IDENTIFIKASI BIDANG LINCIR MENGGUNAKAN METODA GEOLISTRIK TAHANAN JENIS DAERAH RAWAN LONGSOR DI KOTA PADANG DAN KABUPATEN AGAM SUMATERA BARAT

Akmam¹⁾, Harman Amir¹⁾, Amali Putra¹⁾

Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang Kampus Airtawar Padang
Indonesia

Akmam_db@fmipa.unp.ac.id

Abstrak

Sumatera Barat memiliki topografi bergelombang dan curam. Sumatera Barat disamping memiliki kemiringan topografi lebih dari 30 derajat, juga memiliki curah hujan yang tinggi. Kondisi tersebut menjadikan kawasan ini memiliki potensi resiko longsor yang cukup tinggi. Masalah ini perlu ditanggulangi dengan melakukan penelitian tentang bagaimana karakteristik permukaan bidang gelincir sebagai studi pendahuluan mitigasi longsor di Sumatera Barat. Informasi tentang karakteristik bidang lincir di daerah rawan longsor di Sumatera Barat belum banyak tersedia. Dengan alasan di atas, dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui kedalaman dan kemiringan bidang gelincir di Kota Padang dan Kabupaten Agam Sumatera Barat. Penelitian eksploratif ini menggunakan metode resistivitas dengan peralatan Ares (produksi Cheko). Data resistivitas semu diinterpretasikan menggunakan metode inversi *Least-Square* yang telah dioptimalkan untuk mendapatkan penampang 2D resistivitas sesungguhnya. Ketebalan dan kemiringan permukaan bidang gelincir daerah target dihitung berdasarkan penampang 2D resistivitas sesungguhnya dengan bantuan data topografi. Penelitian menunjukkan bahwa rata-rata kedalaman dan sudut permukaan bidang gelincir di Kabupaten Agam Sumatera Barat masing-masing adalah 41^0 dan 16,5 meter. Rata-rata kedalaman dan sudut kemiringan permukaan bidang lincir di Padang masing-masing 38^0 dan 12,5 meter. Batuan yang berperan sebagai permukaan bidang gelincir adalah Clay

Kata Kunci : identifikasi, bidang gelincir, tahanan jenis, longsor

IDENTIFICATION OF THE SLIPS SURFACES USING RESISTIVITY GEOELECTRICAL METHOD IN LANDSLIDE PRONE AREAS IN PADANG AND AGAM REGENCY OF WEST SUMATERA

*Akmam, Akmam¹⁾; Amir, Harman¹⁾; Putra, Amali¹⁾
Jurusan Fisika FMIPA Universitas Negeri Padang
Akmam_db@fmipa.unp.ac.id*

Abstrak

West Sumatra has wavy and steep topography. Beside, West Sumatra has topographic slope more than 30, it also has high rainfall. This condition makes this area has a high potential of landslide risk. This problem needs to get a scientific study of how the surface characteristics of the landslide field as a preliminary study of landslide mitigation in West Sumatra. Information on the characteristics of landslide surfaces in landslide prone areas in West Sumatra has not been widely available. Based on the above reason, research has been done to find out the depth and slope of the landslide surface in Padang and Agam Regency of West Sumatra. This explorative research uses resistivity method using Ares equipment set (Cheko production). The apparent resistivity data is interpreted using the optimized least-squares smoothness-constrain inversion method in order to obtain true resistivity 2D cross-section. The layer thickness and the slope of landslide surface the targeted area was calculated base on true resistivity 2D cross-section that synchronized with topographic data. The results showed that the average both depth and angle of the landslide surfaces in Agam regency of West Sumatra were 41 degree and 16.5 meters respectively. The average both depth and angle of the landslide surfaces in Padang were 38 degree and 12.5 meters respectively. The rock that acts as a landslide surfaces is Clay

Key word : identification, slips surfaces, resistivity, Landslide

PENDAHULUAN

Provinsi Sumatera Barat merupakan provinsi yang terletak khalistiwa dan jalur patahan Semangko terdiri dari dataran rendah dan dataran tinggi vulkanik mempunyai panorama yang indah, namun rawan terhadap bencana gempa dan longsor. Sumatera Barat memiliki topografi bergelombang dengan berkemiringan lereng lebih dari 30^0 , disamping itu mempunyai curah hujan tinggi, sehingga potensi longsor terjadi cukup tinggi. Longsor dapat menyebabkan kerusakan struktur batuan, insfrastruktur, perkebunan, perternakan bahwa jiwa manusia, berarti longsor merupakan bencana alam yang berdampak luas (Rini, 2017). Faktor internal yang dapat menyebabkan terjadi longsor adalah lemahnya daya ikat batuan sehingga butiran tanah dan batuan dapat terlepas dari ikatannya. Pergerakan butiran ini dapat menyeret butiran lainnya yang ada disekitar sehingga membentuk massa longsor yang cukup besar. Faktor eksternal yang dapat mempercepat dan memicu terjadinya gerakan tanah diantaranya sudut kemiringan lereng, curah hujan, perubahan kelembaban tanah, dan material tutupan lahan.

Batas antara batuan yang longsor dengan batuan keras yang berperan sebagai landasan disebut bidang lincir. Bidang lincir adalah suatu bidang dimana material suatu longsor bergerak di atasnya (Priyantari dan Wahyono, 2005). Batas antara massa material yang bergerak dan yang diam disebut bidang lincir (Zakaria, 2005). Jadi, bidang lincir adalah suatu bidang praduga tempat Bergeraknya material yang mengalami longsor. Bidang lincir merupakan suatu hal yang harus diketahui, karena bidang lincir merupakan salah satu penyebab terjadinya longsor.

Secara umum bidang lincir memiliki ciri –ciri yaitu: pertama adanya bidang perlapisan batuan diantaranya bidang kontak antara batuan dengan batuan dasar. Kedua adanya bidang kontak antara batuan yang retak-retak dengan batuan yang kuat. Ketiga adanya bidang kontak antara batuan yang dapat melewati air dengan batuan yang tidak dapat melewati air (kedap air). Bidang-bidang ini merupakan bidang lemah dan dapat berfungsi sebagai bidang lincir suatu longsor, seperti bidang kontak antara batuan yang melewati air dengan batuan yang kedap air. Batuan yang menyimpan air mempunyai porositas yang tinggi sehingga bobot batumannya

bertambah. Batuan jenis ini apabila berada di atas batuan yang kedap air, akan menimbulkan longsor. Kedalaman bidang lincir yang merupakan batas antara massa yang bergerak dan yang diam dari permukaan tanah sangat penting bagi deskripsi longsor (Fransheri, 2012). Kedalaman bidang lincir berguna untuk mengetahui seberapa besar resiko longsor yang terjadi. Longsor aktif selalu bergerak pada bidang lincir sepanjang waktu atau sepanjang musim, sedangkan longsor lama dapat kembali aktif sepanjang adanya faktor-faktor pemicu terjadinya longsor. Salah satu metoda yang dapat digunakan untuk mendeteksi bidang lincir adalah metoda Tahanan jenis.

Metoda Tahanan Jenis merupakan bagian dari metoda eksplorasi Geofisika untuk mengestimasi kondisi struktur bawah permukaan bumi berdasarkan tahanan jenis batuan (Akmam & Sudiar, 2013, Telford et al, 1976, Reynolds, 1997, Akmam et al, 2017). Data tahanan jenis batuan diperoleh dengan cara mengalirkan arus listrik ke dalam bumi. Jika bumi diasumsikan sebagai medium homogen dan isotropis, arus yang diinjeksikan ke dalam akan mengalir kesegala arah dengan membentuk bidang ekipotensial setengah bola. Aliran arus listrik yang diinjeksikan ke bumi ditunjukkan pada Gambar 1

Gambar 1. Titik sumber arus pada permukaan medium homogen (Akmam et al., 2017, Telford et al., 1976 and Reynolds, 1997).

Potensial listrik $V(z)$ pada permukaan bumi ($z = 0$) bumi berlapis pada jarak x dari elektroda ditanamkan diturunkan oleh (Gupta et al., 1997 dan Gad El-Qudy, 1999) menggunakan inversi transformasi Fourier, dinyatakan dengan

$$V(x) = \frac{1}{2\pi} \int_0^{\infty} T_1(\lambda) J_0(\lambda x) d\lambda \quad (1)$$

dimana $V(x)$ adalah beda potensial, $J_0(\lambda x)$ adalah fungsi Bessel orde ke-nol jenis pertama, $T_1(\lambda)$ adalah impedansi listrik pada permukaan yang didefinisikan sebagai

fungsi transformasi tahanan jenis dari tahanan jenis dan ketebalan suatu lapisan bumi dan λ (khusus untuk konfigurasi *Schlumberger* adalah $(AB/2)$, setengah dari jarak elektroda arus yang berperan sebagai variabel integrasi (Akmam et al., 2015, Gupta et al., 1997).

Secara kelistrikan struktur bidang lincir dapat diketahui berdasarkan nilai tahanan jenis batuanannya. Material longsor dicirikan dengan nilai tahanan jenis rendah dan bidang lincir ditandai dengan batuan yang memiliki tahanan jenis tinggi (Gemizzi et al., 2011, Akmam et al., 2017). Bidang lincir secara kelistrikan ditandai dengan adanya dua lapisan batuan yang nilai tahanan jenisnya sangat kontras (Chambers et al., 2014). Jadi, tahanan jenis batuan di bawah permukaan dapat dieksplorasi dengan metoda geolistrik tahanan jenis. Batuan bidang lincir bertahanan jenis $(200-100) \Omega m$ (dibaca Ohm Meter) (Fransheri et al., 1998). Kedalaman bidang lincir dari permukaan tanah penting untuk mendeskripsikan longsor (Gemizzi et al., 2011, Bell et al., 2006). Pemodelan tahanan jenis 2D (Zorah et al., 2016) menemukan bahwa bidang lincir berada pada kedalaman 6-8 meter berupa batu Breksi lapuk dengan tahanan jenis $(30-118 \Omega m)$. Secara litologi, batuan perpotensi sebagai bidang lincir adalah batuan lempung, lempung basah, batuan lempung pasir sampai pasir lempungan, dan batuan pasir sampai breksi. Hasil studi (Lapenna, et al., 2011) tentang Geoelectrical Tomographies in the Study of Giarrossa Landslide Italia menemukan batuan yang berperan sebagai bidang gelincir adalah batuan yang mempunyai kontras resistivity yaitu $\rho > 30 \Omega m$ (batuan Glay) yang berbatasan batuan beresistivitas rendah ($\rho > 20 \Omega m$). Jadi, berdasarkan uraian di atas terlihat bahwa metoda Geolistrik Tahanan jenis dapat digunakan untuk mengeksplorasi bidang lincir.

Kedalaman bidang lincir penting untuk diketahui karena pengetahuan tentang kedalaman dan kemiringan bidang lincir, seberapa besar resiko longsor yang akan terjadi dapat diestimasi, namun bidang lincir sulit diprediksi. Hal ini disebabkan oleh kompleksnya struktur batuan pembentuk bidang lincir tersebut. Berdasarkan hal di atas dilakukan penelitian yang bertujuan untuk mengidentifikasi bidang lincir di Kecamatan Kotatengah Padang dan Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Sumatera Barat. Hasil penelitian ini diharapkan dapat sebagai sumbangan pemikiran untuk

merancang mitigasi longsor pada kawasan penelitian. Daerah penelitian di Provinsi Sumatera Barat, seperti pada Gambar 2

Gambar 2. Peta Geologi Lembar Padang Sumatra

<http://www.amuzigi.com/2016/03/geologi-regional-lembar-padang-sumatera.html>

Secara garis besar jenis batuan pada peta geologi terdiri dari Aliran tak teruraikan (Qtau), Alluvium (Qt), Tufa krista (QTO), Andesit (Qta), Tufa (QTp), Batu gamping (PTls), Filit dan batu pasir dan batu Lanau (PTps). Aliran yang tak teruraikan (Qtau) merupakan batuan hasil gunung api yang tak teruraikan umumnya berupa lahar, konglomerat, Breksi dan Batu pasir yang bercampur menjadi satu. Batuan ini tersebar pada daerah Bukit Barisan. Andesit (Qta) dan Tufa (QTp) merupakan batuan gunung berapi yang masih masif bewarna hitam keabu-abuan hingga putih, andesit berselingan dengan tufa, terlihat pada singkapan setempat-setempat di Lubuk Silasih, Malalak dan perbukitan Lembah Anai yang bersebelahan dengan batu gamping. Andesit (Qta) dan Tufa (QTp) hampir mencakup seluruh wilayah Kabupaten Agam.

METODA PENELITIAN

Eksplorasi dengan metoda Geolistrik Tahanan jenis memiliki dua parameter yaitu parameter diukur dan dihitung. Parameter yang diukur merupakan parameter yang diperoleh langsung pada saat pengukuran di lapangan yaitu kuat arus listrik (I),

beda potensial (V) dan spasi jarak elektroda. Parameter yang dihitung merupakan parameter hasil perhitungan dan analisa dari parameter yang diukur. Parameter yang dihitung pada penelitian ini adalah tahanan jenis semu. Data parameter diukur diperoleh melalui pengukuran langsung menggunakan *Automatic Resistivity System GF Instrument (ARES) multichannel* dengan spesifikasi model Ares-G4 produksi Cheko, milik Jurusan FMIPA UNP Padang. Pengukuran dilakukan menggunakan konfigurasi *Shulumberger* dengan susunan seperti Gambar 3.

Gambar 3. Susunan elektroda konfigurasiSchulamberger.

Data parameter yang dihitung adalah tahanan jenis semu yang dihitung dengan

$$\rho_a = 2n\pi a(n+1) \frac{\Delta V}{I} \quad (2)$$

Data (*apparent resistivity*) hasil pengukuran diinterpretasikan menggunakan metoda inversi *Least-Square smoothness constrain* untuk mendapatkan penampang 2D tahanan jenis sesungguhnya (*true resistivity*). Berdasarkan harga *true resistivity* yang diperoleh, struktur geologi daerah rawan bencana longsor dan tabel tahanan jenis referensi diestimasi bentuk, kedalaman serta sudut kemiringan bidang lincir di Kota Padang dan Kabupaten Agam. Faktor damping atau faktor koreksi yang digunakan adalah

$$\Delta m = V \text{diag} \left\{ \frac{1}{\lambda_j^2 + \epsilon^2} \right\} U^T \Delta d \quad (3)$$

Faktor damping diperoleh dengan dengan dekomposisi nilai singular. Perkiraan untuk parameter penting dan parameter sensitif dapat menyimpang begitu banyak, sehingga memerlukan iterasi tambahan, atau inversi mulai beresilasi di sekitar titik minimum [8]. Semua interprestasi data dilakukan dengan bantuan software Matlab versi 7.01 dan Res2Dinv dengan Dogle dari Sri Gutomo USM Malaysia (Loke, 2014)

HASIL DAN PEMBAHASAN

Penampang pseudosection tahanan jenis 2-D di Kecamatan Kotatengah Padang dan Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Sumatera Barat diperoleh melalui interpretasi data Geolistrik Tahanan jenis dengan metoda Inversi *least-squares smoothness-constrain*. Berikut ini akan dijelaskan hasil pengukuran dan interpretasi untuk setiap lokasi pengukuran.

1. Lokasi Pertama

Lokasi pertama terbentang dari koordinat (00°22.259 S, 100°17,300 E', ketinggian 1300 meter dpl) sampai dengan (00°22.385 S, 100°17,206 E', ketinggian 1207 meter dpl), berada di Kecamatan Malalak Timur Agam Sumatera Barat

Gambar 4: Penampang pseudosection tahanan jenis 2-D di Kecamatan Malalak Timur Agam Sumatera Barat

Longsor berskala besar pada lokasi pertama ini terakhir terjadi pada titik pengggukuran ini adalah November tahun 2016. Jenis batuan pada lintasan ini adalah Tanah bercampur Lempung (legend berwarna hijau , tahanan jenis 5 Ω m sampai dengan 75 Ω m), *Limestone* (legend berwarna hijau tua, tahanan jenis 85 Ω m sampai dengan 350 Ω m), *Sandstone* (legend berwarna kuning, tahanan jenis 360 Ω m sampai dengan 1000 Ω m), Gravel (legend berwarna merah bata, tahanan jenis 1050 Ω m sampai dengan 1320 Ω m) dan *Dolomit* (legend berwarna merah tua, tahanan jenis 1330 Ω m sampai dengan 3000 Ω m), serta *Andesit* (legend berwarna merah tua, tahanan jenis lebih dari 3000 Ω m). Gambar 5, memperlihatkan bahwa anomali tahanan jenis batuan pada daerah ini diestimasi karena adanya batuan *Dolomit*.

Dolomit merupakan batuan padat dan keras yang merupakan batuan yang kedap air namun mudah mengalami pelapukan. Akibat *Marl* yang berada di atas bantuan *Dolomit* bersifat sebagai bidang lincir (Chang et al., 2017). Hal inilah yang memicu kawasan ini sering longsor, apabila diguyur oleh hujan dengan volume yang tinggi.

Gambar 4 menunjukkan bahwa Clay (bertahanan jenis = $22.3 \Omega\text{m}$ - $30 \Omega\text{m}$) ditemukan di antara batuan Andesit (bertahanan jenis = $481 \Omega\text{m}$ - $3267 \Omega\text{m}$) (Akman et al., 2013, Telford et al., 1976). Struktur perlapisan seperti ini mengindikasikan adanya permukaan bidang lincir (Bari et al., 2011; Joab et al., 2009). Kehadiran bantuan Lempung yang berada di atas bantuan Dolomite inilah yang menyebabkan terbentuknya permukaan bidang lincir (Zaroh et al., 2016, Fransheri et al., 1998). Permukaan bidang lincir lokasi ini memiliki kemiringan 43.420, dengan ketebalan lapisan 15 meter. Jenis permukaan bidang lincir pada lokasi ini adalah translasi. Pada lokasi berpeluang longsor besar, jika pada kawasan ini diguyur hujan dengan volume besar.

2. Lokasi Kedua

Lokasi kedua terbentang dari koordinat (00°22.705 S, 100°16,318 E', ketinggian 1299 meter dpl sampai dengan (00°22.514 S, 100°16,738 E', ketinggian 1080 meter dpl).

Gambar 5. Penampang pseudosection tahanan jenis 2-D di Kecamatan Malalak Utara Agam Sumatera Barat

Longsor berskala kecil pada lokasi ini terakhir terjadi pada titik pengggukuran ini adalah Oktober tahun 2015. Jenis batuan pada lokasi ini adalah tanah bercampur Lempung (legend berwarna hijau, tahanan jenis $15 \Omega\text{m}$ sampai

dengan 150 Ωm), *Limestone* (batuan kapur) (legend berwarna hijau tua, tahanan jenis 160 Ωm sampai dengan 950 Ωm), *Sandstone* (batuan pasir) (legend berwarna kuning, tahanan jenis 1000 Ωm sampai dengan 2200 Ωm), Karakal (legend berwarna merah bata, tahanan jenis 2250 Ωm sampai dengan 4520 Ωm) dan *Dolomit* (legend berwarna merah tua, tahanan jenis 1230 Ωm sampai dengan 2000 Ωm), serta *Andesit* (legend berwarna merah tua, tahanan jenis lebih dari 4550 Ωm). Gambar 5 menunjukkan bahwa anomali tahanan jenis batuan pada daerah ini diestimasi karena adanya batuan *Dolomit* dan *Andesit*.

Dolomit dan *Andesit* merupakan batuan padat dan keras yang merupakan batuan yang kedap air namun mudah mengalami pelapukan. Sama halnya dengan persyaratan pada lokasi pertama, bidang lincir pada lokasi kedua mempunyai kemiringan 44.42° , ketebalan lapisan 15 meter. Jenis bidang lincirnya adalah translasi. Pada lokasi berpeluang longsor besar, jika pada kawasan ini diguyur hujan dengan volume besar. Longsor dengan volume besar diperkirakan jarang akan terjadi pada lokasi ini. Batuan *Andesit* yang berada di atas *Limestone* merupakan lapisan kedap air, namun apabila terjadi hujan yang sangat deras dengan debit air yang tinggi, dimana air dapat menembus retakan pada batuan *Andesit*, longsor dengan skala sangat besar dapat terjadi pada lokasi ini (Chih-Wen, 2008). Longsor dengan skala kecil dapat saja terjadi pada lokasi ini setiap saat karena bukit pada lokasi ini cukup terjal. Massa yang berpindah saat longsor pada lokasi ini diperkirakan adalah humus tanah.

3. Lokasi Ketiga

Lokasi kedua terbentang dari koordinat ($00^{\circ}81'81.5''\text{S}$, $100^{\circ}39'42.5''\text{E}$ ketinggian 180 dpl - $00^{\circ}88'30.3''\text{S}$, $100^{\circ}39'81.5''\text{E}$, ketinggian 280 dpl) di Kecamatan Kototangah Padang Sumatera Barat

Gambar 6. Penampang pseudosection tahanan jenis 2-D di Kecamatan Kotatengah Padang Sumatera Barat

Longsor berskala menengah pada lokasi ini terakhir terjadi pada titik pengggukuran ini adalah Oktober tahun 2016. Gambar 6 menunjukkan penampang 2D pada lokasi ketiga dengan ketinggian berkisar antara 180-280 mdpl. Jenis batuan pada lintasan ini adalah air tanah (legend berwarna biru, tahanan jenis 1.8 Ω m sampai dengan 20 Ω m), tanah bercampur Lempung (legend berwarna hijau, tahanan jenis 50 Ω m sampai dengan 250 Ω m), *Sandstone* (legend berwarna kuning, tahanan jenis 300 Ω m sampai dengan 1900 Ω m), Karakal (legend berwarna merah muda, tahanan jenis 2000 Ω m sampai dengan 4500 Ω m) dan *Andesit* (legend berwarna merah, tahanan jenis lebih 5000 Ω m). Sudut kemiringan bidang lincir pada lokasi ini 25,68° dengan ketebalan 20 meter. Jenis bidang lincirnya adalah translasi. Pada lokasi berpeluang longsor besar, jika pada kawasan ini diguyur hujan dengan volume besar disamping kawasan sedang penembangan hutan yang cukup luas. Anomali tahanan jenis batuan pada daerah ini diestimasi karena adanya batuan *Andesit* (Bell et al, 2006). Longsor dengan skala kecil dapat saja terjadi pada lokasi ini karena bukit pada lokasi ini cukup terjal. Massa yang berpindah saat longsor pada lokasi ini diperkirakan adalah tanah yang bercampur pasir.

KESIMPULAN

Struktur batuan di Kabupaten Agam dan kota Padang Sumatera Barat terdiri dari Clay, Limestone, Sandstone, Andesit, Dolomite, Gravel, Tufa, Granit dan Kerikil serta Marl. Rata-rata kedalaman dan sudut bidang lincir di Kecamatan Malalak Kabupaten Agam Sumatera Barat masing-masing 41° dan 16,5 meter. Rata-rata kedalaman dan sudut bidang lincir di Kecamatan Kototengah Padang Sumatera Barat

masing-masing 25,68° dan 20 meter. Pelaksanaan hasil penelitian ini adalah pada koordinat (00°22.259 S 100°17,300 E ') ke (00°24.576 S, 100°16,596 E') untuk kabupaten Agam dan koordinat (00°81'81.5" S, 100°39'42.5" E) ke (00° 88'30.3" S , 100° 39'81.5" E) untuk kota Padang harus direncanakan mitigasi bencana tanah longsor. Mitigasi yang bisa dilakukan adalah membuat bendungan tanah longsor dengan kedalaman 17 meter. Bendungan yang harus bisa melewati air, sehingga massa tanah tidak menekan bendungan saat hujan deras. Perlu pihak sipil membuat bendungan tanah yang berpori untuk dapat menahan volume longsor besar. Berhubungan kawasan ini banyak dijadikan perkebunan kayu Kulitmanis, seharusnya panen dilakukan tanpa membunuh pohon induk, sehingga akar pohon tetap hidup.

UCAPAN TERIMA KASIH

Terima kasih diucapkan kepada Rektor Universitas Negeri Padang yang telah membiayai penelitian melalui Hibah Penelitian Unggulan Perguruan Tinggi, melalui Dana PNBP Universitas Negeri Padang dengan Nomor Kontak Penelitian : 1651/UN35.2/PG/2017.

REFERENSI

- Akmam dan Nofi, Y.S., 2013. *Analisis Struktur Batuan Dengan Metoda Inversi Smoothness-Constrained Least-Squares Data Geolistrik Konfigurasi Schlumberger Di Universitas Negeri Padang Kampus Air Tawar* , Prosiding Semirata FMIPA Universitas Lampung, 45-51
- Akmam, Irefia, R., D., Silvia D. , S., Jemmy, R., 2015, *Optimition Of Least Squares Methods Smooth Constrain Using Occam's Inversion Geoelectric Resistivity Dipole-Dipole Consfiguration For Estimation Slip Surface*, The International Conference on Mathematics, Science, Education and Technology, Inna Muara Hotel and Convention Center Padang, Indonesia, October 22, hal: 178-185
- Akmam A, Amir H, Putra A, and Elfitri R 2017 Optimize of Least-Square Inverse Constrain Method of Geoelectrical Resistivity Wenner-Schlumberger for Investigation Rock Structures in Malalak Districts of Agam West Sumatra *4th International Conference on Technical and Vocation Education and Training Padang*, November 9-11: 58-63
- Alaudin 2016 Peta Geologi Lembar Padang Sumatra, <http://www.amuzigi.com/2016/03/geologi-regional-lembar-padang-sumatera.html>, Download 12 Desember 2017.

- Bell, R., Jan-Erik Kruse, Alejandro Garcia, Thomas Glade, Bonn, Andreas Hördt, Braunschweig, (2006), *Subsurface Investigations of Landslides Using Geophysical Methods Geoelectrical Applications In The Swabian Alb (Germany)*, Geographica Helvetica Jg. 61 2006/ Heft 3), Hal. 201-208, (diunduh pada tanggal 20 April 2017)
- Chambers, J.E., P.B. Wilkinson, D.A. Gunn, R.D. Ogilvy, G.S. Ghataora, M.P.N. Burow, Tilden, S.R., (2007), *Non-invasive characterization and monitoring of earth embankments using Electrical Resistivity Tomography (ERT)*, British Geological Survey, e-Journal, download September 2014.
- Chang, Jui-Ming, Chen, Hongey, Jou, Ben Jong-Dao Jou, Tsou, Nien-Chiao, Lin, Guan-Wei, (2017), Characteristics rainfall intensity, duration, and kinetic energy for landslide triggering in Taiwan, Engineering Geology, S0013-7952(17)31458-8, doi: 10.1016/j.enggeo.2017.10.006
- Chih-Wen Chiang, Martyn J. Unsworth, Chow-Son Chen, Chien-Chih Chen, Andrew Tien-Shun Lin, and Han-Lun Hsu, 2008, *Fault Zone Resistivity Structure and Monitoring at the Taiwan Chelungpu Drilling Project (TCDP)*, (2008), Studia Geomorphologi Cacarpatho - Balcanica Vol. XLII, 57–73 PL ISSN 0081-6434, (diunduh pada tanggal 20 April 2017) (diunduh pada tanggal 20 April 2017)
- Darsono, Bambang, N, Legowo, B., (2012), *Identifikasi Bidang Gelincir Pemicu Bencana Tanah Longsor dengan Metode Resistivitas 2 Dimensi di Desa Pablengan Kecamatan Matesih Kabupaten Karanganyar*, Indonesian Journal of Applied Physics (2012) Vol.2 No.1, Download, 20 April 2017,
- de Bari, C., Lapenna, V., Perrone, A., Puglisi, C., & Sdao, F. (2011). Digital photogrammetric analysis and electrical resistivity tomography for investigating the Picerno landslide (Basilicata region, southern Italy). *Geomorphology*, 133(1), 34-46.
- Fransheri, A., Ludyig, K., and Foto, D. *Geophysical landslide investigation And Prediction In The Hydrotechnical Works*. Journal Of The Balkan Geophysical Society. 1998. 1(3).
- Gad El-Qady, Chika Sakamoto, and Keisuke Ushijima, (1999), *2-D Inversion of VES data in Saqqara Archaeology Area*, Egypt, Earth Planets Space, 51, 1091-1098,.
- Gemizzi A, Falalakis G., P.Eskioglou, Petalas C. 2011. *Evaluating Landslide Susceptibility Using Enveronmenal Factors, Fuzzy Membership Function and GIS*, Global NEST Journal, 2011, 13(1), 28-40, , e-Journal.
- Gupta, S.K, Sri Niwas and Vinod K. Gaur, (1997), *Straightforward inversion of vertical electrical sounding data*, Jurnal Geophysics, 62(3), 775–785
- Joab J M., and Andrews M., 2009, *Investigating Slope Failures Using Electrical Resistivity: Case Studies*. *The Journal of the Association of Professional Engineers of Trinidad and Tobago*, 2009, 38(1), 66-75

- Lapenna, V., Perrone, A., Piscitelli, S., (2012), *Electrical Tomography for landslide monitoring: state-of-the-art and an overview of recent results in Southern Italy*, EMSEV Gotemba Kogen Resort, Gotemba, Japan October 1–4, 2012. (diunduh pada tanggal 20 April 2017)
- Loke, H.M, *Res2Dinv Rapid 2D Resistivity & IP Inversion, for Windows XP/Vista*, Goetoma Software Malaysia, 2014
- Priyantari, N. dan C. Wahyono. (2005). *Penentuan Bidang Gelincir Tanah Longsor Berdasarkan Sifat Kelistrikan Bumi (Determination of Slip Surface Based on Geoelectricity Properties)*. [www.mipa.unej.ac.id /data/vol6no2/nurul-pdf](http://www.mipa.unej.ac.id/data/vol6no2/nurul-pdf) (diunduh pada tanggal 6 Maret 2013)
- Reynolds, J.M. *An Introduction to Applied and Environmental Geophysics*. New York: Jhon Geophysicsin Hidrogeological and Wiley and Sons Ltd, 1997.
- Rini, Friastuti, 2017. *Kondisi Tanah 144 Kecamatan di Sumbar Tergolong Rawan Longsor*. <https://kumparan.com/rini-friastuti/kondisi-tanah-144-kecamatan-di-sumbar-tergolong-rawan-longsor>) download (20 April 2017).
- Telford, W.M. Geldart, L.P, Sheriff R.E and Keys, D.A. *Applied Geophysics*. USA: Cambridge University Press. 1976.
- Zakaria, Zufialdi. (2005). *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*. Bandung : Universitas Padjajaran.
- Zaroh, I., Permanajati, I., Haryadi, A., Wihantoro, dan Azis, A.N., (2016), Investigation of Landslide Aviation Field With Method of Type Resistance and Tests of Soil Plasticity Character (Case Study In Bukit Pawinihan, Sijeruk, Banjarmangu, Banjarnegara), *Dinamika Rekayasa Vol. 12 No. 2*.