



Prosiding

SEMINAR NASIONAL *BASIC SCIENCE VI*

*Sains Membangun Karakter dan Berpikir Kritis
Untuk Kesejahteraan Masyarakat*

Ambon, 07 Mei 2014

**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS PATTIMURA
AMBON**

Hak cipta dilindungi Undang-Undang

Cetakan I, Agustus 2014

Diterbitkan oleh: Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Pattimura

ISBN: 978-602-97552-1-2

Deskripsi halaman sampul : Gambar yang ada pada cover adalah kumpulan benda-benda langit dengan berbagai fenomena

INVESTIGASI AWAL MEKANISME TANAH LONGSOR DI PULAU AMBON, PROVINSI MALUKU

Matheus Souisa¹, Lilik Hendrajaya², Gunawan Handayani³

¹ Program Doktor Fisika ITB, Bandung, ^{2,3} Dosen Fisika ITB, Bandung.
e-mail: txsenwitzne@yahoo.co.id

ABSTRAK

Investigasi tanah longsor di Pulau Ambon Provinsi Maluku, dikenal sebagai wilayah yang dari tahun ke tahun frekuensi bahaya tanah longsor terus meningkat yang diakibatkan oleh pergerakan tanah, pelapukan dan curah hujan. Hal ini terbukti dari banyaknya lokasi tanah longsor yang dijumpai di delapan kecamatan dan telah menimbulkan kerugian yang cukup besar. Investigasi ini ditujukan untuk memetakan mekanisme potensi gerakan massa (longsoran). Investigasi dilakukan dengan pengamatan langsung di lapangan dengan memperhitungkan faktor litologi, struktur geologi, kemiringan lereng, vegetasi, dan tataguna lahan. Litologi pada lokasi investigasi terutama tersusun oleh breksi andesit dan breksi tuff yang telah mengalami pelapukan cukup tinggi, sedangkan curah hujan secara umum dengan intensitas berkisar antara 300 mm. Kedua faktor di atas diduga menjadi salah satu penyebab utama terjadinya gerakan tanah. Hasil investigasi dijumpai tiga jenis longsoran yaitu tipe aliran, tipe longsor dan tipe jatuhnya. Hasil investigasi juga menunjukkan perlunya peningkatan kewaspadaan terhadap daerah yang termasuk frekuensi potensi bahaya longsor sangat tinggi seperti kecamatan Leihitu, Leihitu Barat, Sirimau dan Nusaniwe, terutama pada saat musim penghujan.

Kata kunci: Investigasi, tanah longsor, jenis longsoran

PENDAHULUAN

Investigasi mengenai tanah longsor di wilayah Pulau Ambon Provinsi Maluku sangat penting, karena mengingat dari tahun ke tahun frekuensi bahaya tanah longsor dan banjir terus meningkat di seluruh daerah Pulau Ambon yang diakibatkan oleh pergerakan tanah, pelapukan dan curah hujan. Pada umumnya longsoran terjadi pada musim penghujan (Polemio and Petrucci, 2000) sehingga dampak yang timbul tidak hanya terjadi setempat (*on site*) namun disebelah hilirnya (*off site*) yakni berupa kumpulan sedimen yang jumlahnya cukup besar untuk suatu kejadian hujan tertentu. Dampak ini mempengaruhi unsur-unsur lingkungan seperti topografi/morfologi, sungai, danau, hutan dan padang rumput, habitat fauna asli baik di permukaan tanah, sungai dan laut (Schuster and Highland, 2001). Menurut Hirmawan (Wuryanta dkk, 2004), penyebab tanah longsor atau gerakan massa (Pangalar, 1985; Cruden, 1991; Fell *et al*, 2000) dipicu oleh ketahanan geser batuan yang menurun tajam jauh melebihi tekanan geser dan terjadi seiring dengan meningkatnya tekanan air akibat pembasahan atau peningkatan kadar air serta adanya peningkatan muka air tanah, dan menyebabkan batuan/tanah penyusun lereng tersebut kondisinya menjadi kritis-labil dan mudah longsor. Hal inilah yang menyebabkan kerusakan dan gangguan terhadap manusia dan merupakan ancaman bagi populasi manusia (Schuster, 1996; Crozier and Glade, 2005), korban jiwa dan kerugian harta

benda yang cukup besar, industri, dan lingkungan (Sassa, 2013; Varnes and IAEG, 1984; Cardinali *et al*, 2002; Chau *et al*, 2003; Glade *et al*, 2005) akibat modifikasi alam oleh kegiatan manusia (Gorsevski *et al*, 2006), memberikan kontribusi yang signifikan terhadap evolusi bentuk lahan (Crozier, 2010; Korup *et al*, 2010) dan tingkat potensi kerugian tergantung dari sifat longsor itu sendiri (Matziaris *et al*, 2007).

Di wilayah penelitian sering terjadi longsor pada lereng atau tebing tegak, bukit dan jalur jalan mengalami penurunan/amblas, karena sewaktu hujan, air menyebabkan beban tanah meningkat. Mekanisme gerakan tanah di daerah penelitian sering yang terjadi pada lereng-lereng terjal. Hal ini tentunya akan mempermudah terbentuknya bidang gelincir dan tanah longsor dapat terjadi. Mekanisme gerakan tanah dapat terjadi sebagai akibat dari adanya perubahan-perubahan gaya pendorong pada suatu lereng sehingga mengakibatkan terjadinya kegagalan lereng (Preston, 2000; Zaruba and Mencl, 1982), baik yang berlangsung secara cepat maupun lambat, sebagai hasil interaksi antara kondisi morfologi, geologi, hidrologi, dan tata guna lahan. Terlien (1998) dan Abramson *et al* (2001), menjelaskan bahwa kondisi keairan merupakan faktor yang penting dalam kestabilan lereng. Perubahan-perubahan ini bisa berlangsung alami atau nonalami menyebabkan gangguan kepada kesetimbangan lereng untuk cenderung bergerak. Tingkat potensi atau kecenderungan suatu lereng untuk bergerak menyebabkan terjadinya kerentanan lereng. Adanya tingkat kerentanan ini dapat diinvestigasi melalui identifikasi dan kajian berbagai aspek yang mempengaruhi kondisi kestabilan suatu lereng.

METODOLOGI PENELITIAN

Lokasi Penelitian

Untuk investigasi dengan mengidentifikasi lahan longsor dilakukan di wilayah Pulau Ambon Provinsi Maluku berdasarkan metode survei. Sedangkan letak geografis pada koordinat 3°30'26,2"LS dan 127°48'32,40"BT sampai dengan 3°30'26,2"LS dan 128°19'40,7"BT. Wilayah survei meliputi dua jazirah yaitu bagian Utara disebut jazirah Lei Hitu masuk dalam administrasi Kabupaten Maluku Tengah (Kecamatan Leihitu, Leihitu Barat dan Salahutu), dan jazirah Selatan disebut Leitimur masuk dalam administrasi Kota Ambon (Kecamatan Nusanive, Kecamatan Sirimau, Kecamatan Teluk Ambon Baguala, Kecamatan Teluk Ambon dan Kecamatan Leitimur Selatan) seperti ditunjukkan pada Gambar 1. Topografi daerah penelitian bervariasi berbukit kecil sampai pegunungan dengan kemiringan lereng mulai dari landai sampai terjal dan memiliki satuan perbukitan bergelombang kasar sekitar 73% dengan elevasi 100-900 meter di atas permukaan laut (Tjokrosapoetro dkk, 1994; Sapulete *et al*, 2012).

Gambar 2. Cuplikan foto gerakan tanah (longsor) yang terjadi pada pemukiman penduduk di Batu Gadjah pada tahun 2012. Nampak rumah warga mengalami kerusakan berat (Sumber: foto peneliti)

Morfologi di sekitar lokasi tanah longsor berupa perbukitan yang bergelombang kasar dengan kemiringan $> 40^\circ$ dengan tata guna lahan berupa hutan, dan permukiman yang terletak pada bagian lereng maupun lembah. Kejadian gerakan tanah (longsor) di lokasi ini, berdasarkan data yang diperoleh telah menyebabkan 256 KK terancam keselamatan dan menjalani pengungsian. Kondisi tanah longsor terjadi pada lereng dengan kemiringan mencapai 60° .

Melalui pengamatan lapangan yang dilakukan di Karang Panjang diperoleh data bahwa lokasi tanah longsor terletak di Karang Panjang (Gambar 3). Sedangkan secara geografis lokasi longsor terletak pada koordinat $3^\circ 42' 22.8''$ LS dan $128^\circ 07' 18.3''$ BT pada ketinggian mencapai 100 mdpal.



Gambar 3. Cuplikan foto longsor yang terjadi pada pemukiman penduduk di Karang Panjang, (Sumber: foto peneliti)

Morfologi di sekitar lokasi tanah longsor berupa perbukitan yang bergelombang dengan kemiringan $> 40^\circ$ dengan tata guna lahan berupa pohon pisang, belukar, dan permukiman yang terletak pada bagian lereng. Menurut Tjokrosapoetro dkk, (1994), batuan penyusun daerah ini adalah batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang tersusun oleh lava breksi gunungapi, breksi tuf dan tuf yang mengandung komponen andesit dan dasit. Kejadian tanah longsor ini, berdasarkan data yang diperoleh dari tim evakuasi sampai dengan hari terakhir evakuasi, telah menyebabkan 12 orang meninggal dunia tertimbun material longsor dan 2 orang luka-luka. Selain korban jiwa, tanah longsor ini juga menyebabkan rumah tertimbun material longsor. Di lokasi terjadi ini, kecepatan luncuran longsor dapat diperkirakan mencapai 75 km/jam (Iverson, 2014) sehingga sulit bagi seseorang untuk menyelamatkan diri. Itulah sebabnya ketika tanah longsor terjadi, rumah dan penghuninya tertimbun longsor.

Gejala yang timbul sebelum terjadinya tanah longsor adalah terjadinya perubahan fisik pada lereng yang berasal dari intensitas curah hujan tinggi memaksa pengisian air hujan ke dalam tanah sehingga menjenuhkan tanah, dan batuan lapuk yang tebal. Sedangkan kondisi tanah longsor terjadi pada pemukiman di Karang Panjang, dengan kemiringan lereng lebih dari $> 45^\circ$, arah longsor menghadap ke arah selatan. Lebar mencapai 15 m, dan tinggi mencapai 10 m sedangkan panjang landasan material longsor mencapai 22 m dengan lebar mencapai 18 m. Longsor ini terjadi pada tanah hasil pelapukan dari breksi gunungapi pada lereng yang berupa pemukiman dengan tipe longsor rotasi (*rotational sliding*) yang kemudian berubah menjadi aliran bahan rombakan.

Gerakan Tanah (Longsor) di Kecamatan Leihitu Barat

Selanjutnya di bagian barat wilayah investigasi terkonsentrasi di Desa Negeri Lima Kecamatan Leihitu Barat. Melalui pengamatan lapangan yang dilakukan diperoleh data bahwa lokasi tanah longsor terletak di bukit Ulak Hatu dan secara geografis lokasi longsor terletak pada koordinat $3^\circ 39' 12''$ LS dan $127^\circ 59' 6.7''$ BT pada ketinggian lebih dari 200 m dpl. Morfologi di sekitar lokasi tanah longsor berupa perbukitan yang bergelombang dengan kemiringan $40 - > 70^\circ$ dengan tata guna lahan berupa hutan lebat dan pohon durian yang terletak pada bagian lereng-lereng bukit. Menurut Tjokrosoepoetro dkk, (1994), batuan penyusun daerah ini adalah batuan gunungapi Ambon (Tpav) yang tersusun oleh lava breksi gunungapi, breksi tuf dan tuf. Kejadian tanah longsor ini pada 13 Juni 2012, dan berdasarkan data yang diperoleh tidak menimbulkan korban jiwa dan harta benda namun merusak lahan pepohonan dialur Wai Ela dan membentuk bendungan alam (Gambar 4a dan 4b). Hal ini dipicu oleh curah hujan dengan intensitas berkisar antara 300 mm, disertai gempa dengan skala 5,6 SR yang berpusat 51 km di sebelah timur laut Kabupaten Maluku Tengah. Diperkirakan tinggi tubuh bendungan dari hulu sungai (Wai Ela) sekitar 98 m dan dari permukaan laut sekitar 215 m dengan panjang sekitar 300 meter dan menyimpan air sebanyak $87.000.000 \text{ m}^3$ (Anonim, 2012). Jarak bendungan alam dengan Desa Negeri Lima sekitar 2,5 km yang berpenduduk 4.800 jiwa.



Gambar 4 a) Kejadian Gerakan Tanah Tipe Jatuhan di bukit Ulak Hatu Desa Negeri Lima Pulau Ambon, b) Bendungan Alam Wai Ela Negeri Lima Pulau Ambon, c) Banjir bandang yang membawa aliran debris akibat jebolnya bendungan alam Wai Ela (Foto: Peneliti)

Longsoran yang terjadi di daerah investigasi ini merupakan longsoran tipe jatuhan (*rock fall*) adalah spesifik terdapat pada daerah-daerah dengan lereng yang ekstrim mendekati tegak. Zona-zona yang diidentifikasi secara geologis terdapat sesar normal yang dicirikan oleh adanya *escarpment* merupakan tempat dimana longsoran tipe jatuhan ditemukan. Sesar normal umumnya diikuti oleh pembentukan kekar-kekar pada batuan keras di sekitarnya. Adanya kekar inilah yang menyebabkan suatu daerah yang terletak pada lereng yang ekstrim rawan terhadap longsoran. Hal ini tampak dari geologi berupa torehan-torehan pada perbukitan membentuk alur-alur ke arah lembah. Torehan tersebut menyerupai tapal kuda dengan arah longsorannya ke arah lembah yang lebih dalam. Longsoran tipe jatuhan di wilayah Pulau Ambon terjadi pada 8 titik yaitu ditemukan di Gunung Ulak Hatu Desa Negeri Lima Kecamatan Leihitu Barat, Desa Hila Dusun Mamua Kecamatan Leihitu, Desa Hative Besar Kecamatan Teluk Ambon dan Desa Naku Kecamatan Leitimur Selatan.

Mekanisme gerakan tanah melalui runtuhnya bukit Ulak Hatu merupakan suatu proses geologi yang spektakuler dimana perpindahan masa batuan, regolit dan tanah dari tempat yang tinggi ke tempat yang rendah karena gaya gravitasi. Setelah batuan lapuk, gaya gravitasi akan menarik material hasil pelapukan ke tempat yang lebih rendah. Material tersebut menumpuk dan menghambat serutan air tanah dan hujan sehingga mengakibatkan terbentuknya bendungan alam. Material yang tidak menumpuk dan tidak kompak akan membentuk aliran debris yang mengalir mengikuti aliran sungai, dan air sungai menyeret material tersebut ke laut dan tempat yang rendah lainnya untuk diendapkan, sehingga terbentuklah bentang alam bumi perlahan-lahan. Jadi gerakan tanah tersebut diakibatkan pencampuran oleh runtuhan atau jatuhan yang berlangsung cepat, karena pada dinding bukit memiliki dinding batu yang tegak atau hampir tegak. Disusul dengan gerakan aliran tanah yang berlangsung cepat dan serentak disusul dengan terjadinya gerakan tanah longsor runtuh bergerak secara cepat.

Untuk mengantisipasi terjadinya banjir bandang yang membawa aliran debris, telah dilakukan upaya mitigasi bencana, pekerjaan pompanisasi, analisis *dam break* hingga melakukan pemasangan *early warning system bertenaga surya*. Selanjutnya awal tahun 2013 dilakukan pembangunan *spillway*, pembangunan *check dam* di hilir, dan juga pemotongan elevasi puncak bendungan agar dapat direduksi potensi bencananya. Namun, setahun kemudian pasca longsoran bukit tepatnya tanggal 25 Juli 2013, bendungan alam Wai Ela jebol (Gambar 4c). Runtuhnya bendungan ini akibat erosi limpasan (*overtopping*) di atas tubuh bendungan longsoran mendadak tubuh bendungan (*sudden sliding collapse*) dan runtuh mundur (*retrogressive failure*) yang mengakibatkan daya rusak air atau banjir bandang dengan membawa aliran debris (*debris flow*), sehingga menghancurkan 475 rumah, 1 unit sekolah dan puskesmas, 8 orang korban luka, 2 orang meninggal dunia dan sebanyak 4.800 orang

mengungsi. Di lokasi bendungan yang terjal ini, kecepatan luncuran longsoran dapat diperkirakan lebih dari 75 km/jam sehingga membawa material massa dengan kekuatan dorongan besar menghancurkan dinding sungai dan pemukiman penduduk. Selama dalam perjalanannya melalui *flow track*, terjadi pengerosian samping sehingga jumlah material longsoran meningkat. Aliran bahan rombakan ini juga membawa serta pohon-pohon dan material lainnya yang berada di sekitar longsoran. Kondisi ini mengakibatkan daya rusak yang ditimbulkan menjadi lebih besar. Material longsor bergerak mengikuti lerengan dan menggerus kaki lereng yang dilaluinya sehingga semakin meningkatkan volume material rombakan yang dibawa. Banyaknya volume material rombakan yang kemudian tercampur dengan air sungai yang dilaluinya mengakibatkan viskositas semakin meningkat sehingga aliran bahan rombakan ini menjangkau areal yang cukup jauh dan merusak serta menimbun sarana dan prasarana yang dilaluinya. Daerah pegunungan yang di tempati oleh pemukiman penduduk merupakan lokasi yang rentan untuk terjadinya aliran bahan rombakanyang mempunyai daya rusak tinggi sepanjang jalur yang dilaluinya. Kecepatan aliran bahan rombakan tergantung materialnya, kandungan air, dan kondisi topografi atau lintasan alirannya. Hal ini seperti dikemukakan oleh Highland and Bobrowzki (2008) bahwa, jenis longsoran yang paling banyak memakan korban jiwa adalah aliran bahan rombakan.

Berdasarkan mekanisme longsoran yang dikemukakan mengenai faktor-faktor internal dan eksternal pada titik-titik longsor di lapangan menunjukkan bahwa jenis longsor yang terjadi terutama dipengaruhi oleh jenis litologi, sifat keteknikan batuan pada titik longsor dan curah hujan. Batuan yang keras, seperti andesit, dengan tingkat pelapukan sedang, cenderung menghasilkan longsor dengan tipe jatuhan (*fall*). Sedangkan pada litologi lainnya, yaitu breksi andesit, batugamping terumbu, dan lanau tuffan, dengan tingkat pelapukan lapuk tinggi cenderung menghasilkan longsor dengan tipe aliran (*flow*), meliputi *earth flow* dan *debris flow* (Sroor, 2010). Perbedaan *earth flow* dan *debris flow* yaitu pada material yang bergerak, jika material yang longsor sudah bercampur dengan air serta material lainnya, maka dikenal sebagai *debris flow* (Varnes, 1978), sedangkan pada *earthflow* jenis material yang longsor lebih homogen, yaitu berupa tanah.

KESIMPULAN

1. Terjadinya tanah longsor karena dipengaruhi oleh faktor internal dan faktor eksternal. Faktor internal terdiri dari litologi dan struktur geologi, sedangkan faktor eksternal terdiri dari kelerengan, tataguna lahan dan vegetasi.
2. Tanah longsor di daerah penelitian kebanyakan terjadi pada lereng-lereng yang terjal. Bila semakin terjal lereng (sudut kemiringan dan sudut geser dalam massa lereng besar) diikuti

dengan beban tanah semakin bertambah akibat beban luar seperti material organik, material timbunan dan sebagainya akan mengakibatkan gaya tarik gravitasi bumi semakin kuat, sehingga longsoranpun semakin mudah terjadi.

3. Tanah longsor terjadi apabila gaya pendorong pada lereng lebih besar dari pada gaya penahanan. Kelerengan yang dapat menyebabkan terjadinya longsor berkisar antara 40° – 70°. Daerah disekitar titik longsor pada umumnya merupakan pemukiman penduduk dan juga dimanfaatkan sebagai perkebunan diantaranya pisang, bambu, dan tempat pembuangan sampah.
4. Tipe longsor pada daerah penelitian adalah *fall*, *slide* dan *flow*. Perbedaan tipe longsor ini disebabkan oleh perbedaan jenis litologi dan sifat keteknikan batuan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abramson L.W., Lee T.S., Sharma, and G.M.Boyce., 2001. *Slope Stability and Stabilization Methods*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Anonim., 2012. *Kompas.com: BNPB Memperingatkan, Bendungan Alam Way Ela di Desa Negeri Lima, Kabupaten Maluku Tengah*. Informasi dan Humas BNPB, Selasa (16/10/2012).
- Cardinali M., Reichenbach P., Guzzetti F., Ardizzone F., Antonini G., Galli M., Cacciano M., Castellani M., and P. Salvati, 2002. *A geomorphological approach to the estimation of landslide hazards and risks in Umbria, Central Italy*. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2: 57–72
- Chau K.T., Sze Y.L., Fung M.K., Wong W.Y., Fong E.L., and L.C.P. Chang., 2003. *Landslide hazard analysis for Hong Kong using landslide inventory and GIS*. Computers & Geosciences 30:429–443.
- Crozier M.J., and T. Glade, 2005. *Landslide Hazard And Risk: Issues, Concepts, And Approach*. In: Glade, T., Anderson, M.G. and Crozier, M.J. (eds), *Landslide Hazard and Risk*. Wiley, Chichester. 1–38.
- Crozier M.J., 2010. *Landslide Geomorphology: An Argument For Recognition, With Examples From New Zealand*. Geomorphology, 120, 3-15.
- Cruden D.M., 1991. *A Simple Definition of Landslide*. Bulletin of The International Association of Engineering Geology 43.
- Fell R., Hung R.O., Leroueil S., and W. Riemer., 2000. *Keynote Lecture – Geotechnical Engineering Of The Stability Of Natural Slopes, And Cuts And Fills In Soil*. GeoEng Conference, Sidney, Australia.
- Glade T., Anderson M., dan M. J. Crozier., 2005. *Landslide Hazard and Risk*. John Wiley & Sons Ltd, The Atrium, Southern Gate, Chichester, West Sussex PO19 8SQ, England.
- Gorsevski P.V., Jankowski P., and P.E. Gessler, 2006. *An heuristic approach for mapping landslide hazard by integrating fuzzy logic with analytic hierarchy process*. Journal of Control and Cybernetics Vol 35 No.1.
- Highland L.M., and P. Bobrowsky., 2008. *The Landslide Handbook-A Guide to Understanding Landslides*. U.S. Geological Survey, Reston, Virginia.
- Iverson R.M., 2014. *Debris flows: behaviour and hazard assessment*. Geology Today, 30: 15–20. doi: 10.1111/gto.12037. US Geological Survey, Cascades Volcano Observatory, Vancouver, USA. <http://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1111/gto.12037/>
- Korup O., Densmore A.L., and F. Schlunegger, 2010. *The Role Of Landslides In Mountain Range Evolution*. Geomorphology, 120, 77–90.

- Matziaris V.T., Ferentinou M.T., Angelopoulou O.T., Karanasiou S.I., and M. Sakellariou., 2007. *Landslide Hazard Analysis -A Case Study In Kerasia Village* (Prefecture of Karditsa). Bulletin of the Geological Society of Greece vol. XXXX : 1711 – 1722. Proceedings of the 11th International Congress, Athens.
- Pangalar D., 1985, *Petunjuk Penyelidikan & Penanggulangan Gerakan Tanah*, Pusat Penelitian dan Pengembangan Pengairan, Balitbang Departemen Pekerjaan Umum.
- Polemio M., and O. Petrucci, 2000. *Rainfall as a Landslide Triggering Factor: An Overview of Recent International Research*. In edition by E. Bromhead, N. Dixon, and M.L. Ibsen, 2000. *Landslide in Research, Theory and Practice*, Volume 3. Thomas Telford Ltd., London.
- Preston N.J., 2000. *Feedback Effects of Rainfall-Triggered Shallow Landsliding*. In edition by E. Bromhead, N. Dixon, and M.L. Ibsen, *Landslide in Research, Theory and Practice*, Volume 3. Thomas Telford Ltd., London.
- Sapulete M.S., Sismanto, and M. Souisa, 2012. *Mapping of Lateritic Nickel Deposit Using Resistivity Method at Gunung Tinggi Talaga Piru, Western Seram Regency, Mollucas Province*. Proceeding Earth Science International Seminar, Yogyakarta 29th November 2012. p.132-138.
- Sassa K., 2013. *International Programme On Landslides*. Springer-Verlag, Berlin Heidelberg.
- Schuster R.L., 1996. *Socioeconomic Significance of Landslides*. In: Turner, A.K. and Schuster, R.L. (eds), *Landslides – Investigation and Mitigation*. National Research Council, Washington, DC.12–35.
- Schuster R.L., and L.M. Highland, 2001. *Socioeconomic and Environmental Impacts of Landslides In The Western Hemisphere*. U.S. Geological Survey, U.S.A. U.S. Geological Survey Open-File Report 01-0276.
- Sroor M.A., 2010. *Geology and Geophysics in Oil Exploration*.
- Terlien M. T. J. (1998), *The determination of statistical and deterministic hydrological landslide triggering thresholds*, Environmental Geology, 35 (2-3):124-130.
- Tjokrosapoetro E., Rusmana E., dan A. Achdan, 1994. *Peta Geologi Lembar Ambon, (Geological Map of the Ambon Sheet, Maluku)*. Direktorat Jenderal Geologi dan Sumberdaya Mineral, Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi, Bandung.
- Varnes D.J., 1978. *Slope Movements Types and Processes*. In *Landslide: analysis and Control*. Nation Academy of Sciences, Washington, DC.
- Varnes D. J., and IAEG, 1984. *Commission on Landslides and other Mass- Movements: Landslide hazard zonation: a review of principles and practice*. UNESCO Press, Paris, 63.
- Wuryanta A., Sukresno, dan Sunaryo, 2004. *Identifikasi Tanah Longsor dan Upaya Penanggulangannya: Studi Kasus di Kulonprogo, Purworejo dan Kebumen*. Prosiding Ekspose BP2TPDAS-IBB Surakarta, hal.66-74.
- Zaruba Q., and V. Mencl., 1982. *Landslides and Their Control*. Second completely revised edition, Elsevier Scientific Publishing Company, Amsterdam.

