

STUDI MATERIAL TANAH LONGSOR AKIBAT GEMPA LOMBOK 2018

Muhammad Nurjati Hidayat¹⁾, Ery Suhartanto²⁾, Donny Harisuseno³⁾
^{1, 2, 3)}Jurusan Teknik Pengairan, Fakultas Teknik, Universitas Brawijaya, Malang
email: muhammadhidayat@ub.ac.id¹⁾

DOI: <http://dx.doi.org/10.29103/tj.v10i2.330>

(Received: July 2020 / Revised: August 2020 / Accepted: August 2020)

Abstrak

Pada umumnya, tanah longsor terjadi dengan skala yang kecil dan dampak yang dihasilkan tidak parah sebagaimana letusan gunung berapi, gempa atau tsunami. Namun, perhatian terhadap bencana ini seringkali diabaikan oleh masyarakat dan perencanaan pembangunan kota. Ada beberapa faktor yang perlu diperhatikan dalam meneliti tanah longor, salah satunya adalah mineral tanah. Dalam studi ini, sampel tanah diambil dari Lombok Utara akibat dari gempa Lombok 2018. Penelitian ini dilakukan dengan mengelompokkan tanah berdasarkan USCS dan AASTHO, kemudian dilanjutkan dengan analisis mineralogi menggunakan XRD (X-Ray Diffraction) dan SEM (Scanning Electron Microscope). Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah termasuk kategori pasir berlanau dan campuran lanau (SM); dan lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung kurus (lean clays). Pada klasifikasi AASHTO, hasilnya adalah tanah berlanau (A-4); kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung (A-2-4); dan pasir halus (A-3). Berdasarkan hasil mineralogi menggunakan XRD dan SEM, material utama pada sampel tanah adalah Albite Calcian, Microline and Kuarsa.

Kata kunci: *longsor, mineralogi, XRD, SEM*

Abstract

Landslides generally occur on a small scale and the impact is not as severe as volcanic eruptions, earthquakes, or tsunamis. However, attention to these disasters is often ignored by the community and city development planning. In assessing the factors causing landslides there are many factors that need to be considered, one of which is soil minerals. The samples of soil in this study were taken from North Lombok as a result of the 2018 earthquake. This research is conducted by classifying the soil based on USCS and AASHTO, then proceed with mineralogical analysis using XRD (X-Ray Diffraction) and SEM (Scanning Electron Microscope). Based on USCS classification, the result of the analysis shows that soil samples have a classification of silty sand, and silt mixtures (SM); and inorganic clays or low to medium plasticity, gravelly clays, sandy clays, silty clays, lean clays (CL). For AASHTO classification, the result shows the sample belong to silty soil (A-4), silty or clayey gravel sand (A-2-4) and fine sand (A-3). Based on the results of mineralogical analysis using XRD and SEM, it is known that the dominant minerals making up the soil in the sample are Albite Calcian, Microline and Quartz

Keywords: *landslide, mineralogy, XRD, SEM*

1. Latar Belakang

Secara geografis, Indonesia terletak di daerah katulistiwa yang mengakibatkan wilayahnya banyak ditutupi oleh tanah hasil dari pelapukan yang intensif. Letak ini juga mempengaruhi kondisi geologi, geomorfologi dan klimatologi yang mengakibatkan banyak munculnya bencana alam seperti kebakaran hutan, banjir, puting beliung, gempa bumi, letusan gunung berapi, dan lain-lain. Kejadian tanah longsor umumnya terjadi dengan skala yang tidak besar dan dampak yang ditimbulkan tidak sehebat letusan gunung api, gempa bumi, maupun tsunami. Tanah longsor terjadi pada lereng yang terbentuk secara alami maupun buatan. Ferkuensinya terjadinya sangat tinggi di musim penghujan sehingga sering dihubungkan dengan kondisi hujan.

Dalam mengkaji faktor penyebab terjadinya tanah longsor, faktor-faktor yang menyebabkan tanah menjadi rentan adalah kemiringan lereng, bidang luncur di bawah permukaan tanah, adanya air tanah di atas lapisan jenuh air, curah hujan kumulatif, geologi batuan, dan faktor penggunaan lahan (Susanti et al., 2017). Juga, geomorfologi lahan yang terbentuk dari proses yang berbeda mengakibatkan perbedaan jenis tanah yang beda yang disusun oleh tanah atau batuan di bawah permukaan tanah. Geomorfologi lahan ini juga dipengaruhi oleh kondisi geologi, kondisi keairan, proses sedimentasi, dan komposisi mineral penyusunnya, terutama pada material berbutir halus. Selain itu, tanah longsor juga dapat disebabkan karena getaran tanah akibat gempa bumi, yang disebut dengan longSORan akibat gempa (earthquake-triggered landslides). Gempa bumi ini menjadikan lereng tidak stabil karena adanya beban gempa yang menyebabkan hilangnya kekuatan lereng. Lereng yang tidak stabil akibat gempa dan adanya gaya gravitasi mampu mengakibatkan tanah longsor. Salah satu daerah yang mengalami longsor akibat gempa pada tahun 2018 adalah Lombok.

Tanah longsor di Lombok terjadi setelah adanya rangkaian gempa bumi yang dimulai pada 29 Juli 2018 dengan amplitudo 6,4 yang diikuti oleh gempa 7 skala Richter (SR) pada 5 Agustus; 5,9 SR (9 Agustus); 6,4 SR (18 Agustus), dan; 6,9 SR (19 Agustus 2018). Kejadian gempa ini terjadi akibat dari *back-arc thrust* (sesar naik) di sepanjang laut Flores yang sejajar dengan pulau Bali dan Nusa Tenggara ((BMKG), 2018a)((BMKG), 2018b). Kejadian gempa yang pertama diperparah oleh kejadian gempa berikutnya sehingga rangkaian gempa bumi ini menimbulkan kerusakan struktural dan geoteknik yang signifikan pada daerah yang terdampak.

Penyebab utama tanah longsor adalah faktor internal (kondisi geologi dan geomorfologi), dan faktor pendorong (curah hujan, air tanah dan gempa bumi) (Terzaghi, 1950)(Veder, 1981). Kejadian longsor dapat juga terjadi akibat dari kombinasi kedua faktor internal dan pendorong (Veder, 1981)(Záruba & Mencl, 1982). Peneliti menunjukkan bahwa tanah longsor dikendalikan oleh karakteristik geologi, terutama mineral lempung. Pentingnya pengamatan mineral menunjukkan dalam pemahaman sifat geoteknik tanah. Di antara Di antara parameter fisik tanah, faktor penting yang menghasilkan tanah longsor adalah kandungan air karena meningkatkan tekanan pada kemiringan tanah dan mengurangi kekuatan tanah (Ray & Jacobs, 2007).

Banyak penelitian telah dilakukan dalam memahami mineralogi tanah liat. Sampel penelitian yang telah dilakukan pada sekitar permukaan bidang gelincir (Egashira & Gibo, 1994), daerah permukaan (tanah) (Maeda et al., 2009) dan

setiap interval 3 meter dari permukaan hingga kedalaman 23 meter dari tanah longsor aktif (Armand et al., 2004). Selain itu, karakteristik mendalam mineral lempung di daerah longsor belum diselidiki secara memadai di Indonesia hingga saat ini (Wijaya et al., 2017)(Karnawati et al., 2011)(Oh et al., 2010). Sehingga penelitian awal mengenai material tanah longsor akibat gempa Lombok 2018 diperlukan untuk melengkapi daftar pustaka yang ada.

2. Metode Penelitian

2.1 Sample tanah

Material dasar atau bahan uji yang digunakan sebagai sample adalah tanah *disturbed* yang diambil dari dua lokasi longsor di Kecamatan Gangga, Kabupaten Lombok Utara, masing-masing diambil 2 sample yang berbeda. Sample pertama diambil pada tebing dipinggir jalan raya (diberi kode 1A dan 1B), sample kedua diambil pada material longsor (2A bagian atas dan 2B bagian bawah/dalam). Sample tersebut disimpan dalam wadah plastik minimal dua lapis, yang kemudian dibawa ke Malang untuk dilakukan analisis terhadap material tersebut. Material bahan uji adalah tanah asli dari tebing dan material longsor di area Lombok Utara. Dengan demikian penelitian ini menggunakan bahan uji berupa butiran tanah yang telah disimpan dalam wadah plastik.



Gambar 1 Lokasi pengambilan sampel

2.2 Identifikasi tanah

Identifikasi fisik tanah material longsor dilakukan dengan cara melihat tampilan tanah (secara visual) dan merasakan teksturnya dengan menggesekkan dua jari tangan. Selanjutnya dilakukan Pengujian Distribusi Butiran (*Sieve Analysis*). Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat halus dan agregat kasar dengan menggunakan saringan. Selanjutnya, pengujian *Spesific Gravity* (Gs). *Spesific Grafity* adalah perbandingan antara berat butir tanah dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan *Spesific Grafity* yang mempunyai butiran lewat saringan No. 4 dengan menggunakan picnometer.

2.3 Klasifikasi dan Mineralogi tanah

Setelah dilakukan uji distribusi butiran, hasil tersebut diklasifikasikan dengan metode USCS (*Unified Soil Classification System*) dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation*).

Proses preparasi sample dilakukan di Laboratorium Tanah dan Airtanah, Jurusan Teknik Pengairan, Universitas Brawijaya. Sample tanah yang diambil dari lokasi dibagi menjadi beberapa bagian dengan menggunakan *quartering method* (*quartering samples*). Proses ini digunakan untuk sample yang dianggap mewakili tanah dilokasi menjadi jumlah yang lebih sedikit sehingga lebih mudah untuk dilakukan pengujian. Dari hasil *quartering* tersebut, sample tanah dilakukan uji gradasi butiran (*sieve analysis*) untuk diperoleh ukuran terkecilnya, yaitu yang tertahan di pan. Selanjutnya, dilakukan uji hidrometer untuk memisahkan antara material lanau (*silt*) dengan lempung (*clay*). Sample tanah (dalam bentuk *clay*) dengan kode 1A, 1B, 2A dan 2B dengan berat lempung yang dipersiapkan antara 3 – 5 gram dipersiapkan untuk pengujian selanjutnya. Sample dimasukkan di *holder* untuk dipersiapkan uji XRD. Peletakan sample tanah dalam holder diupayakan agar bagian permukaan holder rata sehingga dalam uji x-ray dapat menjadi lebih akurat. Sedangkan material yang tertahan saringan nomor 40, 200 dan pan digunakan untuk pengujian SEM yang diperkuat dengan EDX (*Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy*).

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Identifikasi Tanah

Identifikasi fisik tanah material longsor dilakukan dengan cara melihat tampilan tanah (secara visual) dan merasakan teksturnya dengan menggesekkan dua jari tangan. Sample 1A dan 1B yang berasal dari tebing memiliki warna kelabu cerah dan kelabu agak cerah dengan plastisitasnya tidak lengket dan tekstur tanah agak kasar. Pada sample tanah 2A dan 2B yang berasal dari material longsor memiliki warna kelabu cerah, plastisitas tidak lengket dan tekstur halus agak kasar. Dari keempat sample ini didominasi oleh tekstur yang masih terasa halus pada bagian tertentu. Detil keterangan ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1 Identifikasi fisik sample tanah

Sample	Warna	Plastisitas	Tekstur
1A	Kelabu cerah	Tidak lengket	Agak kasar
1B	Kelabu agak cerah	Tidak lengket	Agak kasar
2A	Kelabu cerah	Tidak lengket	Halus agak kasar
2B	Kelabu cerah	Tidak lengket	Halus agak kasar

3.2 Analisis Saringan dan Hidrometer (Grain Size dan Hydrometer)

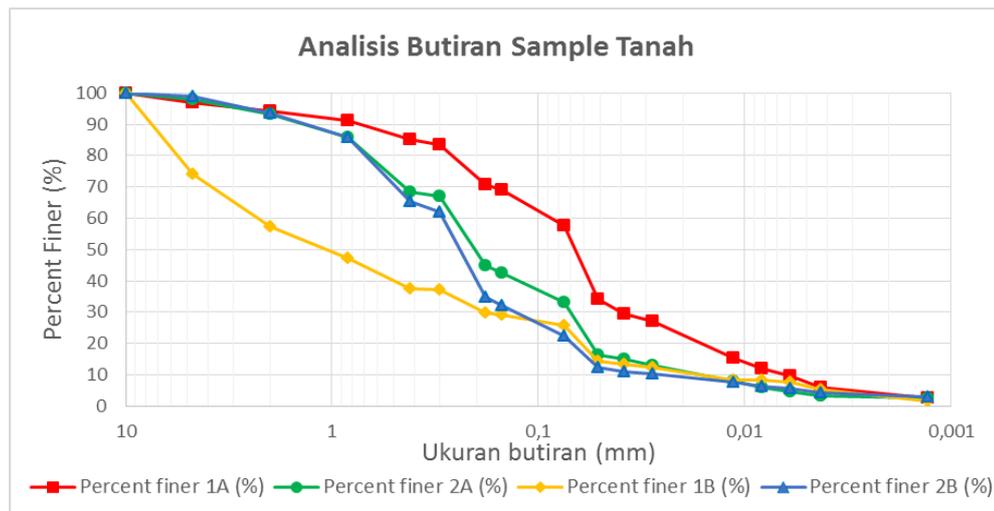
Analisis saringan dimaksudkan untuk mengetahui pembagian butir/gradasi agregat kasar atau yang tertahan mulai dari saringan nomor 4 (diameter 4,75 mm) hingga saringan nomor 200 dengan diameter 0,075 mm. Kemudian yang lolos saringan 200 akan tertahan di pan yang selanjutnya pembagian butir dilakukan dengan metode hidrometer. Dari keempat gambar grafik analisis gradasi butiran, perbandingan grafik keempat sample ditunjukkan pada gambar 2.

Berdasarkan hasil analisis saringan ke empat (4) sample, didapatkan hasil gradasi tanah berupa *well-graded soils*/tanah bergradasi baik pada sample 2A. Selain sample 2A, hasil yang ditunjukkan tidak memenuhi kriteria tanah

bergradasi baik maupun gradasi buruk. Hal ini terjadi karena nilai C_c dari ketiga sample tersebut diluar dari batas yang diijinkan, yaitu $1 < C_c < 3$.

3.3 Berat Jenis Tanah (Specific Gravity – GS)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis tanah sample yang telah diambil pada tanah yang tertahan di saringan 80, 100 dan 200. Nilai G_s yang diperoleh adalah 2,563 untuk sample 1A, 2,75 untuk sample 1B, 2,7342 untuk sample 2A, dan 2,26 untuk sample 2B.



Gambar 1 Perbandingan analisis butiran pada empat sampel

3.4 Klasifikasi tanah

3.4.1 Klasifikasi USCS

Berdasarkan klasifikasi USCS tanah dibagi menjadi 2 kelompok besar: (i) bila lebih dari 50% butiran tertahan di saringan nomor 200, maka disebut tanah berbutir kasar. Kemudian, bila lebih dari 50% lolos saringan nomor 4 disebut pasir, bila lebih dari 50% tertahan di saringan nomor 4 disebut kerikil; (ii) bila lebih dari 50% butiran lolos saringan nomor 200, pembagiannya dengan melihat batas cairnya kurang dari 50% atau lebih.

Dari hasil pengujian diperoleh sample 1A memiliki klasifikasi CL, yaitu jenis tanahnya adalah C (*clay*/lempung) dan L merupakan sub kelompok yang nilai batas cair atau $WL < 50\%$ (pemberian simbol dapat dilihat pada tabel 2.1). Sample 1B, 2A dan 2B memiliki klasifikasi SM, yaitu pasir berlanau atau campuran pasir-lanau, di mana S merupakan simbol *sand* dan M merupakan keterangan sub kelompok lanau.

Tabel 2 Hasil klasifikasi tanah menggunakan metode USCS

Ukuran saringan	Particles diameter (mm)	Percent finer 1A (%)	Percent finer 1B (%)	Percent finer 2A (%)	Percent finer 2B (%)
4	4.75	96.87	74	98	99
200	0.075	57.51	25.72	33.02	22.26
Klasifikasi USCS		CL	SM	SM	SM

Keterangan:

SM : pasir berlanau, campuran pasir-lanau

CL : lempung anorganik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung berkerikil, lempung berpasir, lempung berlanau, lempung “kurus” (*lean clays*)

3.4.2 Klasifikasi AASHTO

Berdasarkan Klasifikasi AASHTO tentang klasifikasi tanah, tanah dibagi menjadi tanah berbutir (tanah lolos ayakan nomor 200 sebesar 35% atau kurang) dan tanah lanau-lempung (tanah lolos ayakan nomor 200 lebih dari 35%). Kemudian dilanjutkan melihat seberapa besar yang lolos saringan nomor 10, 40 dan 200, serta melihat batas cair (*liquid limit* – LL) dan indeks plastisnya (*plasticity index* – PI).

Hasil pengujian sample menunjukkan sample 1A dan 1B memiliki perbedaan klasifikasi, yaitu A-4 dan A-2-4, yang masing memiliki material dominannya adalah tanah berlanau dan kerikil dan pasir berlanau atau berlempung. Pada sample 2A dan 2B menunjukkan klasifikasi yang sama, yaitu A-3 yang memiliki material dominan pasir halus.

Tabel 3 Klasifikasi tanah menggunakan metode AASHTO

Ukuran saringan	Particles diameter (mm)	Persen lolos 1A (%)	Persen lolos 1B (%)	Persen lolos 2A (%)	Persen lolos 2B (%)
4	4.75	96.865	74	98	99
10	2	94.095	57.22	93.16	93.5
20	0.84	91.085	47.14	85.83	86
40	0.42	85.215	37.63	68.48	65.44
50	0.3	83.42	37.31	67.11	61.89
80	0.18	70.82	29.95	44.86	34.91
100	0.15	69.055	29.22	42.71	32.02
200	0.075	57.505	25.72	33.02	22.26
Klasifikasi AASHTO		A-4	A-2-4	A-3	A-3
Keterangan		Tanah berlanau	Kerikil dan pasir berlanau atau berlempung	Pasir halus	Pasir halus

3.5 Mineralogi tanah

Berdasarkan hasil XRD (X-Ray Diffraction), mineral dominan yang terlihat adalah Albite Calcian yang memiliki proporsi lebih dari 50% pada masing-masing sample, diikuti oleh mineral microline sebesar 34% pada sample 1A, 48% pada sample 2A dan 30% pada sample 2B. pada sample 1B memiliki perbedaan komposisi mineral penyusunnya, yaitu Microline sebesar 55%, Albite Calcian sebesar 36% dan sisanya berupa kuarsa/quartz sebesar 9%.

Albite ($\text{NaAlSi}_3\text{O}_8$) adalah tektosilikat sodium dari group plagioklas yang merupakan salah satu penyusun utama kerak bumi umumnya dapat ditemukan di batuan, sedimen dan tanah (Wang et al., 2017) (Dubois et al., 2011). Ciri fisik Albite adalah berwarna putih (umumnya), *streak* berwarna putih, memiliki kilap seperti kaca hingga buram, kristal sistem triklinik, kekerasan 6 – 6,5 dan nilai GS rata-rata 2,6.

Dari hasil analisis SEM (Scanning Electron Microscope) menunjukkan bahwa unsur dominan yang ada pada semua sample adalah O dan Si, yang mana nilai masing-masingnya di atas 60% dan 18% dari keseluruhan. Bila dibandingkan dengan hasil XRD, jumlah unsur pembentuk material tanah dari hasil SEM tidak berbeda.

Tabel 4 Komposisi mineral pada setiap sampel berdasarkan hasil XRD

Sample	Senyawa	Jumlah (%)	Rumus Kimia
1A	Albite Calcian	53	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
	Microcline	34	K(Si ₃ Al)O ₈
	Quartz	13	SiO ₂
1B	Microcline	55	K(Si ₃ Al)O ₈
	Albite Calcian	36	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
	Quartz	9	SiO ₂
2A	Albite Calcian	51	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
	Microcline	48	K(Si ₃ Al)O ₈
	Quartz	1	SiO ₂
2B	Albite Calcian	52	(Na, Ca)Al(Si,Al) ₃ O ₈
	Microcline	30	K(Si ₃ Al)O ₈
	Quartz	18	SiO ₂

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Sample tanah yang diperoleh dari Lombok Utara dibagi menjadi dua, pertama adalah sample dari tebing dan kedua adalah material longsor. Identifikasi fisik sample tanah bertujuan untuk mendapatkan gambaran tanah berdasarkan warna dan plastisitas secara sederhana. Dari hasil analisis sample tersebut diketahui bahwa sample didominasi warna cerah, memiliki plastisitas yang rendah atau tidak lengket dan bertekstur agak kasar dan halus agak kasar.

Berdasarkan klasifikasi USCS, tanah sample tersebut merupakan pasir berlanau (SM) dan lempung organik dengan plastisitas rendah sampai sedang (CL). Lebih detilnya, sample 1A adalah CL dan sisanya adalah SM. Berdasarkan klasifikasi AASHTO, sample 1A termasuk tanah berlanau (A-4), 1B adalah kerikil dan pasir berlanau atau berlempung (A-2-4), sample 2A dan 2B termasuk pasir halus (A-3). Dengan memiliki gradasi yang buruk, material tanah ini tidak bagus untuk dijadikan lapisan dasar jalan raya, bila suatu saat disekitar lokasi akan diadakan pembukaan atau pelebaran jalan.

Dari hasil analisis mineralogi yang menggunakan X-Ray Diffraction (XRD) dan Scanning Electron Microscope (SEM) yang diperkuat EDX (Electron Dispersive X-Ray Spectroscopy), material utama penyusun tanah longsor di Lombok utara adalah adalah Albite Calcian, Microcline dan Quartz.

4.2 Saran

Gempa Lombok 2018 mengakibatkan tanah longsor di beberapa daerah di pulau Lombok. Untuk mendukung penelitian yang lebih komprehensif, material tanah longsor di lokasi lain perlu diteliti juga. Sehingga dapat diperoleh gambaran umum material tanah longsor beserta mekanisme terjadinya.

Daftar Kepustakaan

- (BMKG), M. C. and G. A. (2018a). *Review of Land Shocks Due to the East Lombok Earthquake 29 Juli 2018*.
- (BMKG), M. C. and G. A. (2018b). *Review of Land Shocks Due to the East Lombok Earthquake 9 Agustus 2018*.
- Armand, W., Ludovic, S., Kitagawa, R., Mbakam, T., Ekodeck, F., Emmanuel, G., & Daniel, N. (2004). Clay Mineralogy of the Landslide in Lembo Area, Bana-Bangou District, West Province of Cameroon. *Clay Science*, 12(5), 293–304. <https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience1960.12.293>
- Dubois, B. I. E., Holgersson, S., Allard, S., & Malmström, M. E. (2011). Dependency of BET surface area on particle size for some granitic minerals. *Proceedings in Radiochemistry A Supplement to Radiochimica Acta*, 1(1), 75–82. <https://doi.org/10.1524/rcpr.2011.0013>
- Egashira, K., & Gibo, S. (1994). Mineralogy of Landslide Occurred in the Neogene Mudstone, Yoichi, Hokkaido. *Clay Science*, 9(3), 181–185. <https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience1960.9.181>
- Karnawati, D., Fathani, T. F., Ignatius, S., Andayani, B., Legono, D., & Burton, P. W. (2011). Landslide hazard and community-based risk reduction effort in Karanganyar and the surrounding area, central Java, Indonesia. *Journal of Mountain Science*, 8(2), 149–153. <https://doi.org/10.1007/s11629-011-2107-6>
- Maeda, H., Naya, H., Hasebe, S., & Kohno, M. (2009). A Landslide Clay of the Semposhi Slide Occurred Within the Semposhi Formation of the Nemuro Group In the West Coast Area of Akkeshi Bay, Eastern Hokkaido, Japan. *Clay Science*, 14(3), 135–139. https://doi.org/10.11362/jcssjclayscience.14.3_135
- Oh, H.-J., Lee, S., & Soedradjat, G. M. (2010). Quantitative landslide susceptibility mapping at Pemalang area, Indonesia. *Environmental Earth Sciences*, 60(6), 1317–1328. <https://doi.org/10.1007/s12665-009-0272-5>
- Ray, R. L., & Jacobs, J. M. (2007). Relationships among remotely sensed soil moisture, precipitation and landslide events. *Natural Hazards*, 43(2), 211–222. <https://doi.org/10.1007/s11069-006-9095-9>
- Susanti, P. D., Miardini, A., & Harjadi, B. (2017). Analisis Kerentanan Tanah Longsor Sebagai Dasar Mitigasi di Kabupaten Banjarnegara. *Jurnal Penelitian Pengelolaan Daerah Aliran Sungai*, 1(1), 49–59.
- Terzaghi, K. (1950). *Mechanism of Landslides* (pp. 83–124). Geological Society of America.
- Veder, C. (1981). *Landslides and Their Stabilization* (pp. 7–18). Springer-Verlag. https://books.google.co.id/books?id=_hn_CAAAQBAJ&printsec=frontcover&dq=Landslides+and+their+stabilization&hl=en&sa=X&ved=0ahUKEWjGjsnAuMHdAhUNS48KHfT0ChYQ6AEIJzAA#v=onepage&q=Landslides+and+their+stabilization&f=false

- Wang, J., Wang, Z., Yang, L., Yang, G., Miao, C., & Lv, P. (2017). Natural albite as a novel solid basic catalyst for the effective synthesis of biodiesel: Characteristics and performance. *Energy*, *141*, 1650–1660. <https://doi.org/10.1016/j.energy.2017.11.086>
- Wijaya, I. P. K., Zangel, C., Straka, W., & Ottner, F. (2017). Geological Aspects of Landslides in Volcanic Rocks in a Geothermal Area (Kamojang Indonesia). In *Advancing Culture of Living with Landslides* (pp. 429–437). Springer International Publishing. https://doi.org/10.1007/978-3-319-53483-1_51
- Záruba, Q., & Mencl, V. (1982). *Landslides and Their Control* (pp. 31–35). Elsevier. https://books.google.co.id/books?hl=en&lr=&id=kaw7AAAAQBAJ&oi=fnd&pg=PP1&dq=landslides+and+their+control&ots=3ciW0sJUNt&sig=_tC OkU0xSnR25u1Ht_5urjg4eq8&redir_esc=y#v=onepage&q=landslides and their control&f=false