



## Kondisi Geologi dan Pemodelan Kestabilan Lereng Jalur Transek Liwa-Ranau, Liwa, Lampung Barat

### *Geological Condition and Slope Stability Modeling of Liwa-Ranau Transect Road, Liwa, West Lampung*

Prahara Iqbal\*, Sonny Aribowo\*, Asep Mulyono\* dan Arifan Jaya Syahbana\*\*

\*UPT Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana, Liwa - LIPI, Lampung Barat

\*\*Pusat Penelitian Geoteknologi, LIPI, Bandung

E-mail : [praharaiqbal123@gmail.com](mailto:praharaiqbal123@gmail.com)

Naskah diterima : 02 Mei 2017, Revisi terakhir : 21 Agustus 2017, Disetujui : 25 Agustus 2017, Online : 29 Agustus 2017

**Abstrak** - Investigasi longsor dan pemodelan kestabilan lereng telah dilakukan di jalur transek Liwa-Ranau, Lampung Barat dengan tujuan mencari hubungan antara kondisi geologi dengan peristiwa longsor. Metode yang digunakan adalah pemetaan geologi, pengambilan sampel tanah terganggu dan tak terganggu, analisis laboratorium, analisis kestabilan lereng, serta analisis struktur geologi. Jalur transek Liwa-Ranau bertopografi perbukitan dan berarah relatif barat-laut-tenggara, utara-selatan, dan timurlaut-baratdaya dengan kelokan yang relatif tajam. Berdasarkan pengamatan di lapangan, terdapat empat titik longsor yang relatif tersebar di tengah-tengah jalur transek. Pengamatan di lapangan memperlihatkan jenis longsor translasi tanah dan longsor bahan rombakan yang berkembang. Longsor tersebut memiliki dimensi lebar 12-15 m, tinggi 15-55 m, serta memiliki kemiringan lereng berkisar antara 37°-75°. Jenis tanah dan batuan yang mengalami longsor adalah dari jenis tanah tuf pasir, tanah lempung, dan batulempung.

**Kata Kunci** : jalur transek Liwa-Ranau, Lampung Barat, longsor, pemodelan kestabilan lereng, tanah lempung, tuf pasir

**Abstract** - Landslide investigations and slope stability modeling have been carried out on the Liwa-Ranau transect road, West Lampung, with the aim of finding the relationship between geological conditions and landslide events. The research methods that be used in this investigation are geological mapping, disturbed and undisturbed soil sampling, laboratory analysis, slope stability analysis, and structural geology analysis. The Liwa-Ranau transect road has a hills topography with a NE-SW, north-south, and NW-SE direction and relatively sharp curve lineament. Based on the field observations, there are four points of landslides which are distributed in the middle of the transect road. Result of field observation shows soil translational slides and debris flow slides which developed with a 12-15 m wide, 15-55 m height, and 37-75 o slope angle. The sliding soil and rock types consist of sandy tuff, clay soil, and claystone.

**Keywords:** Liwa-Ranau transect road, West Lampung, landslide, slope stability modeling, clay soil, sandy tuff



Sumber : <https://www.google.co.id/maps/> (diakses pada tanggal 6 Juli 2016)

**Gambar 1.** Jalur Transek Liwa-Ranau, Lampung Barat

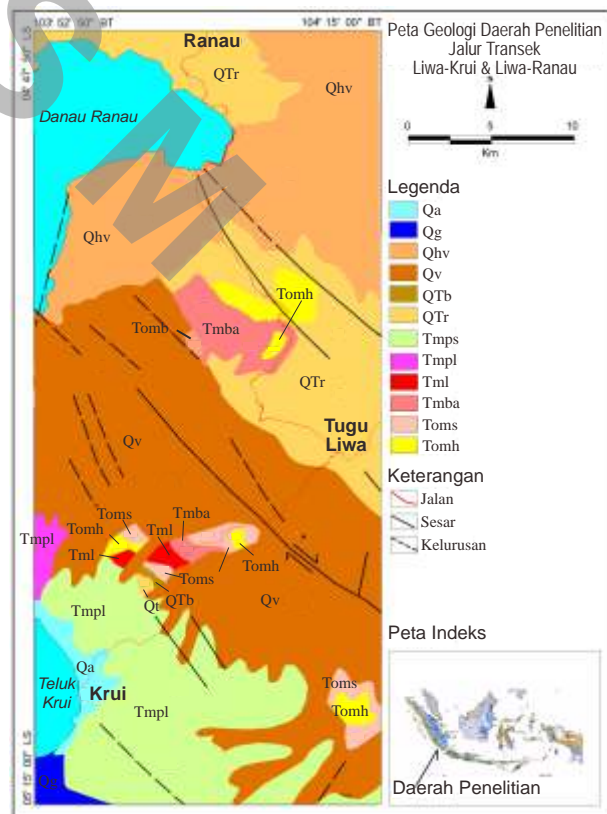
## PENDAHULUAN

Kota Liwa merupakan kota kabupaten Lampung Barat yang dilalui Jalur lintas barat Sumatra (JALINBAR) Liwa-Ranau (Gambar 1), atau yang lebih dikenal dengan nama jalur transek Liwa-Ranau. Jalur ini memiliki fungsi sebagai *feeder road* lintas Barat yang setiap harinya dilintasi oleh berbagai jenis kendaraan, mulai dari kendaraan kecil sampai dengan kendaraan bertonase besar. Secara geografis jalur ini berada di sebelah utara Kota Liwa dengan arah memanjang utara-selatan. Jalur ini memiliki panjang + 30 km dan berada di daerah dengan topografi perbukitan yang memiliki kemiringan lereng sedang sampai sangat curam. Tata guna lahan yang berkembang di daerah ini adalah hutan, kebun campuran, dan pemukiman. Di beberapa tempat di lereng jalur transek Liwa-Ranau sering mengalami longoran yang mengakibatkan jalur terputus dan atau tertimbun oleh material longsor sehingga mengganggu jalur transportasi dan roda perekonomian rakyat. Tulisan ini bermaksud untuk mengulas secara geologi endapan penyusun lereng jalur transek Liwa-Ranau, mendapatkan gambaran fisik dan keteknikan endapan penyusun jalur transek, serta mencari hubungan antara kondisi geologi dengan peristiwa longoran. Sehingga pihak terkait khususnya Pemda Lampung Barat dan masyarakat sekitar lebih memahami karakteristik geologi wilayah tempat mereka tinggal.

## Geologi Regional daerah Penelitian

Secara geologi (Amin drr, 1993 serta Gafoer drr, 1993) jalur transek Liwa-Ranau tersusun oleh beberapa satuan batuan sebagai berikut (dari tua ke muda) (Gambar 2): Formasi Hulusimpang (Tomh), Formasi Bal (Tmba),

Formasi Ranau (Qtr), dan Formasi Gunungapi Kuarter Muda (Qhv). Formasi geologi yang menyusun jalur transek terskap dengan baik di sepanjang lereng berupa tanah residu berwarna coklat dan tuf pasiran yang merupakan endapan piroklastik (Koswara dan Santoso, 1995). Endapan tersebut merupakan bagian dari Formasi Gunung api Kuarter Muda (Qhv) (lihat Gambar 2).



Sumber : modifikasi dari Amin drr., 1993; Gafoer drr., 1993; Koswara dan Santoso, 1995

**Gambar 2.** Geologi regional Jalur Transek Liwa-Ranau

## Metodologi Penelitian

Investigasi geologi berupa pemetaan geologi, pengambilan sampel tanah terganggu dan tak terganggu, analisis laboratorium, analisis struktur geologi, serta pemodelan kestabilan lereng dilakukan di dua lereng jalur transek untuk mendapatkan gambaran fisik dan keteknikan endapan penyusun jalur transek, serta mencari hubungan antara kondisi geologi dengan peristiwa longsoran.

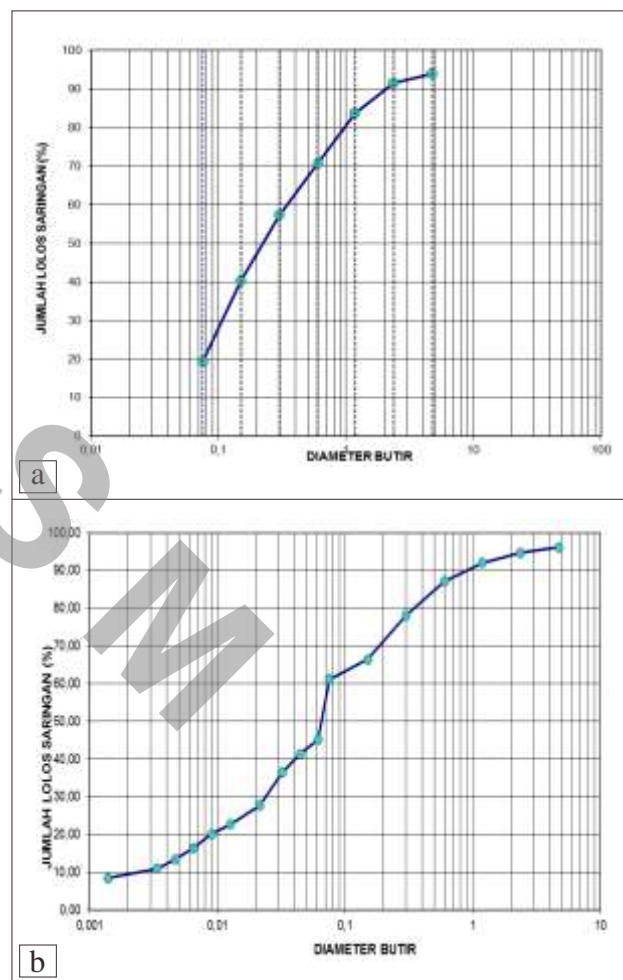
Pemetaan geologi wilayah longsoran dilakukan untuk memetakan kejadian longsor di sepanjang jalur transek dan memetakan jenis batuan atau tanah yang mengalami kejadian longsoran. Contoh tanah terganggu dan tak terganggu yang diperoleh dari pengambilan sampel di lokasi penelitian akan diuji di laboratorium untuk mendapatkan data tentang sifat fisik dan keteknikannya. Jumlah contoh tanah terganggu dan tak terganggu adalah masing-masing: 8 (delapan) buah plastik satu kilogram tanah terganggu dan 16 (enam belas) sampel tanah tak terganggu. Sampel tanah tak terganggu didapatkan melalui teknik pengambilan sampel permukaan (kedalaman 0 – 50 cm) menggunakan *ring* sampel fisik dan *ring* sampel triaksial. Analisis laboratorium meliputi analisis geoteknik tanah dan analisis petrografi, terdiri atas: analisis sifat fisik, batas-batas Atterberg, serta kuat geser tanah, sementara analisis petrografi meliputi pengamatan sayatan tipis batuan induk di mikroskop polarisasi. Analisis struktur geologi dilakukan untuk mendapatkan karakteristik struktur geologi yang ada di sepanjang jalur transek dan melihat pengaruhnya terhadap kejadian longsoran. Pemodelan kestabilan lereng dilakukan untuk mengetahui kondisi keamanan lereng dan faktor-faktor yang mempengaruhi kondisi keamanan lereng, baik itu faktor internal maupun eksternal.

## PEMBAHASAN DAN DISKUSI

### Geologi Teknik Jalur Transek Liwa - Ranau

Jalur transek Liwa-Ranau adalah salah satu jalur lintas utama di bagian barat Sumatra. Secara geologi jalur ini disusun oleh tuf pasir dan lempung coklat. Tuf pasir merupakan endapan piroklastik hasil dari letusan gunung api Kuartar yang diendapkan di darat (Koswara dan Santoso, 1995), sementara lempung coklat merupakan tanah residu hasil dari pelapukan batuan beku vulkanik. Berdasarkan kenampakan di lapangan dan analisis laboratorium terhadap beberapa contoh tanah memperlihatkan perilaku fisik dan

keteknikan tanah penyusun daerah penelitian. Tuf pasir secara megaskopis berwarna abu-abu, terpilah baik (Gambar 3a), dan lepas-lepas (Gambar 4a). Berdasarkan klasifikasi USCS termasuk kedalam pasir dengan gradasi baik (SW) (Tabel 1). Endapan ini memiliki nilai indeks plastisitas besar serta memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang sedang (lihat Tabel 1). Berdasarkan tabel sudut geser dalam efektif yang dikeluarkan oleh Hardiyatmo (2006) serta tabel hubungan kerapatan relatif dan sudut geser dalam tanah pasir yang dikeluarkan oleh Meyerhof (1956) tuf pasir jalur transek merupakan endapan agak padat.



Gambar 3. Gradasi butiran tuf pasir (a) dan lempung coklat (b)

Tabel 1. Karakteristik fisik dan teknik tanah penyusun daerah penelitian

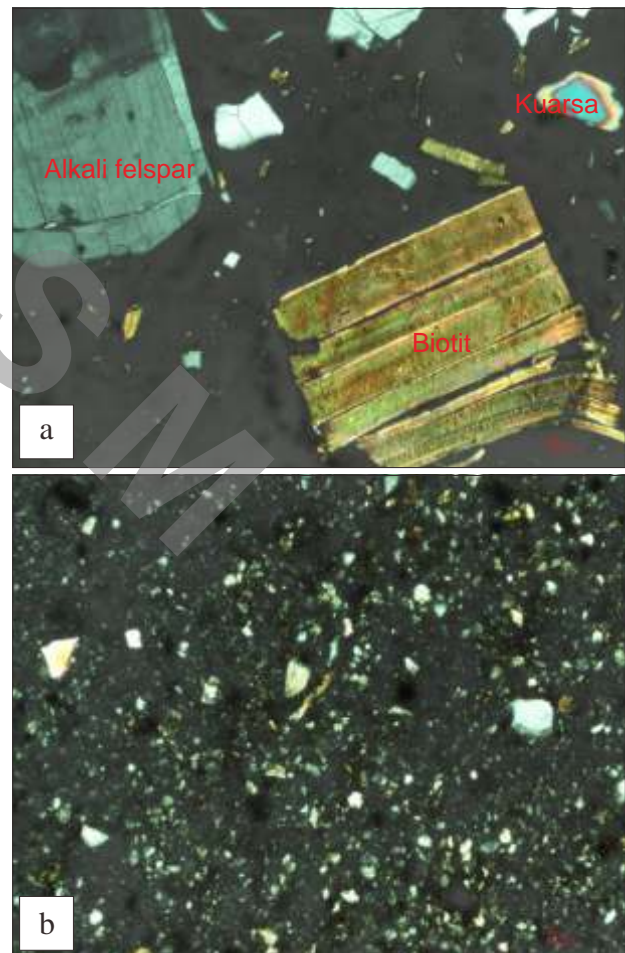
No	Litologi	Karakteristik					USCS
		Batas Cair (%)	Batas Plastis (%)	IP	c' (kg/cm <sup>2</sup> )	O'	
1	Lempung Coklat	41,7	20,2	21,5	0,254	39,8	CL
2	Tuf pasir	58,35	30,68	27,67	0,068	38,4	SW



**Gambar 4.** Singkapan tuf pasir (a) dan tanah residu coklat (b) jalur Transek Liwa-Ranau

Lempung coklat penyusun jalur transek Liwa-Ranau merupakan jenis tanah residu (Gambar 3b). Tanah tersebut berwarna coklat kekuningan dan lepas-lepas (Gambar 4b). Endapan ini seperti tuf pasir memiliki nilai indeks plastisitas besar serta memiliki kohesi dan sudut geser dalam yang lebih besar daripada tuf pasir. Nilai indeks plastisitas yang dimiliki oleh tanah residu coklat menggambarkan bahwa tanah ini memiliki kapasitas mengembang yang tinggi. Hal serupa diungkapkan oleh Peck (1967) dan Hadi, drr (1993). Berdasarkan klasifikasi USCS termasuk kedalam lempung dengan plastisitas rendah (CL) (Tabel 1).

Berdasarkan analisis sayatan tipis dari beberapa batuan induk/*parent rock* diketahui bahwa jenis batuan induk penyusun jalur transek Liwa-Ranau adalah batuan beku vulkanik jenis tuf pasir dan tuf gelas kristal yang memiliki komposisi mineralogi terdiri dari gelas vulkanik, alkali feldspar, kuarsa, plagioklas, mika muskovit, mineral mafik, mineral opak, mineral lempung, dan oksida besi (Gambar 5). Berdasarkan tabel klasifikasi batuan beku Hamblin dan Howard (1964) batuan induk penyusun jalur transek adalah batuan beku asam sampai menengah. Gelas vulkanik merupakan mineral yang dominan hadir di sayatan. Mineral tersebut terdevitrifikasi menjadi mineral lempung dan oksida besi. Kehadiran mineral lempung di sayatan sedikit banyak menggambarkan sifat keteknikan tanah penyusun jalur transek. Kelimpahan mineral lempung akan menggambarkan kekuatan tanah, semakin melimpahnya mineral lempung maka kekuatan tanah akan semakin berkurang. Hal yang serupa diungkapkan oleh Hurlimann drr (2001).



**Gambar 5.** Sayatan tipis petrografi batuan penyusun jalur transek (nikol bersilang), a. Tuf pasir, dan b. Tuf gelas kristal (felspar, kuarsa terdapat pada matriks, gelas vulkanik terdevitrifikasi menjadi mineral lempung dan oksida besi)

### Struktur Geologi dan Kegempaan Jalur Transek Liwa-Ranau

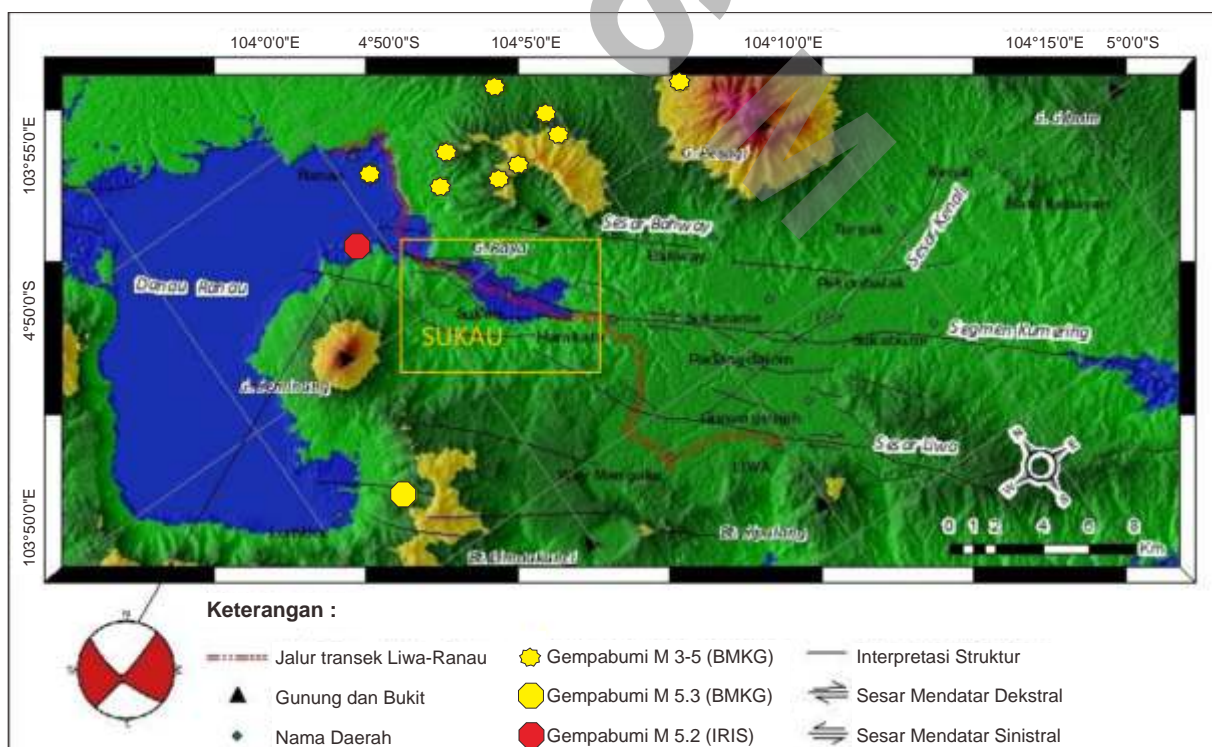
Secara umum jalur transek berada di jalur sesar Sumatra yang merupakan sesar aktif (Sieh dan Natawidjaja, 2000). Deformasi yang intensif pada zona Sesar Sumatra di daerah Liwa berpengaruh pada kondisi jalur jalan transek Liwa – Ranau. Kondisi jalur transek di Liwa terpotong oleh Sesar Liwa dan Sesar Segmen Kumering (Gambar 6).

Berdasarkan analisis citra ASTER-GDEM dan landsat, jalur transek berada di jalur sesar Sumatra yang merupakan sesar aktif. Kondisi ini mengakibatkan jalur transek Liwa-Ranau yang bertopografi perbukitan akan mengalami peristiwa kegempaan. Peristiwa kegempaan akan sangat berpotensi memicu longsor di daerah yang bertopografi perbukitan (Resfiandhi drr, 2014). Proses gempabumi akan menyebabkan kenaikan tegangan geser dan pengurangan kuat geser sebagai akibat kenaikan tekanan air pori, hal yang sama diungkapkan oleh Hardiyatmo (2012). Salah satu daerah di sekitar jalur transek Liwa-Ranau yang mengalami kejadian longsor yang diakibatkan oleh gempabumi adalah daerah Sukau. Berdasarkan interpretasi struktur dari citra ASTER-GDEM dan *landsat*, daerah Sukau merupakan daerah yang diakibatkan oleh adanya

*releasing bend* dari sebuah sistem sesar mendatar, dalam hal ini adalah Segmen Kumering (Aribowo drr, 2014). Kejadian gempabumi yang memicu longsor di daerah tersebut terjadi pada tanggal 31 Maret 2014. Pada waktu tersebut tercatat gempabumi berkekuatan 5,3 SR dengan pusat gempabumi berada di kedalaman 10 km, 32 km barat daya Ogan Kumering Ulu, Sumatra Selatan (Anonim, 2015). Gempabumi ini terjadi pada jalur sesar Segmen Kumering (koordinat 103,99° BT dan 4,88° LS) yang merupakan sesar mendatar dekstral.

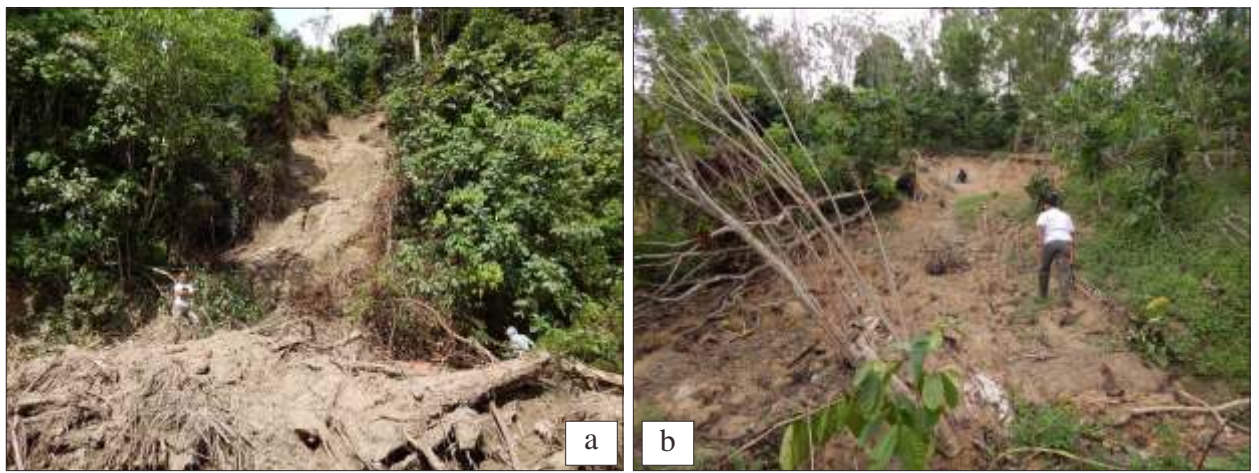
### Karakteristik Longsoran dan Pemodelan Kestabilan Lereng jalur Transek Liwa-Ranau hubungannya dengan Kegempaan

Berdasarkan pengamatan di lapangan dan klasifikasi longsoran Varnes (1978), jenis longsoran yang berkembang di jalur transek adalah translasi tanah dan luncuran bahan rombakan (Gambar 7). Terdapat empat titik kejadian longsoran yang umumnya berada di tengah jalur transek (Gambar 8). Secara umum longsoran tersebut memiliki dimensi kisaran lebar 12-15 m, tinggi 15-55 m, dan dengan kemiringan lereng berkisar antara 37°-75° (lihat Gambar 7 a-c). Jenis tanah dan batuan yang mengalami longsor adalah dari jenis tuf pasir, tanah lempung, dan batulempung.



Sumber : Anonim, 2015b

**Gambar 6.** Peta jalur transek Liwa – Ranau berupa garis tebal berwarna merah dan hubungannya dengan struktur geologi. Interpretasi struktur berdasarkan Aribowo drr, 2014. Ekspresi topografi danau dan rendahan ditunjukkan oleh warna biru. Mekanisme fokal gempabumi bersumber dari Katalog Harvard Global CMT



**Gambar 7.** Gambar a dan b longsoran jenis bahan rombakan, gambar c longsoran jenis translasi tanah

Sementara itu, sehubungan dengan aktifitas seismik pada daerah penelitian, maka perlu dikaji juga faktor keamanan lereng (SF). Analisis kestabilan lereng dilakukan dengan menggunakan metode *finite element*. Pemodelan lereng dilakukan dengan bantuan perangkat lunak komputer PLAXIS (Anonim, 2006) serta dilakukan dalam dua kondisi, yaitu kondisi tanpa beban gempabumi dan kondisi dengan beban gempabumi. Beban gempabumi yang didasarkan Buku Penggunaan Peta Gempa Indonesia (Irsyam, drr 2010) menyatakan daerah penelitian berada di daerah dengan nilai percepatan puncak maksimum (PGA) pada batuan dasar sebesar 0,4g. Nilai ini kemudian digunakan dalam pemilihan *peak acceleration input time histories*

Di beberapa tempat dapat ditemukan adanya rembesan mataair di kaki longsor. Dari kejadian ini maka dapat disimpulkan bahwa daerah ini berpotensi longsor dengan penyebab hidrologi.

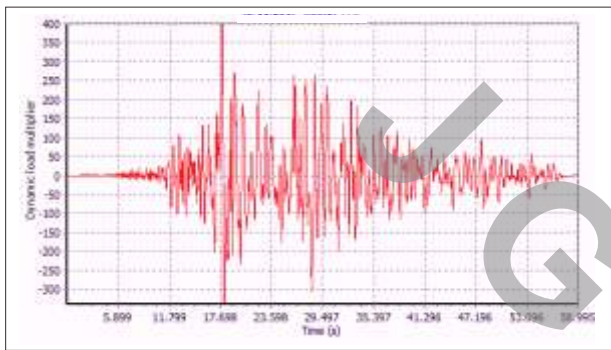


**Gambar 8.** Titik pengamatan kejadian longsoran Jalur Transek Liwa-Ranau, Lampung Barat

gempa pada dasar model lereng (Gambar 9). Disebabkan mekanisme seismik yang terjadi didominasi sesar, maka dipilih input motion Gempabumi Chichi dengan penskalaan puncak percepatan sebesar 0,4g ( $400\text{cm/s}^2$ ).

Beberapa properti fisik dan teknik endapan penyusun jalur transek dipakai untuk pemodelan kestabilan lereng (Tabel 2).

Gambar 10 memperlihatkan hasil pemodelan lereng tuf pasir (a) tanpa beban gempabumi serta dengan beban gempabumi (b). Lereng pada gambar 10 adalah lereng homogen yang tersusun oleh tuf pasir. Sementara Gambar 11 memperlihatkan hasil pemodelan lereng lempung coklat (a) tanpa beban gempabumi serta dengan

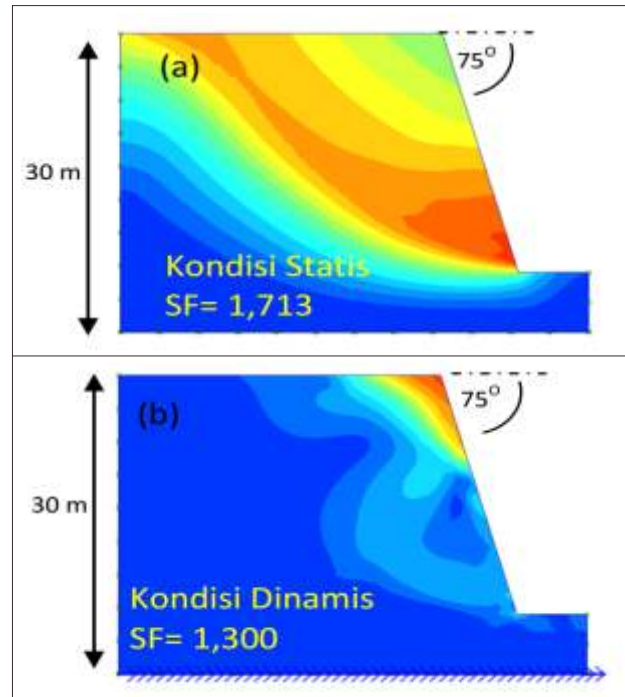


**Gambar 9.** Beban gempa untuk simulasi dengan percepatan puncak pada batuan dasar sebesar 0,4g

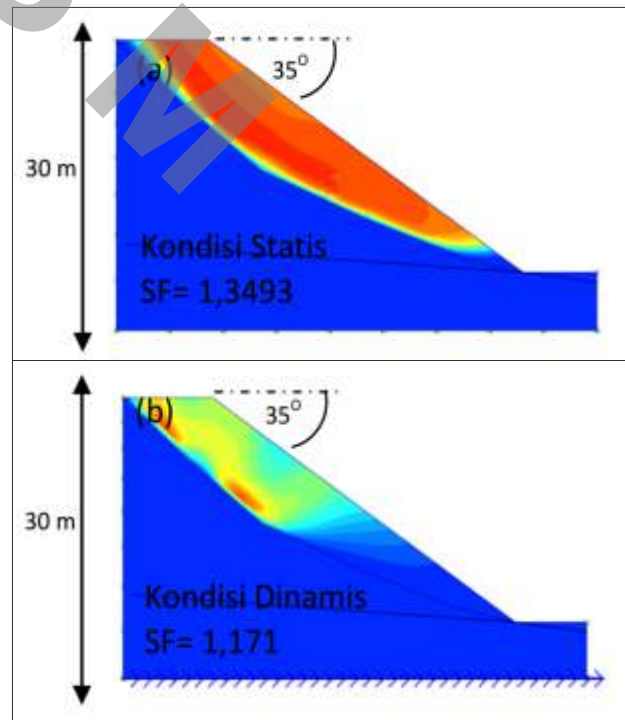
**Tabel 2.** Properti fisik dan mekanik endapan penyusun jalur transek yang dipakai untuk pemodelan kestabilan lereng

No	Jenis Litologi	Karakteristik
1	Lempung coklat	<ul style="list-style-type: none"> <li>unsat = <math>15 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>sat = <math>16 \text{ kN/m}^3</math></li> <li><math>E = 1,500\text{E}+04 \text{ kN/m}^2</math></li> <li>= 0,200</li> <li><math>c = 2,5 \text{ kPa}</math></li> <li>= <math>39,8^\circ</math></li> </ul>
2	Batulempung	<ul style="list-style-type: none"> <li>unsat = <math>20 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>sat = <math>20 \text{ kN/m}^3</math></li> <li><math>E = 2,100\text{E}+10 \text{ kN/m}^2</math></li> <li>= 0,200</li> <li><math>c = 40 \text{ kPa}</math></li> <li>= <math>70^\circ</math></li> </ul>
3	Tuf pasir	<ul style="list-style-type: none"> <li>unsat = <math>16,1 \text{ kN/m}^3</math></li> <li>sat = <math>16,1 \text{ kN/m}^3</math></li> <li><math>E = 1,029\text{E}+04 \text{ kN/m}^2</math></li> <li>= 0,243</li> <li><math>c = 7 \text{ kPa}</math></li> <li>= <math>38,4^\circ</math></li> </ul>

beban gempabumi (b). Lereng pada gambar 11 adalah lereng heterogen yang tersusun oleh batulempung di bawah dan tanah lempung coklat berada di atasnya.



**Gambar 10.** Hasil simulasi mekanisme pergerakan lereng tuf pasir. (a) tanpa beban gempabumi, (b) dengan beban gempabumi



**Gambar 11.** Hasil simulasi mekanisme pergerakan lereng tanah residu coklat. (a) tanpa beban gempabumi, (b) dengan beban gempabumi

Pemodelan geometri lereng berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Masing-masing model memperlihatkan adanya penurunan angka faktor keamanan lereng (SF). Penurunan angka aman lereng berkisar dari 0,4 sampai dengan 0,17. Penurunan terjadi ketika beban gempabumi dimasukkan ke dalam simulasi. Pada kasus lereng tuf pasir, mekanisme longsoran membentuk bidang yang menghubungkan kaki lereng dengan atas lereng berbentuk lingkaran. Sementara pada lereng yang disusun oleh lempung coklat dan batulempung mekanisme pergerakan terbentuk sepanjang batas antara lapisan batulempung dan tanah residual coklat.

## KESIMPULAN

Jalur transek Liwa-Ranau adalah salah satu jalur utama di barat Sumatra yang bertopografi perbukitan dengan kemiringan lereng sedang hingga terjal. Jalur ini tersusun oleh endapan pasir dan lempung berumur Kuartar yang memiliki karakteristik lepas-lepas, agak padat, memiliki kapasitas mengembang yang tinggi, dan memiliki kekuatan tanah yang kecil. Endapan tersebut merupakan hasil pelapukan batuan asam sampai menengah. Pemodelan kestabilan lereng hubungannya dengan aktifitas seismik menggambarkan bahwa lereng di sekitar jalur transek memiliki angka aman di atas satu (baik tanpa beban gempabumi ataupun dengan beban gempabumi).

Kondisi menarik ditunjukkan oleh pemodelan kestabilan lereng tanah residual coklat, untuk lereng ini ternyata ketika gempabumi terjadi, nilai angka amannya mendekati 1 sehingga kestabilannya termasuk kritis, hal ini sesuai dengan kejadian pada tanggal 31 Maret 2014. Peristiwa gempabumi yang memicu longsor pada tanggal 31 Maret 2014 membuktikan bahwa kondisi lereng di sekitar jalur transek berpotensi longsor walaupun pemodelan lereng menggambarkan lereng di sekitar jalur transek aman. Peristiwa tersebut membuktikan bahwa kondisi fisik endapan penyusun lereng dan faktor gangguan dari luar lereng mempengaruhi potensi longsor suatu lereng. Dalam kasus di jalur transek Liwa-Ranau, Lampung Barat kondisi fisik endapan penyusun lereng merupakan faktor penyebab peristiwa longsor, sementara gangguan dari luar seperti peristiwa gempabumi akan memicu terjadinya peristiwa longsor.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Secara khusus penulis mengucapkan terimakasih sebesar besarnya kepada rekan-rekan penulis yang telah membantu penulis sehingga tulisan ini dapat selesai. Tidak lupa penulis mengucapkan terima kasih kepada Kepala UPT LUTPMB, Liwa-LIPI yang telah memberikan kesempatan penulis untuk melakukan penelitian.

## ACUAN

- Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W. 1993., *Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera, Skala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi
- Anonim, 2015. Meteorological Climatological and Geophysical Agency, BMKG Earthquake Database, [http://repegempa.bmkg.go.id/proses\\_query2.php](http://repegempa.bmkg.go.id/proses_query2.php), diakses tanggal 11 Juni 2015
- Anonim, 2006, PLAXIS 2D-Version 8, Manual software, Netherland
- Aribowo, S., Pratiwi, I., Irawan, T., Baidilah, M., 2014. Karakteristik Sesar Sumatra Segmen Kumering dan batuan pada skala singkapan sepanjang jalur sesar, *Prosiding Pemaparan Hasil Penelitian Pusat Penelitian Geoteknologi*, Bandung
- Gafoer, S., Amin, T.C., dan Pardede, R., 1993, *Peta Geologi Lembar Baturaja, Sekala 1:250.000*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Departemen Pertambangan dan Energi, Bandung
- Hadi, I., Anwar, H.Z., dan Wibowo, S., 1993, *Gerakan Tanah di Desa pampangan Kec. Cukuh Balak, Lampung Selatan*, Laporan penelitian, Puslitbang Geoteknologi, LIPI
- Hamblin, W.K., and Howard, J.D., 1964, *Physical Geology 3rd Editon*, Minnesota: Burgess Publishing Company
- Hardiyatmo, H.C., 2006, *Mekanika Tanah 1*, Gadjah Mada University Press
- Hardiyatmo, H.C., 2012, *Tanah Longsor dan Erosi: Kejadian dan Penanganan*, Gadjah Mada University Press



- Hurlimann, M., Ledesma, A., and Marti, J., 2001, Characterisation of a volcanic residual soil and its implications for large landslide phenomena: application to Tenerife, Canary Islands, *Engineering Geology*, 59, 115-132, Elsevier
- Irsyam, M., Sengara, I.W., Aldiamar, F., Widiyantoro, S., Triyoso, W., Kertapati, E., Natawidjaja, D.H., Meilano, I., Soehardjono, Asrirufak, M., dan Ridwan, M., 2010, *Buku Penggunaan Peta Gempa Indonesia 2010*, Kementerian Pekerjaan Umum
- Koswara, A., dan Santoso., 1995. Geologi rinci daerah Liwa Lampung Barat Sumatera Selatan skala 1:50.000, *Jurnal Geologi dan Sumberdaya Mineral*, VI
- Meyerhoff, G.G., 1956, Penetration test and bearing capacity of cohesionless soils, *Journal of Soil Mechanics and Foundations Division*, 82, 1-19
- Peck, R.B., 1967, Stability of natural slopes, *Journal of The Soil Mechanics and Foundation Division*, ASCE, 93, SM 4, 79-83
- Resfiandhi, R., Sadisun, I. A., Sumaryono, dan Triana, Y. D., 2014. A review on the features of earthquake induced landslides in Indonesia, *Proceeding of International Conference of Transdisciplinary Research on Environmental Problem in Southeastern Asia*
- Sieh, K., dan Natawidjaja, D.H., 2000, Neotectonics of the Sumatra Fault, Indonesia, *Journal of Geophysical Research*, 105, 28 295-28 326
- Varnes, D. J., 1978. Slope movement types and processes, In: Special Report 176: *Landslides: Analysis and Control*