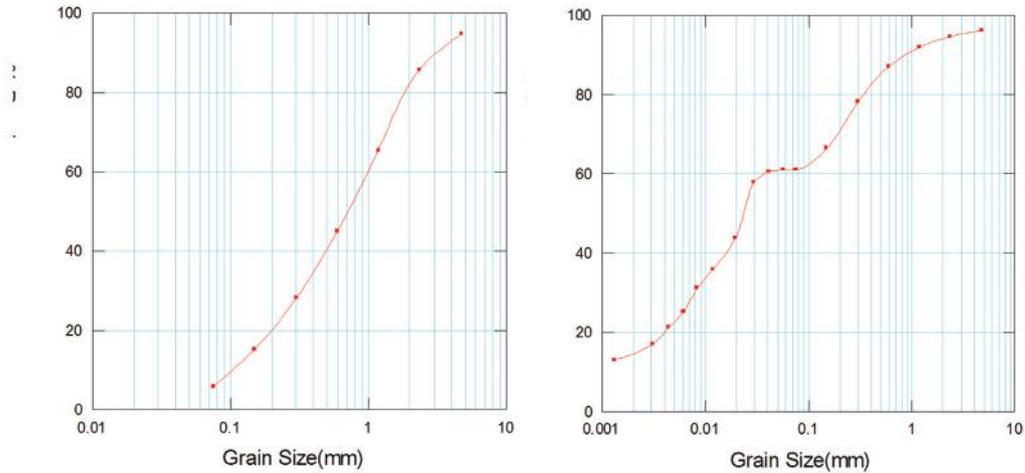


sampai bulan Januari. Besarnya curah hujan sebagai masukan dapat dilihat pada Gambar 5 (Anonim, 2012), tepatnya pada 8 November - 5 Desember 2012. Besar curah hujan sebagai masukan diambil dari data curah hujan tertinggi, yaitu 81mm/hari.

Terdapat proses yang menjelaskan longsoran di lokasi tersebut yang diawali dengan penjuhan pada kaki lereng, kemudian berangsur-angsur ke arah kepala lereng. Pada hari pertama (Gambar 6a) belum terjadi hujan, dengan demikian tekanan air pori di atas permukaan air tanah masih bernilai negatif. Pada jam ke-4 dan ke-8 (Gambar 6b, 6c), air hujan sudah berinfiltrasi ke lereng dan meningkatkan tekanan air pori pada area yang dekat dengan permukaan tanah, yaitu kaki lereng. Lereng mulai mengindikasikan adanya penambahan penjuhan di atas lereng, yaitu pada jam ke-12 dan ke-16 (Gambar 6d, 6e) yang ditandai dengan adanya zona air terperangkap di atas lereng dengan tekanan air pori 0 kPa. Simulasi dilanjutkan sampai 24 jam (Gambar 6f), dan mendapatkan area bertekanan air pori positif sudah menyambung



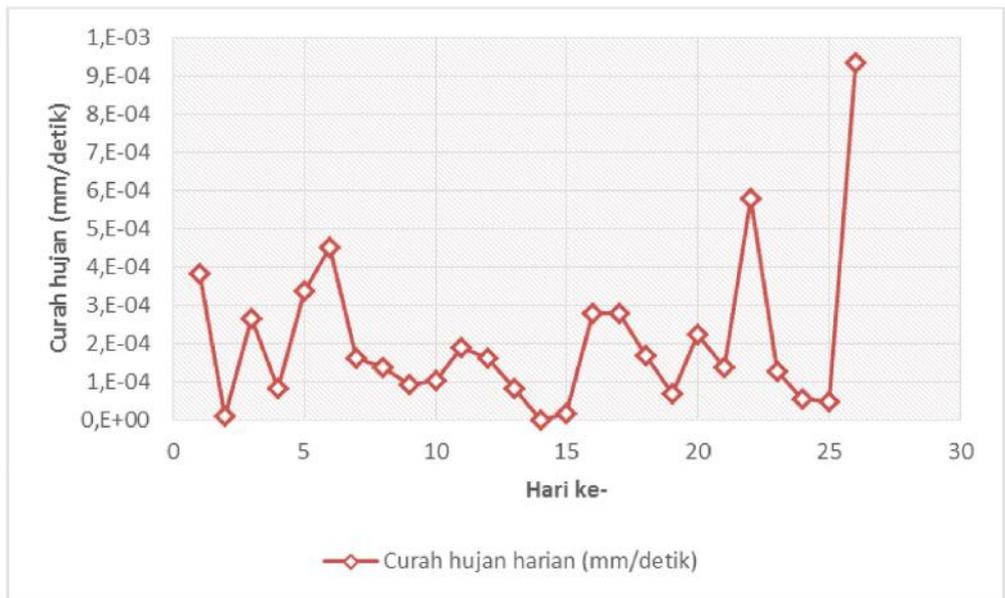
Gambar 3. Profil lereng lokasi penelitian (a dan b).



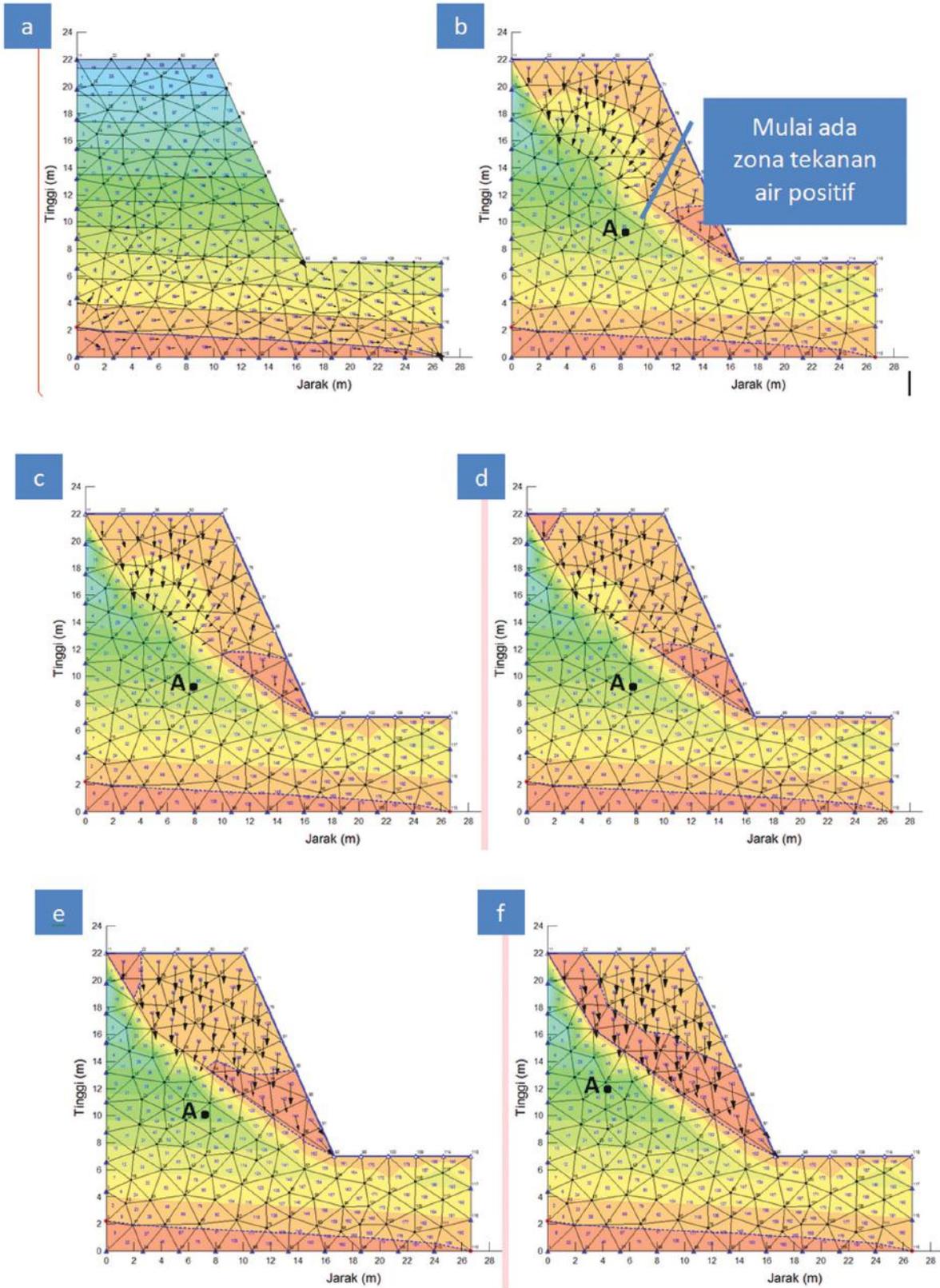
Gambar 4. Ukuran butir (a) Lanau pasiran, (b) Breksi lapuk.

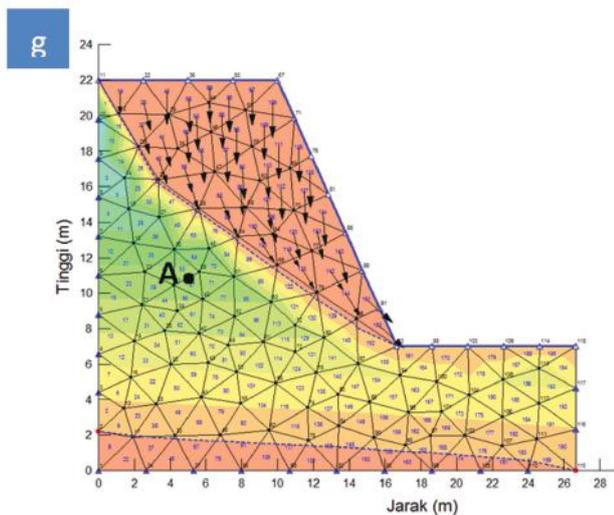
antara kaki dan kepala lereng. Sementara itu, pada waktu 48 jam, zona lapisan tanah lanau pasiran telah sepenuhnya jenuh air (Gambar 6g). Pada simulasi tersebut zona air terperangkap semakin besar dan mengarah ke atas lereng. Simulasi ini cocok dengan banyak kejadian longsor di lapangan, yaitu adanya longsoran retrogresif (Mahmoud dr., 2000; Bernander, 2011; dan Rehnstrom, 2013). Longsoran retrogresif adalah longsoran yang terinisiasi akibat penjuhan dari kaki lereng berangsur-angsur ke arah kepala lereng.

Guna mengetahui penurunan nilai angka aman (FK) pada lapisan lanau pasiran, dibuatlah perkiraan bidang gelincir yang berada pada kontak antara dua litologi tersebut. Analisis yang digunakan ialah metode Morgenstern-Price dengan menggunakan pilihan pencarian pengoptimasian bidang gelincir kritis. Maksud pemilihan opsi ini adalah apabila dalam perhitungannya nanti diperoleh faktor keamanan yang lebih kecil namun tidak berada pada bidang gelincir yang digambarkan, maka nilai faktor keamanan yang dipilih adalah yang terkecil. Hubungan penurunan



Gambar 5. Curah hujan untuk simulasi.





Keterangan: (↘) arah aliran air, (A●) tekanan air pori positif

Gambar 6. Proses penjenhuan pada lapisan lanau pasir (a) t=0 hari, (b) t=4 jam, (c) t=8 jam, (d) t=12 jam, (e) t=16 jam, (f) t=24 jam, dan (g) t=48 jam.

faktor keamanan (SF) dengan waktu digambarkan pada Gambar 7. Tampak bahwa nilai angka aman lereng awal adalah 1,438, dan turun secara tajam sampai hari ke-2. Setelah itu penurunan bersifat asimtotis karena lapisan tanah lanau pasir telah jenuh sempurna sebagaimana ditampilkan pada Gambar 6g.

### Diskusi

Berdasarkan data BMKG Liwa tahun 2012, daerah Lampung Barat dan sekitarnya memiliki curah hujan yang mencapai 81 mm/hari. Melihat kondisi morfologi dan geologi lokasi penelitian, ditambah dengan curah hujan sebesar itu, besar kemungkinan terjadinya proses erosi, yaitu erosi permukaan/alur (Hardiyatmo, 2006b) dan proses peningkatan tekanan air pori seketika di permukaan lereng (Wesley, 2009). Erosi dan peningkatan air pori seketika di lereng tersebut merupakan faktor yang akan menambah potensi longsor (Hardiyatmo, 2006a; Wesley, 2009).

Berdasarkan pengamatan di lapangan dan analisis geoteknik diperoleh gambaran karakteristik litologi penyusun lokasi penelitian. Lanau pasir pada lokasi penelitian secara umum merupakan litologi yang memiliki permeabilitas, porositas,

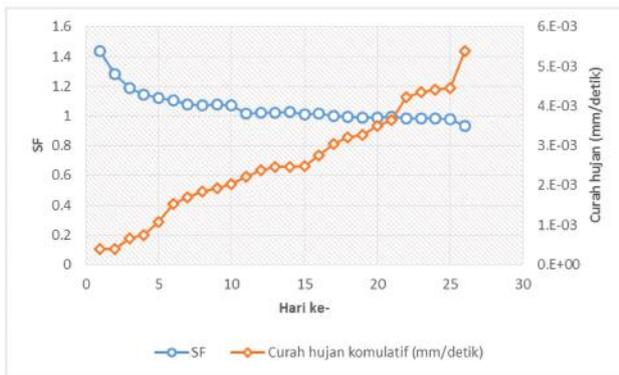
dan plastisitas yang tinggi dengan ketebalan  $\pm 2$  m. Hal tersebut mengindikasikan lanau pasir adalah litologi yang mudah meloloskan/menyerap air. Sementara breksi vulkanik lapuk secara umum memiliki permeabilitas yang rendah. Hal ini mengindikasikan breksi vulkanik tidak mudah untuk meloloskan air/*permeabel*. Dapat dikatakan breksi vulkanik akan berfungsi sebagai bidang gelincir/*slip surface*. Melihat kondisi di lapangan, breksi vulkanik akan berkembang menjadi bidang gelincir yang *planar/planar slip surface* (Price, 2009).

Pemodelan telah sangat baik menunjukkan bahwa proses infiltrasi hujan yang mengakibatkan pembentukan sebagian zona tekanan air positif di bagian kaki lereng mulai terjadi pada jam ke-4. Pada jam ke-48, proses infiltrasi telah menjenuhkan sebagian besar lapisan tanah yang *permeabel*. Profil kenaikan tekanan air pori pada kaki lereng (titik A pada Gambar 6) dapat diamati pada Gambar 8. Dari gambar tersebut dapat diamati bahwa kaki lereng mulai jenuh sampai pada waktu 24 jam. Hal ini ditandai dengan tekanan air pori yang mendekati 0 kPa. Selanjutnya, zona tekanan air positif tersebut menyebar ke arah atas lereng, akibatnya lapisan tanah tersebut akan jenuh air. Pada saat tersebut kekuatan lereng akan berkurang dan peristiwa longsor akan terjadi. Hal ini sesuai dengan beberapa penelitian sebelumnya. Apabila terdapat penjenhuan tanah, maka kuat geser berkurang, dalam simulasi ini angka aman lereng (FK) berkurang dari 1,438 menjadi 0,933. Penurunan kuat geser akan membuat angka aman lereng berkurang sehingga lereng akan longsor (Lim dr., 1996; Gasmoo dr., 2000; Rahardjo dr., 2005).

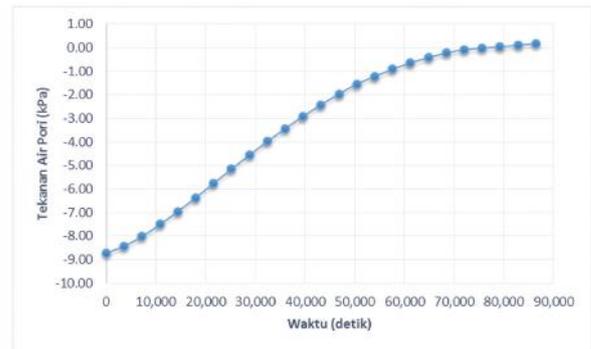
Untuk menanggulangi kejadian longsor tersebut dan menghadapi lereng dengan karakteristik mirip, yang dapat dilakukan adalah memasang lapisan *impermeabel* di sekitar permukaan lereng dan/atau memperbaiki tata guna lahan di atas lereng. Lapisan *impermeabel* di sekitar permukaan lereng bisa berupa lapisan semen (*shotcrete*), sedangkan perbaikan tata guna lahan di atas lereng dapat berupa penanaman pohon yang tidak terlalu membutuhkan air, sehingga mengurangi potensi infiltrasi pada lereng.

### KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengamatan di lapangan, analisis



Gambar 7. Hubungan Penurunan faktor keamanan lereng, curah hujan kumulatif, dan waktu.



Gambar 8. Pola kenaikan tekanan air pori kaki lereng.

laboratorium, dan pemodelan yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kejadian longsoran di lokasi penelitian merupakan longsoran translasi dangkal (ketebalan lanau pasir  $\pm 2$  m) yang termasuk kategori longsoran retrogresif. Penyebab longsoran tersebut adalah terbentuknya zona air pori positif pada lapisan kontak lanau pasir dan breksi vulkanik yang terinisiasi dari kaki lereng berangsur-angsur ke atas, sehingga tanah lanau pasir berkurang tegangan gesernya. Penurunan FK yang terjadi pada lereng simulasi adalah dari 1,438 menjadi 0,933.

#### DAFTAR PUSTAKA

- Ali, A., Huang, J., Lyamin, A.V., Sloan, S.W., Griffiths, D.V., Cassidy, M.J., dan Li, J.H., 2014. Simplified quantitative risk assessment of rainfall-induced landslide modelled by infinite slopes, *Engineering Geology*, 179, h. 102-116.
- Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W., 1993. *Peta geologi bersistem lembar Kotaagung skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Anderson M.G. dan Lloyd D.M., 1991. Using a combined slope hydrology-stability model to develop cut slope design charts, *Proceedings of the Inst. of Civil Engineers*, 91, h. 705-718.
- Anonim, 2012. *Laporan curah hujan Liwa dan sekitarnya*, BMKG Kotabumi, Lampung.
- Anonim, 2012. SEEP/W 2012 groundwater seepage analysis, <http://www.geo-slope.com/products/seepw.aspx> [18 Februari 2015].
- Bell, F.G., 2007. *Engineering Geology*, 2, Elsevier.
- Bernander, S., 2011. Down-hill Progressive Landslides in Soft Clays Triggering Disturbance Agents Slide Propagation over Horizontal or Gently Sloping Ground Sensitivity related to Geometry, *Research Report, Division of Structural Engineering Division of Soil Mechanics and Foundation Engineering Department of Civil, Mining and Environmental Engineering*, ISSN: 1402-1528.
- Cai, F. dan Ugai K., 2004. Numerical Analysis of Rainfall Effects on Slope Stability, *International Journal of Geomechanics*, 4, h. 69-78.
- Collins, B.D. dan Znidarcic, D., 2004. Stability analyses of rainfall induced landslides. *Journal of Geotechnical and Geoenvironment Engineering*, 130, h. 362-372.
- Collison, A.J.C. dan Anderson, M.G., 1996. Using a combined slope hydrology/slope stability model to identify suitable conditions for landslide prevention by vegetation in the humid tropics, *Earth Surface Processes and Landforms*, 21, h. 737-747.

- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Yamanaka, M., Dhakal, S., Bhandary, N.P., Yatabe, R., 2009. Comparative analysis of contributing parameters for rainfall-triggered landslides in the Lesser Himalaya of Nepal, *Environmental Geology*, 58(3), h. 567-586.
- Dahal, R.K., Hasegawa, S., Yamanaka, M., Bhandary, N.P., dan Yatabe, R., 2011. Rainfall-induced landslide in the residual soil of andesitic terrain, western Japan, *Journal of Nepal Geological Society*, 42, h. 127-142.
- Fredlund, D.G. dan Rahardjo, H., 1993. *An Overview of Unsaturated Soil Behaviour*, Reprinted from UNSATURATED SOILS, Dallas, Texas, USA.
- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R., 1993. *Peta geologi bersistem lembar Baturaja skala 1:250.000*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung.
- Gasmo, J.M., Rahardjo, H., dan Leong, E.C., 2000. Infiltration effects on stability of a residual soil slope, *Computers and Geotechnics*, 26, Elsevier.
- Hardiyatmo, H.C., 2006a. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*, Gadjah Mada University Press.
- Hardiyatmo, H.C., 2006b. *Buku Petunjuk Teknis Perencanaan dan Penanganan Longsoran*, Dirjen Bina Marga, Direktorat Bina Teknik.
- Iverson, R.M., 2000. Landslide triggering by rain infiltration, *Water Resources Research*, 36(7), h. 1897-1910.
- Koswara, A. dan Santoso, 1995. Geologi rinci daerah Liwa Lampung Barat Sumatra Selatan skala 1:50.000, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, VI.
- Lan, H., Zhou, C., Lee, C.F., Wang S., Wu, F., 2003. Rainfall induced landslide stability analysis in response to transient pore pressure - A case study of natural terrain landslide in Hong Kong, *Science in China Ser. E Technological Sciences*, 46, h. 52-68.
- Lim, T.T., Rahardjo, H., Chang, M.F., dan Fredlund, D.G., 1996. Effect of rainfall on matric suction in a residual soil slope, *Can. Geotech. J.*, 33, h. 618-628.
- Mahmoud, M., Woeller, D., dan Robertson, P.K., 2000. Detection of shear zones in a natural clay slope using the cone penetration test and continuous dynamic sampling, *Can. Geotech. J.*, 37, h. 652-661.
- Price, D.G., 2009. *Engineering Geology: Principles and Practice*, Elsevier.
- Rahardjo, H., Lim, T.T., Chang, M.F., dan Fredlund, D.G., 1995. Shear-strength characteristics of a residual soil. *Can. Geotech. J.* 32 (1), h. 60-77.
- Rahardjo, H., Lee, T.T., Leong, E.C., dan Rezaur, R.B., 2005. Response of a residual soil slope to rainfall, *Can. Geotech. J.*, 42, h. 340-351.
- Rehnstrom, L., 2013. *Analysis of Progressive Landslides: A review of the simplified calculation model*, Thesis Program Master Teknik Air dan Geo, Universitas Teknik Sipil dan Lingkungan Chalmers, Swedia.
- Sadisun, I.A. dan Bandonu, 1998. Pengenalan derajat pelapukan batuan guna menunjang pelaksanaan berbagai pekerjaan sipil dan operasi penambangan, *Bul. Ilmiah Gakuryoku*, h. 10-22.
- Soebowo, E., Kusumadharma, S., Djakamihardja, A.S., dan Wibawa, Y.S., 1997. Geologi longsoran pada jalur Liwa-Krui, Lampung Barat, *Prosiding IAGI, PIT XXVI*, h. 1035-1048, Jakarta.
- Wesley, L., 2009. Behaviour and geotechnical properties of residual soils and allophane clays, *Obras y Proyectos* 6, h. 5-10.
- Wesley, L.D., 2013. Residual soils and the teaching of soil mechanics, *Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering*, Paris, France.