

PENCITRAAN RESISTIVITAS BIDANG LONGSOR DI PERBUKITAN BOOI DAN ERIE KOTA AMBON MENGGUNAKAN KONFIGURASI WENNER – SCHLUMBERGER

Matheus Souisa^{1*)}, Lilik Hendrajaya², Gunawan Handayani³

^{1,2,3} Jurusan Fisika FMIPA ITB, Bandung

*) Email: txsenwitzne@yahoo.co.id

Abstrak

Pulau Ambon dalam hal ini Kota Ambon adalah bagian dari kepulauan Maluku merupakan pulau-pulau busur vulkanis dan termasuk berada dalam wilayah kepulauan pulau-pulau kecil yang berhubungan dengan zona penunjaman sehingga mempunyai tingkat kerentanan tinggi terhadap berbagai bencana alam, seperti erosi dan tanah longsor pada kondisi kelerengan tertentu. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui citra resistivitas longsor bawah permukaan di daerah longsor dan menentukan posisi kritis bidang gelincirnya. Lokasi penelitian di perbukitan Kmp.Booi Kecamatan Sirimau dan Desa Erie Kecamatan Nusaniwe Kota Ambon. Penyelidikan menggunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger dan pengukuran terbagi atas delapan lintasan. Hasil penelitian memberikan karakterisasi daerah longsor tipe slide rotasi dan aliran debris. Lokasi longsor merupakan daerah tebing dengan kemiringan > 45% dan dipicu dengan curah hujan > 200 mm. Citra penampang resistivitas menunjukkan korelasi data geologi, data klimatologi dan nilai resistivitas sehingga diperoleh litologi yang didominasi oleh nilai resistivitas rendah dengan struktur lapisan berupa lapisan lempung campuran. Citra bawah permukaan menunjukkan bahwa resistivitas lapisan atasnya jauh lebih rendah dari resistivitas lapisan bawah maka sangat memungkinkan terjadi longsor susulan pada lokasi penelitian.

Abstract

Ambon Island in this case the city of Ambon is part of the Moluccas islands are volcanic arc and included in the territory of the archipelago of small islands are associated with subduction zones that have a high degree of vulnerability to natural disasters, such as erosion and landslides on condition certain slope. This study aims to determine the image of the subsurface resistivity landslides in landslide areas and determine the position of slip zone. Research sites in the hills Kmp.Booi District of Sirimau, and Erie Village District of Nusaniwe Ambon. Investigations using geo-electric resistivity with Wenner-Schlumberger configuration and measurement is divided into eight line. The results of the study provide characterization of the landslide area slide-type rotation and debris flow. Landslide site is an area of cliffs with slopes > 45% and triggered by rainfall > 200 mm. Resistivity cross-section image shows the correlation of geological data, climatological data and resistivity values thus obtained lithology dominated by low resistivity values with the structure of a layer of clay coating mix. The slip zone was measured trajectory obtained from the resistivity contrast between two adjacent rocks. Subsurface image shows that the resistivity of the layer above it is much lower than the resistivity of the layer below it is possible subsequent landslides.

Keywords: *resistivity imaging, landslides, Wenner-Schlumberger, rainfall*

1. Pendahuluan

Maluku adalah provinsi kepulauan yang berdekatan dengan pertemuan dua lempeng tektonik besar yaitu lempeng Australia dan Pasifik [1] yang bergerak saling menumbuk sehingga terbentuk daerah penunjaman memanjang [2]. Disamping itu Maluku juga dilalui oleh lingkaran gunungapi jalur Australia dan jalur Pasifik [3], sehingga Maluku merupakan wilayah yang sering dilanda bencana geologis setiap tahun seperti gempa bumi, gerakan tanah atau tanah longsor, dan banjir.

Pulau Ambon dalam hal ini Kota Ambon adalah bagian dari kepulauan Maluku merupakan pulau-pulau busur vulkanis [4] dan termasuk berada dalam

wilayah kepulauan pulau-pulau kecil yang berhubungan dengan zona penunjaman sehingga mempunyai tingkat kerentanan tinggi terhadap berbagai bencana alam, seperti erosi dan tanah longsor pada kondisi kelerengan tertentu.

Tanah longsor (longsoran) dengan gerakan tanah atau gerakan gelincir mempunyai kesamaan [5] merupakan perpindahan massa tanah/batuan, rombakan pada arah tegak, mendatar atau miring dari kedudukan semula di bawah pengaruh gaya gravitasi. Longsoran umumnya terjadi di daerah perbukitan dan pegunungan [6], terutama di musim hujan. Pada musim hujan terjadi alterasi tegangan permukaan dalam pori tanah dan menambah berat massa tanah

akibat dari air yang meresap ke dalam tanah dapat memicu ketidakstabilan lereng. Ketidakstabilan lereng dapat terjadi pada suatu daerah yang memiliki bidang gelincir pada struktur bawah permukaan. Hal inilah yang menyebabkan kerusakan dan gangguan terhadap manusia dan merupakan ancaman bagi populasi manusia [7], pengungsian, korban jiwa dan kerugian harta benda yang cukup besar, infrastruktur, dan lingkungan [8] akibat modifikasi alam oleh kegiatan manusia [9], memberikan kontribusi yang signifikan terhadap evolusi bentuk lahan [10] serta tingkat potensi kerugian tergantung dari sifat longsoran itu sendiri [11].

Studi pendahuluan, menunjukkan bahwa wilayah kota Ambon merupakan daerah yang rentan terhadap bahaya longsor dengan intensitas bencana longsor dan banjir dari tahun ke tahun diperkirakan meningkat lebih dari 60% [12]. Selama tahun 2011–2013, bencana tanah longsor dan banjir di wilayah ini telah mengakibatkan korban jiwa, kerusakan rumah, pengungsian dan perubahan tata guna lahan. Longsor ini tersebar di lima kecamatan yaitu kecamatan Teluk Ambon, Teluk Ambon Baguala, Leitimur Selatan, Sirimau dan Nusaniwe.

Salah satu faktor pemicu terjadinya longsor di wilayah penyelidikan adalah bidang geser/gelincir, dimana material tanah/batuan akan bergerak diatas bidang tersebut. Bidang gelincir bisa diperoleh dari kontras resistivitas antar dua lapisan batuan yang saling berdekatan sehingga gampang terkikis dan bergerak bila ditunjang dengan lereng yang terjal dan curah hujan lokal yang cukup tinggi [13]. Kontras resistivitas diperoleh dari citra data geolistrik bawah permukaan. Pencitraan resistivitas kondisi struktur geologi atau formasi batuan bawah permukaan dan untuk menentukan bidang kontak maka digunakan metoda geolistrik resistivitas.

Metode geolistrik resistivitas didasarkan pada asumsi bumi homogen isotropis, nilai resistivitas terukur merupakan nilai tahanan jenis sebenarnya dan tidak bergantung pada spasi elektroda. Namun pada kenyataannya bumi terdiri dari lapisan–lapisan tersebut, maka, tahanan jenis yang terukur adalah tahanan jenis semu [14] seperti persamaan:

$$\rho_a = K \frac{\Delta V}{I} \quad (1)$$

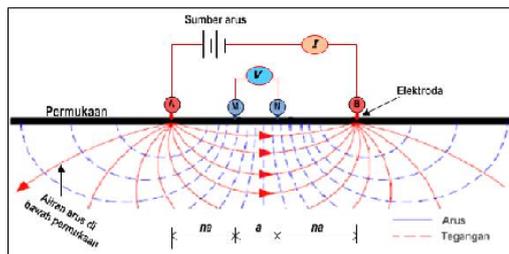
dengan ρ_a adalah resistivitas semu (Ωm), ΔV adalah beda potensial (volt), I adalah kuat arus (A), dan K adalah faktor geometri (m) nilainya tergantung dari konfigurasi elektroda yang digunakan.

Pada penelitian ini digunakan metode geolistrik resistivitas dengan konfigurasi Wenner-Schlumberger (W-S). Jarak antara kedua elektroda arus sama dengan jarak antara kedua elektroda potensial sebesar a . Sedangkan elektroda arus dan elektroda potensial bagian dalam berjarak na , dengan $n = 1,2,3,4,\dots$ (Gambar 1, [15]). Sehingga faktor geometri untuk konfigurasi elektroda W-S [16, 17] ditulis sebagai:

$$K = 2\pi \left[\left(\frac{1}{AM} - \frac{1}{BM} \right) - \left(\frac{1}{AN} - \frac{1}{BN} \right) \right]^{-1}$$

$$K = \pi n(n+1)a \quad (2)$$

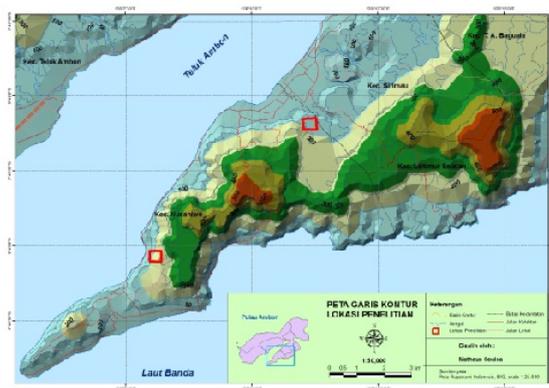
dengan n adalah lapisan data dan a adalah jarak elektroda (m).



Gambar 1. Letak posisi elektroda konfigurasi W-S

2. Metode Penelitian

Survei pengambilan data geolistrik dilakukan pada dua lokasi berbeda yaitu di perbukitan Kmp. Booi Kelurahan Batu Gajah Kecamatan Sirimau Kota Ambon yang secara geografis terletak pada koordinat 03°42'24.2" s/d 03°42'.22.9" LS, dan 128°11'11.0" s/d 128°11'12.8" BT, dan bukit Seit Desa Erie Kec.Nusaniwe Kota Ambon dengan geografis terletak pada koordinat: 03°45'15.3" s/d 03°45'.16.5" LS, dan 128°07'58.2" s/d 128°07'57.9" BT (Gambar 2).



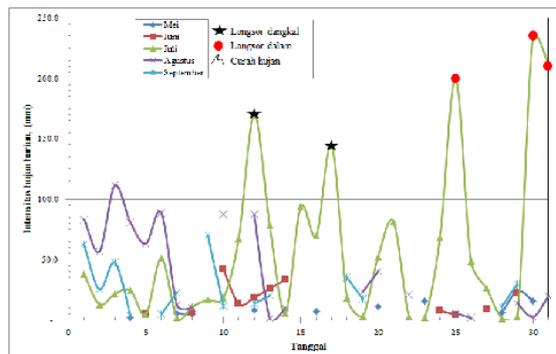
Gambar 2. Peta Lokasi Penelitian

Akuisisi data lapangan dilakukan setelah lintasan dan titik ukur ditentukan di daerah penelitian untuk pengambilan data lapangan menggunakan konfigurasi W-S dengan peralatan *Resistivitymeter*. Setelah tinjauan lokasi dilakukan penentuan lintasan pengukuran untuk kedua lokasi yaitu Lokasi Kmp.Booi diperoleh tiga lintasan yang membentang dari arah barat ke timur, dan lokasi Erie diperoleh 5 lintasan membentang dari arah utara ke selatan.

Data hasil pengukuran lapangan, dianalisis dengan menggunakan *software Res2Dinv* untuk menghasilkan penampang 2D model bawah permukaan. Untuk mengetahui sebaran nilai resistivitas sebenarnya pada area survei dilakukan proses *stacked section 3D*.

3. Hasil dan Pembahasan

Berdasarkan hasil penelitian di perbukitan Kampung Booi Kecamatan Sirimau satu kejadian longsor dan retakan tanah, dan perbukitan Seit Erie Kecamatan Nusaniwe Kota Ambon ditemukan dua kejadian longsor dengan jenis longsor tipe slide rotasi dan aliran batuan. Longsor ini dipicu oleh filtrasi air hujan yang sangat banyak dengan intensitas curah hujan tinggi (Gambar 3), kelereng curam dan sempit (Tabel 1), dan terjadi pada alterasi tataguna lahan untuk perkebunan serta di zona longsor Kamp.Booi dijadikan sebagai tempat pembuangan limbah, pembuangan sampah rumah dan pada dinding tebing dilakukan penggalian untuk membangun rumah.



Gambar 3. Curah hujan lima bulan dan kejadian longsor pada tahun 2013 di Kec.Nusaniwe Ambon

Tabel 1. Parameter longsor pada lokasi penelitian

Parameter	Lokasi longsor	
	Kmp.Booi	Desa Erie
Beda tinggi, (mdpl)	49.0	108.0
Bentangan longsor (m)	110.0	180.0
Kemiringan, (%)	> 45	> 45
Curah hujan max.(mm)	220.2	235.0
Luas area longsor (m ²)	1,600.0	2,900.0
Koef. Gesek	0.67	0.89
Kecepatan, (km/jam)	59.2	65.5

Curah hujan dan faktor iklim sangat berpengaruh terhadap gerakan massa tanah/batuan atau berkontribusi terhadap kegagalan lereng. Tipe gerakan massa ini adalah longsor dengan dangkal dengan gelincirnya cepat, longsor dalam menjadi aliran debris, dan longsor dalam dengan gelincir lambat. Akibat intensitas hujan relatif tinggi dengan durasi yang lama menyebabkan peningkatan kandungan air dalam tanah. Hal ini dapat merubah kondisi tanah dari kondisi tidak jenuh air menjadi jenuh air, sehingga kuat geser tanah terutama kohesi antar butiran akan berkurang dan berkurang gaya gesek. Apabila massa tanah/batuan runtuh dan bergerak dengan alterasi fluks energi yang besar apalagi dihadapi dengan kelereng yang terjal, maka dapat mengakibatkan kerusakan yang cukup berarti.

Berdasarkan pengamatan lapangan masih banyak terdapat batuan yang belum lapuk sempurna menjadi tanah, pada bagian atas dan samping lereng di lokasi Erie mayoritas ditumbuhi oleh vegetasi padat, dan lokasi Kmp.Booi di bagian atas lereng (selatan) terdapat pemukiman dan bagian samping ke arah barat terdapat lahan pertanian dan ke arah timur terdapat pemukiman. Terdapat dua faktor utama yang berpengaruh terhadap timbulnya tanah longsor di ke dua lokasi ini, (i) faktor ekstern, yakni faktor-faktor yang dapat mengakibatkan peningkatan tegangan geser (*shear stress*) seperti kemiringan tebing bagian barat yang cukup tegak yakni > 45% dan lereng bukit tersusun dari batuan vulkanik hasil erupsi gunungapi tua. Batuan dasar bersifat fractured dan mudah terdegradasi, mudah sekali lepas dan tidak mempunyai ikatan cukup kuat; (ii) faktor intern, yakni faktor-faktor yang dapat mengakibatkan penurunan kuat geser (*shear strength*) karena adanya curah hujan tinggi (> 200 mm) dengan durasi cukup lama (± 9 jam) sehingga mengakibatkan terjadinya peningkatan tekanan air pori dan peningkatan kadar air tanah dan ditambah dengan alterasi lahan di bagian atas lereng.

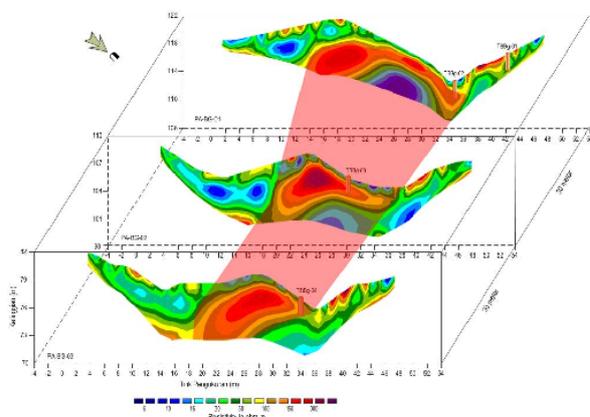
Pemodelan citra penampang resistivitas dilakukan dengan pengukuran titik resistivitas bawah permukaan di Kmp. Booi dan di Desa Erie. Lintasan geolistrik diambil tidak sejajar dengan lereng karena daerah telitian sangat curam dan sempit sehingga disesuaikan dengan kelereng untuk dapat mengcover data secara keseluruhan.

Stacked section true resistivity (gambar 4)

Pada lintasan Bg-01 antara titik 10 hingga titik 30 terdapat nilai resistivitas yang sedang, yang mempunyai kenampakan sebaran resistivitas yang mirip dengan lintasan Bg-02 pada titik 20 hingga 31 dan juga pada lintasan Bg-03 pada titik 3 hingga 22 dan titik 46 hingga 54. Anomali resistivitas juga terlihat di titik 38 – 44 pada lintasan Bg-01 disusul juga pada lintasan Bg-02 dan Bg-03, sehingga dimungkinkan adanya kemenerusan bidang gelincir longsor pada titik ini di setiap lintasan.

Secara umum, bagian timur daerah penelitian memiliki nilai resistivitas yang cukup rendah, hal ini karena bagian ini tersusun atas batuan lempung basah. Berdasarkan peta *stacked section true resistivity*, terlihat adanya kemenerusan nilai resistivitas sedang pada masing-masing lintasan dengan arah relatif selatan–utara. Pada setiap lintasan ini diduga terdapat 2 bidang gelincir masing-masing panjang ± 6 m dari titik pengukuran awal 8m dengan kedalaman 1.27m dari permukaan tanah, dan panjang ± 12 m dari titik pengukuran awal 24m dengan kedalaman 3.00m dari permukaan tanah. Citra anomali resistivitas sebaran longsor yang terjadi di lokasi ini pada arah vertikal cukup dangkal hanya mencapai kedalaman lebih dari 5 m. Alterasi anomali ini memungkinkan potensi sebaran longsor tetap pada lokasi semula apabila terjadi gangguan-gangguan pada lereng tersebut dan berpeluang bergeser ke arah utara dengan prediksi

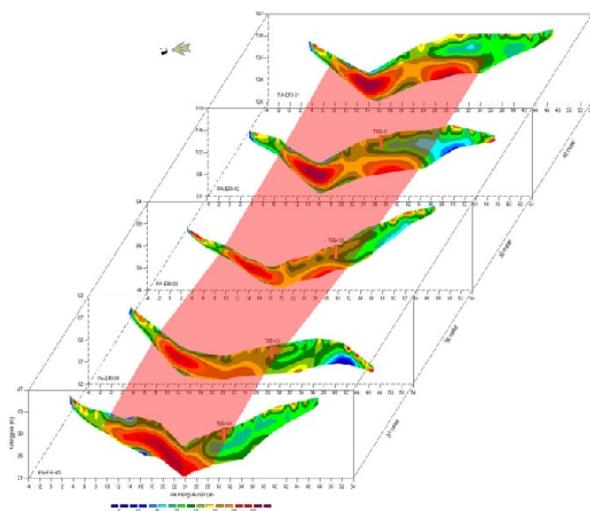
kecepatan longsor berkurang dari sebelumnya. Sedangkan pada arah horizontal sebaran longsor mengikuti arah kemiringan potensi longsor searah dengan bidang gelincir yaitu mengarah ke utara tebing menuju rumah penduduk dan aliran sungai.



Gambar 4. *Stacked section true resistivity Lintasan Bg-01, Bg-02 dan Bg-03*

Stacked section true resistivity (gambar 5)

Pada lintasan Eri-01 antara titik 10 hingga titik 20 dan 24 hingga titik 34 terdapat nilai resistivitas yang sedang, yang mempunyai kenampakan sebaran resistivitas yang mirip dengan lintasan Eri-02 pada titik 8 hingga 22 dan titik 26 hingga 36, serta juga pada lintasan Eri-03 pada titik 8 hingga 18 dan titik 24 hingga 32. Anomali resistivitas juga terlihat di titik 8 hingga 28 pada lintasan Eri-04 dan Eri-05 disusul juga pada titik 41 hingga 47, sehingga dimungkinkan adanya kemenerusan bidang gelincir longsor pada titik ini di setiap lintasan.



Gambar 5. *Stacked section true resistivity Lintasan Eri-01 hingga Eri-05*

Hasil citra bawah permukaan pada lintasan Eri-01 hingga Eri-04 diduga terdapat 2 bidang gelincir masing-masing panjang $\pm 10m$ dari titik pengukuran awal 8m dengan kedalaman 1.15m dari permukaan

tanah, dan panjang $\pm 14m$ dari titik pengukuran awal 22m dengan kedalaman 3.75 m dari permukaan tanah. Sedangkan lintasan Eri-05 diinterpretasikan terdapat 3 bidang gelincir dengan panjang $\pm 4m$ dari titik pengukuran awal 14m dengan kedalaman 6.20m dari permukaan dan 2 bidang gelincir lainnya sama dengan lintasan sebelumnya.

Anomali resistivitas sebaran longsor pada lokasi Erie menyerupai lokasi Kmp.Booi. Sedangkan pada arah horizontal sebaran longsor mengikuti arah kemiringan potensi longsor searah dengan bidang gelincir yaitu mengarah ke barat (rumah penduduk). Bentuk anomali resistivitas kedua bidang gelincir di setiap lokasi ukur yang ditunjukkan dari citra geolistrik adalah diperoleh dari kontras resistivitas antar dua batuan yang saling berdekatan. Hasil citra menunjukkan bahwa resistivitas lapisan atasnya jauh lebih rendah dari resistivitas lapisan bawah maka sangat memungkinkan terjadi longsor susulan. Hal ini dikarenakan lapisan ini mempunyai beban yang lebih berat, dan air yang masuk tidak dapat menembus lapisan lempung sehingga air tersebut akan terkumpul pada permukaan lapisan bawah menyebabkan kohesi dan gesekan menjadi kecil dari bawah ke atas permukaan, dan lapisan tersebut menjadi licin sehingga gampang terkikis dan mengalir apalagi didukung oleh lereng yang terjal dan curam menuju muka laut dan curah hujan yang sangat tinggi sehingga air lebih mudah menghilang pada posisi ini.

4. Kesimpulan

Longsor di daerah penelitian merupakan tipe slide rotasi dan aliran debris, yang teridentifikasi dari retakan tanah akibat penetrasi air hujan dan alterasi lahan. Lokasi longsor merupakan daerah tebing dengan kemiringan $> 45\%$ dan curah hujan > 200 mm, diperkirakan bergerak dengan kecepatan rata-rata bisa mencapai 67.5 km/jam.

Daerah gelincir dicirikan dengan resistivitas rendah dan berada pada kedalaman lebih dari 5 m di bawah permukaan dengan struktur lapisan batuan berupa lapisan lempung yang bercampur dengan batuan lapuk dan lapisan lempung jenuh air. Lapisan tersebut saling kontak dan membentuk kemiringan terhadap permukaan tanah sehingga menyebabkan adanya potensi gelincir di atasnya.

Diperlukan mitigasi untuk menghindari longsor susulan dengan melakukan penghijauan dengan tanaman yang sistem perakarannya dalam dan jarak tanam yang tepat maupun tidak melakukan aktivitas sekitar lereng dan pada daerah lereng yang dijadikan daerah pemukiman maka selain mendirikan bangunan dengan fondasi yang kuat juga sebaiknya dibuat bangunan penahan, dan fondasi tiang pancang untuk menghindari adanya pencairan.

Ucapan Terimakasih

Ucapan terima kasih kepada Laboratorium Fisika Bumi FMIPA Unpatti dan Dinas ESDM Provinsi Maluku atas bantuannya dalam melengkapi pengambilan data.

Daftar Acuan

- [1] Groen E T, Jacobs C. *Risk Mapping Indonesia*. Sector Disaster Risk Reduction & Emergency Aid, Cordaid (2012), p.3.
- [2] J. M. Pownall, R. Hall, and I. M. Watkinson, Extreme extension across Seram and Ambon, eastern Indonesia: evidence for Banda slab rollback. Royal Holloway University of London, Egham, Copernicus Publications on behalf of the European Geosciences Union. *Solid Earth*, 4 (2013), p. 277–314.
- [3] C.Bowin, G.M. Purdy, C. Johnston, G. Shor, L. Lawver, H.M.S. Hartono, and P.Jezek, Arc-Continent collision in Banda Sea region, *AAPG Bull.*, 64 (1980), p.868–915.
- [4] Anonim, Evaluasi Hasil Pelaksanaan RKPD Tahun Lalu Dan Capaian Kinerja Penyelenggaraan Pemerintahan. Rencana Kerja Pemerintah Kota Ambon Tahun 2014. p.6–7.
- [5] Fell R, Hungr O, Leroueil S, Riemer W, 2000. *Keynote Lecture – Geotechnical Engineering Of The Stability Of Natural Slopes, And Cuts And Fills In Soil*. GeoEng Conference, Sidney, Australia, (2000), p.43.
- [6] R. Bell, H. Petschko, M. Röhrs, and A. Dix, Assessment of Landslide Age, Landslide Persistence and Human Impact Using Airborne Laser Scanning Digital Terrain Models. *Geografiska Annaler: Series A, Physical Geography*. Swedish Society for Anthropology and Geography, (2012), p.135–136.
- [7] R.L. Schuster, Socioeconomic Significance of Landslides. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), *Landslides – Investigation and Mitigation*. National Research Council, Washington, DC, (1996), p.12–35.
- [8] Varnes D J, IAEG. *Commission on Landslides and other Mass- Movements: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris, 63 (1984).
- [9] Glade T, Anderson M, Crozier M J. *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England, (2005), p.vii.
- [10] M.J. Crozier, *Landslide Geomorphology: An Argument For Recognition, With Examples From New Zealand*. *Geomorphology*, vol.120, (2010), p. 3–15.
- [11] V.T.Matziaris, M.T. Ferentinou, O.T. Angelopoulou, S.I. Karanasiou, and M. Sakellariou, *Landslide Hazard Analysis -A Case Study In Kerasia Village (Prefecture of Karditsa)*. *Bulletin of the Geological Society of Greece* vol. XXXX, (2007), p. 1711–1722.
- [12] M. Souisa, L. Hendrajaya, G. Handayani, *Investigasi Awal Mekanisme Tanah Longsor di Pulau Ambon, Provinsi Maluku, Prosiding Seminar Basic Sains VI, FMIPA Ambon, Agustus (2014)*, p.23–32.
- [13] H.S.P. Herlin, dan A. Budiman, *Penentuan Bidang Gelincir Gerakan Tanah Dengan Aplikasi Geolistrik Metode Tahanan Jenis Dua Dimensi Konfigurasi Wenner-Schlumberger*, *Jurnal Fisika Unand*, Vol. 1, No. 1 (2012), p.19–24.
- [14] Dobrin M B, Savit C.H. *Introduction To Geophysical Prospecting*, fourth edition, McGraw-Hill Book Company, New York, (1988), p.
- [15] J.C. Gerkens, *Foundation of Exploration Geophysics*, Elsevier, (1988), p.527–649.
- [16] Telford M W, Geldart L P, Sherrif R E, Keys D A. *Applied Geophysics*, Cambridge University Press, Cambridge New York, (2004), p.556–557.
- [17] Kirsch R. *Groundwater Geophysics: A tool for hydrogeology*. Springer Berlin Heidelberg, New York, (2006), p.85–86.