

STUDI EKPERIMENTAL RESPON INTENSITAS HUJAN DAN TEKANAN AIR PORI TANAH PENGARUHNYA TERHADAP KERUNTUHAN LERENG

NOFRIZAL¹, SEPTIWILA ZARINDA²

Teknik Sipil Institut Teknologi Padang¹, Teknik Sipil Universitas Andalas²

Correspondence: nofri_sk@yahoo.com¹

Abstract: *Malalak is one of the youngest sub-districts in Agam Regency, the district was previously included in the administration of the district IV koto. Malalak sub-district officially separated its elf into its own sub-district on May 24, 2007. Simalaka Road (Sicincin-Malalak-Balingka) connects between Balingka nagari in district IV Koto, Malalak nagari in Malalak sub-district, and Tandikek nagari, Patamuan, Sicincin in Padang Pariaman district. This study is classified into applied research. will use soil parameter and rainfall to find out, and analyze the extent of rain characteristics on slope collapse, as well as compare the safe factors obtained using fellenius medote and Geo-studio V Software, due to disturbed soil stability or slope building rocks. In determining the value dari the safety factor of the slope by using software Geo-Slope /W obtained the value of safety factor is 0.70. The result of vibrational influence as well as the frequent rain stability of the slopes experienced a considerable decrease in the safety value of the slopes and showed that the slope conditions unstable. Analisis safety factor from research conducted on malalak road section KM 31 can be summed up a few things as follows. From the analysis obtained a definition of the factors that cause slope unstableness. From the calculation results can be that rainwater infiltration is very influential to the stability of the slope, where safety factors or FK (Safety Factor) slopes decrease along with the length of rainwater infiltration that occurs in the area especially during the soil hoarding process occurs, this can be seen from the results of geostudio analysis and fellenius method that shows reduced slope safety factors.*

Keywords: *Slope Collapse, Rainfall, Slope safety factor*

Abstrak: Malalak merupakan salah satu kecamatan termuda di Kabupaten Agam, kecamatan tersebut sebelumnya termasuk dalam administrasi kecamatan IV koto. Kecamatan Malalak resmi memisahkan diri menjadi kelurahannya sendiri pada tanggal 24 Mei 2007. Jalan Simalaka (Sicincin-Malalak-Balingka) menghubungkan antara nagari Balingka di kecamatan IV Koto, nagari Malalak di kecamatan Malalak, dan nagari Tandikek, Patamuan, Sicincin di kabupaten Padang Pariaman. Penelitian ini tergolong penelitian terapan. akan menggunakan parameter tanah dan curah hujan untuk mengetahui, dan menganalisis sejauh mana karakteristik hujan pada keruntuhan lereng, serta membandingkan faktor aman yang diperoleh dengan metode fellenius dan Software Geo-studio V, karena stabilitas tanah atau batuan penyusun lereng yang terganggu. Dalam menentukan nilai faktor keamanan lereng dengan menggunakan software Geo-Slope /W diperoleh nilai faktor keamanan sebesar 0,70. Hasil pengaruh vibrasi serta kestabilan lereng yang sering hujan mengalami penurunan nilai keamanan lereng yang cukup besar dan menunjukkan bahwa kondisi lereng tidak stabil. Analisis faktor keamanan dari penelitian yang dilakukan pada Ruas Jalan Malalak KM 31 dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut. Dari hasil analisis diperoleh definisi faktor-faktor penyebab ketidakstabilan lereng. Dari hasil perhitungan dapat diketahui bahwa resapan air hujan sangat berpengaruh terhadap kestabilan lereng, dimana faktor keamanan atau FK (Safety Factor) lereng menurun seiring dengan lamanya resapan air hujan yang terjadi di daerah tersebut terutama pada saat proses penimbunan tanah terjadi, Hal ini terlihat dari hasil analisis geostudio dan metode fellenius yang menunjukkan penurunan faktor keamanan lereng.

Kata kunci: Keruntuhan Lereng, Curah Hujan, Faktor Keamanan Lereng

A. Pendahuluan

Masalah kerusakan sarana prasarana yang terus meningkat akibat longsor merupakan akibat dari perubahan iklim global Secara umum, faktor pemicu utama dari keruntuhan lereng dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis faktor pemicu yaitu peristiwa curah hujan, beban

gempa, dan aktifitas manusia. Faktor aliran curah hujan bisa dalam bentuk aliran permukaan, infiltrasi, aliran debris, akan menjadi pemicu mengubah tekanan air pori tanah, perubahan kadar air tanah atau tekanan tanah di lereng dan secara langsung mengurangi kekuatan geser tanah. Meningkatnya tingkat curah hujan akan meningkatkan tingkat faktor infiltrasi, indeks rembesan dan air pori tanah dan akan mennggi nilai kadar air tanah, sehingga akan mengakibatkan pada Kegagalan lereng, (Duncan dkk, 2014). Kegagalan lereng (slope failure), kebanyakan terjadinya dalam bentuk keruntuhan lereng, merupakan fenomena alam, dalam hal ini keruntuhan lereng di didefinisikan sebagai pergerakan tanah yang terjadi di karenakan adanya gangguan atau faktor yang mempengaruhi dan menyebabkan terjadinya pengurangan kuat geser serta peningkatan tegangan geser tanah. Keruntuhan lereng ini biasanya terjadi pada musim hujan, hal ini dikarenakan pada musim penghujan tingkat kadar air tanah akan meningkat sampai menuju tingkat kejenuhan kadar air tanah, dan secara fisikal banyak terjadi tahapan proses penimbunan tanah, dan pemotongan tebing yang terlalu curam.

Malalak merupakan salah satu kecamatan termuda di Kabupaten Agam, kecamatan ini sebelumnya masuk dalam administrasi wilayah kecamatan IV koto. Kecamatan Malalak resmi memisahkan diri menjadi kecamatan sendiri pada tanggal 24 Mei 2007. Malalak terbagi atas 4 nagari yang meliputi : Malalak Barat, Malalak Selatan, Malalak Timur, Malalak Utara. Jalur tersebut merupakan jalur jalan yang melalui daerah perbukitan. Sebagian besar perbukitan yang dilalui merupakan perbukitan dengan kemiringan lereng alami yang cukup terjal berkisar antara 300 – 550. Jalur jalan berada di daerah yang memiliki kelurusan-kelurusan yang berarah ke barat daya–timur laut. Kelurusan-kelurusan tersebut berada di antara Danau Maninjau dan Gunung Singgalang Pada tahun 2006 sebelum nagari Malalak dimekarkan menjadi sebuah kecamatan di Kabupaten Agam, Pemerintah provinsi Sumatera Barat melakukan program pembangunan jalan raya alternatif sepanjang 40 km yang difungsikan untuk menunjang jalan utama yakni jalan lintas Silaing yang sering mengalami kepadatan atau kemacetan pada hari besar ataupun ketika jalan ini mengalami bencana longsor.

Jalan SIMALAKA (Sicincin-Malalak-Balingka) menghubungkan antara nagari Balingka di kecamatan IV Koto, nagari Malalak di kecamatan Malalak, serta nagari Tandikek, Patamuan, Sicincin pada kabupaten Padang Pariaman. Pembuatan jalan ini dilakukan sepanjang 40 km dan selesai pada tahun 2010. Setelah selesai pengerjaan jalan ini bukan berarti menimbulkan dampak positif saja tapi juga memiliki dampak negatif terutama bagi masyarakat yang bermukim di bawah lereng jalan, yakni warga masyarakat jorong Limo Badak, Nagari Malalak Timur. Dampak negatif yang ditimbulkan dari hadirnya jalan lintas SIMALAKA (Sicincin-Malalak-Balingka) salah satunya yakni terjadinya pergerakan tanah ketika daerah kecamatan Malalak di guyur hujan, kondisi ini menyebabkan terjadinya longsor material yang terbawa hingga ke bawah lereng.



Gambar 1. Kondisi Lereng Kecamatan Malalak

Oleh karena itu untuk mengetahui kestabilan lereng tersebut perlu dilakukan analisis kestabilan lereng untuk mengetahui nilai faktor keamanan dari lereng, nilai factor keamanan bertujuan untuk memastikan apakah lereng masih dalam keadaan stabil sehingga lereng tersebut aman bagi aktivitas masyarakat sekitar lereng tersebut. Jika lereng diketahui dalam keadaan tidak stabil maka dilakukan analisis kembali untuk menentukan perencanaan pengendalian sebelum longsor terjadi. Sehingga dapat mengurangi resiko yang timbul baik berupa materil maupun korban jiwa.

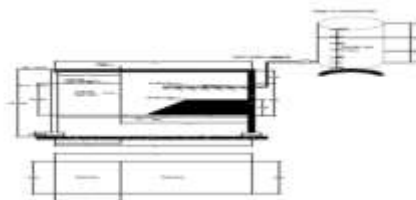
Dalam penelitian ini, lokasi wilayah studi yang diperlukan untuk mengumpulkan sejumlah informasi mengenai daerah atau lokasi penelitian yaitu berada pada jalan ruas

Sicincin-Malalak-Balingka. Secara geografis lokasi penelitian terletak pada koordinat $0^{\circ}24'0''$ arah Selatan dan $100^{\circ}16'0''$ arah Timur termasuk ke dalam Kecamatan Malalak, Kabupaten Agam. Kabupaten Agam merupakan salah satu dari 19 Kabupaten/Kota yang ada di Provinsi Sumatera Barat. Luas Wilayah Kabupaten Agam adalah $\pm 2.232,30$ Km². Untuk mencapai lokasi tersebut dapat melalui beberapa alternatif perjalanan yaitu: Jalur darat, melalui rute Padang–Pariaman–Malalak sejauh ± 70 km dan melalui rute Padang Sicincin–Malalak sejauh ± 60 km. Penulis menemukan Lereng di km 31 yang memiliki ketinggian 40 meter dengan sudut kemiringan sebesar 59° , karena memiliki sudut lereng yang curam dan tidak adanya perkuatan pada batuan maka lereng tersebut memiliki potensi untuk runtuh.

B. Metodologi Penelitian

Pada penelitian ini terkait tentang Analisa karakteristik hujan terhadap keruntuhan lereng ruas jalan Sicincin-Malalak Balingka yang merupakan jalur alternatif yang menghubungkan Kota Bukittinggi dan Kota Padang dari jalur Sicincin Lembah Anai (± 37 km). Penelitian ini menggunakan pendekatan geostatistik, Penelitian ditujukan untuk mendapatkan nilai keamanan lereng yang dinyatakan dengan Faktor Keamanan (FK) pada lereng yang sebelumnya pernah terjadi longsor di daerah Malalak, Kabupaten Agam, sehingga tergolong dalam penelitian terapan (*applied research*). Penelitian terapan adalah penelitian yang lebih menekankan pada penerapan ilmu, aplikasi, ataupun penggunaan ilmu untuk dan dalam masyarakat, ataupun untuk keperluan tertentu (industri, usaha dll). Penelitian terapan merupakan suatu kegiatan yang sistematis dan logis dalam rangka menemukan sesuatu yang baru atau aplikasi baru dari penelitian – penelitian yang telah pernah dilakukan selama ini. Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari perusahaan, penelitian terdahulu dan literatur–literature terkait yang meliputi: 1) Data curah hujan; 2) Data parameter tanah; dan 3) Peta topografi lokasi penelitian

Bagan Alir Penelitian



Gambar 2. Model Alat Percobaan keruntuhan lereng

C. Hasil dan Pembahasan

Penentuan Luas Polygon Thiessen. Dalam penelitian ini penentuan luas stasiun hujan dihitung berdasarkan metode *Polygon Thiessen*. Berikut adalah gambaran pembagian luas pengaruh stasiun hujan dengan metode *Polygon Thiessen*.

Tabel. 1 Faktor Pembuat Area dengan Metode Thiessen.

No	Stasiun	Area (km ²)	% faktor pembuat (Ai Σ Ai)
1	Canduang	981.07	45.42
2	Manggopoh	1178.96	54.58
	Total	2160.03	100.00

Data Hujan Harian Maksimum

Tabel. 2 Data Curah Hujan Maksimum

No	Tahun	Stasiun Pengamatan	
		Canduang	Manggopoh
1	2019	51	247
2	2018	110	156
3	2017	90	131
4	2016	100	145
5	2015	111	168
6	2014	70	214
7	2013	60	149
8	2012	100.7	114.9
9	2011	100.6	78
10	2010	70	72

Tabel. 3 Analisa Frekuensi Curah Hujan Normal dan Gumbel

No	Hujan (mm)	Xi - X	(Xi - X) ²	Xi ²	(Xi - X) ³	(Xi - X) ⁴
1	28	-19.283	371.848	774.852	-7170.489	138271.190
2	60	12.919	166.907	3604.637	2156.317	27858.016
3	49	2.003	4.012	2413.035	8.037	16.100
4	55	7.461	55.669	2979.055	415.359	3099.069
5	61	13.465	181.308	3670.494	2441.323	32872.577
6	38	-8.913	79.442	1459.737	-708.070	6311.054
7	33	-14.371	206.529	1072.460	-2968.045	42654.081
8	55	7.843	61.517	3020.908	482.490	3784.288
9	55	7.789	60.663	3014.911	472.487	3680.044
10	38	-8.913	79.442	1459.737	-708.070	6311.054
Jumlah	471.20		1267.338	23469.847	-4870.591	264857.472
X	47.12					

Tabel. 5 Perbandingan Syarat Distribusi dengan Hasil Perhitungan

No	Jenis Distribusi	Syarat		Hasil Perhitungan		Kesimpulan	
		Cs	c	c	c		
1	Metode Gumbel	Cs	<	1.1396	<	1.1396	Memuenuhi
		Cx	<	4.802	<	4.802	Memuenuhi
2	Metode Log Normal	Cs	<	0.0076	>	0.0076	Tidak memenuhi
		Cx	=	0	=	0	Tidak memenuhi
3	Metode Log Peron III	Cs	=	0	=	0	Tidak memenuhi
		Cx	=	0	=	0	Tidak memenuhi
4	Metode Normal	Cs	=	0	=	0	Tidak memenuhi
		Cx	=	0	=	0	Tidak memenuhi

Tabel. 5 Faktor-faktor Dalam Penentuan Jenis Sebaran

No	Nama	Rumus	Analisa Persebaran Curah Hujan	
			Normal dan Gumbel	Log Normal dan Log Peron III
1	Standar Deviasi (Sd)	$\sqrt{\frac{\sum(X_i - \bar{X})^2}{n}}$	11.8666	0.1193
2	Koef. Skewness (Cs)	$\frac{\sum(X_i - \bar{X})^3}{n \cdot Sd^3}$	-0.4048	-0.7112
3	Koef. Kurtosis (Cx)	$\frac{\sum(X_i - \bar{X})^4}{n \cdot Sd^4}$	2.8502	0.3111
4	Koef. Variasi (Cv)	$\frac{Sd}{\bar{X}}$	0.2518	0.0025

Tabel. 6 Perhitungan Curah Hujan Untuk Debit Banjir Dengan Metoda Gumbel

No	Periode	Xrt	Sd	Yt	Yn	Sn	Xt
1	2	47.12	11.8666	0.2665	0.4952	0.9496	45.51
2	5	47.12	11.8666	1.4999	0.4952	0.9496	59.67

Metode Scs untuk menghitung infiltrasi

$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

Dengan :

Pe : kedalaman hujan efektif (mm)

P : kedalaman hujan (mm)

S : retensi potensial maksimum air oleh tanah, yang sebagian besar adalah karena infiltrasi (mm)

Dimana : $S = \frac{25400}{CN} - 254$

$$CN = 81$$

$$S = \frac{25400}{81} = 254$$

$$= 59,6 \text{ mm}$$

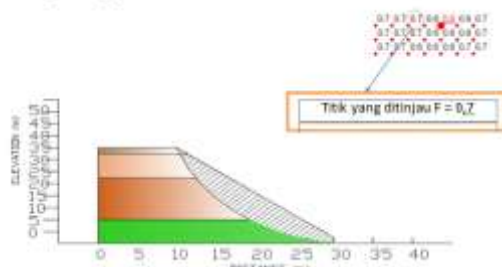
$$P_e = \frac{(P - 0,2S)^2}{P + 0,8S}$$

$$= \frac{(59,67 - 0,2 \times 59,6)^2}{59,67 + 0,8 \times 59,6}$$

$$= 21,23 \text{ mm}$$

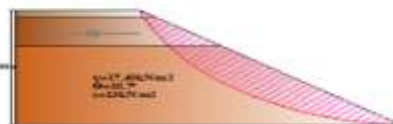
Analisa Stabilitas Lereng. perhitungan faktor keamanan lereng, yaitu dengan: 1) Aplikasi Geo-SLOPE/W; dan 2) Metode Fellenius.

1. Perhitungan Menggunakan SLOPE/W 2007



Dari hasil SLOPE/W 2007 di dapatkan nilai faktor keamanan $F = 0,7$ (Lingkaran merah titik yang ditinjau.) Setelah dilakukan perhitungan ulang nilai faktor keamanan menggunakan SLOPE/W 2007 kondisi lereng tetap labil dimana nilai F kurang dari 1,5, sehingga perlu ditinjau kembali terhadap faktor keamanan kestabilan lereng. Berdasarkan hasil analisa lereng tidak dalam keadaan stabil dan belum aman dari longsor. Selain itu hasil analisa menggunakan Software SLOPE/W 2007 menunjukkan bahwa pada jarak sekitar 5 m dari bibir lereng bagian atas menunjukkan bahwa lereng dapat mengalami keruntuhan. Salah satu penyebab terjadinya keruntuhan di bagian atas bibir lereng diakibatkan hujan yang terjadi di sekitaran lereng, akibat berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air, hal tersebut menyebabkan lereng dilokasi penelitian dapat mengalami kelongsoran.

2. Metode Fellenius.



Tabel. 6 Data Metoda Fellenius

No	panjang Irisan(L)	Luas Irisan(y)	Berat Irisan (wt)	θ	$\sin \alpha$	$\cos \alpha$
1	3,24	1,70	29,58	13	27,21	11,54
2	2,23	4,13	71,86	15	62,52	35,93
3	1,83	5,87	102,14	17	82,73	60,26
4	1,6	7,26	126,15	21	94,61	83,26
5	1,45	8,31	144,42	25	99,77	104,1
6	1,35	8,46	139,55	28	94,21	113,34
7	1,27	8,3	144,42	30	85,21	116,98
	12,97				546,26	525,41

Tabel. 7 Perhitungan FK Metode Fellenius sebelum dan sesudah hujan

No	c	L	y	$\cos \alpha$	$\sin \alpha$	P_e	Sebelum Hujan	Sesudah Hujan
1	13	12,97	13	11,54	27,210	21,23	0,252	0,211
2	13	12,97	13	35,95	62,52	21,23	0,351	0,291
3	13	12,97	13	60,26	82,73	21,23	0,215	0,189
4	13	12,97	13	83,26	94,61	21,23	0,193	0,163
5	13	12,97	13	104,1	99,77	21,23	0,178	0,149
6	13	12,97	13	113,34	94,21	21,23	0,161	0,135
7	13	12,97	13	116,98	85,21	21,23	0,147	0,125
	Jumlah			525,41	546,260			



Grafik perbandingan faktor keamanan metode fellenius

Pembahasan

Longsor merupakan salah satu bencana alam yang sering terjadi pada lereng-lereng alami maupun buatan. Kelongsoran lereng kebanyakan terjadi pada saat musim penghujan. Itu terjadi akibat peningkatan tekanan air pori pada lereng. Hal ini berakibat pada terjadinya penurunan kuat geser tanah (c) dan sudut geser dalam (Θ) yang selanjutnya menyebabkan kelongsoran. Analisis stabilitas lereng mempunyai peran yang sangat penting pada perencanaan konstruksi-konstruksi sipil. Lereng yang tidak stabil sangatlah berbahaya terhadap lingkungan sekitarnya, oleh sebab itu analisis stabilitas lereng sangat diperlukan. Ukuran kestabilan lereng diketahui dengan menghitung besarnya faktor keamanan. Meskipun suatu lereng telah stabil dalam jangka waktu yang lama, lereng tersebut dapat menjadi tidak stabil karena beberapa faktor seperti: a) Jenis dan keadaan lapisan tanah / batuan pembentuk lereng; b) Bentuk geometris penampang lereng (misalnya tinggi dan kemiringan lereng); c) Penambahan kadar air pada tanah (misalnya terdapat rembesan air atau infiltrasi hujan); d) Berat dan distribusi beban; dan e) Getaran atau gempa

Faktor-faktor yang mempengaruhi kestabilan lereng dapat menghasilkan tegangan geser pada seluruh masa tanah, dan suatu gerakan akan terjadi kecuali tahanan geser pada setiap permukaan runtuh yang mungkin terjadi lebih besar dari tegangan geser yang bekerja. (Bowles, 1991)

Perhitungan analisis kestabilan lereng dengan menggunakan program GeoStudio memerlukan data-data yang diketahui lebih dahulu yaitu titik koordinat lereng dan data-data tanah lereng tersebut (c , Θ , γ). Data-data lereng tersebut diperoleh dari hasil penelitian terdahulu. Adapun data lereng Kawasan Malalak KM 31 adalah sebagai berikut:

- Kohesi Tanah (c) = 13 KN/m²
- Berat Isi Tanah (γ) = 17,40 KN/m³
- Sudut Geser Dalam (Θ) = 10,7°

Dari hasil perhitungan komputer menggunakan program Geo Studio menunjukkan nilai Faktor Keamanan dari lereng di kawasan Malalak adalah 0,70, itu berarti lereng di kawasan tersebut dalam kondisi tidak stabil karena memiliki faktor keaman < 1,5. Sedangkan dihitung secara manual menggunakan Metode Fellenius untuk sudut 13, 15, 17, 21, 25, 28 dan 30 sebelum hujan terjadi didapat 0.252, 0.231, 0.215, 0.193, 0.178, 0.161, 0.147, sedangkan sesudah hujan terjadi didapatkan faktor keamanannya yaitu 0.211, 0.201, 0.189, 0.163, 0.149, 0.135, 0.125. Hasil analisa menunjukkan bahwa nilai faktor keamanan yang didapat dari ke dua metode di atas masih dikatakan labil, dimana nilai FK kurang dari 1.5, Semakin besar sudut lereng yang ditinjau maka nilai faktor keamanannya semakin kecil, sehingga perlu ditinjau kembali terhadap faktor keaman kestabilan lereng. Salah satu penyebab terjadinya keruntuhan di bagian atas lereng diakibatkan hujan yang terjadi di sekitaran lereng, akibat berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air, hal tersebut menyebabkan lereng dilokasi penelitian dapat mengalami kelongsoran.

D.Penutup

Berdasarkan hasil variasi intensitas hujan terhadap analisa stabilitas lereng pada Ruas Jalan Sicincin-Malalak dengan menggunakan Aplikasi *Geostudio V* dan *Metode Fellenius*, maka penyusun dapat mengambil beberapa kesimpulan yaitu: 1) Hasil analisis stabilitas lereng tanpa adanya beban, Faktor keamanan dengan menunjukkan lereng tanpa adanya beban dikategorikan aman; 2) Analisis stabilitas pada lereng dengan beban hujan yang sering terjadi, Hasil dari analisis adalah hujan yang sangat berpotensi menyebabkan longsor. Selain dari akibat adanya pengaruh intensitas hujan dan durasi hujan, perubahan dari kestabilan suatu lereng dipengaruhi juga oleh parameter-parameter kuat geser yaitu kohesi dan sudut geser dalam, koefisien permeabilitas serta letak muka air tanah; dan 3) Perbandingan faktor keamanan yang didapatkan menggunakan aplikasi geo-studio yaitu 0,7, sedangkan menggunakan metode fellenius dengan sudut elevasi 13,15,17,21,25,28 dan 30 memiliki faktor keamanan yang berbeda yaitu dibawah 1,5 dan kondisi lereng masih dikatakan labil, dimana nilai FK kurang dari 1.5, semakin besar sudut lereng yang ditinjau maka nilai faktor keamanannya semakin kecil, sehingga perlu ditinjau kembali terhadap factor keamanan kestabilan lereng. Salah satu penyebab terjadinya keruntuhan di bagian atas lereng diakibatkan hujan yang terjadi di sekitaran lereng, akibat berkurangnya kemampuan tanah dalam menyerap air, hal tersebut menyebabkan lereng dilokasi penelitian dapat mengalami kelongsoran.

Daftar Pustaka

- Abramson, L.W., Lee S., Thomas, Sharma Sunil, Boyce M., Glenn (1996). *Slope Stability and Stabilization Methods*, New York: John and Wiley&Sonc, Inc.
- Anderson, M.G., Richard K.S., 1987. *Slope Stability, Geotechnical Engineering and Geomorphology*, John Wiley and Sons.
- D. C Wyllie. & Christopher W. Mah. *Rock Slope Engineering: Civil and Mining. 4rd. (ed)*. New York: Spoon Pres (2004 *GEO-SLOPE International Ltd*).
- Calgary, Alberta, Canada. Online, www.geo-slope.com, Diakses 5 September 2017.
- Karnawati, D. (2001). *Tanah Longsor di Indonesia, Penyebab dan Upaya Mitigasinya, Prosiding Stadium General Pencegahan dan Pengangan Bahaya Tanah longsor, Prosiding Kumpulan Makalah, KMTS UGM, Yogyakarta*.
- M. Prasetya Fauzi.. *Penggunaan Metoda Analitic Hierarchy Process (AHP) Untuk Pemetaan Potensi Longsoran Berdasarkan Kestabilan Lereng Pada Penambangan Terbuka Bukit Karang Putih PT. Semen Padang, FT UNP (2016)*.
- Sri Harto, Br. (2000). *Hidrologi-Teori, Masalah dan Penyelesaian*, Yogyakarta: Nafiri.
- Subiyanti, H., 2007, *Analisa Kelongsoran Lereng Akibat Pengaruh Tekanan Air Pori Di Saluran Induk Kalibawang Kulonprogo, Tesis, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta*.
- Arsyad, S., 2006. *Konservasi Tanah dan Air*. IPB Press, Bogor.
- As-syakur, A.R., 2008b. *Prediksi Erosi dengan Metode USLE dan SIG*, (Online),
- Hakam.A, dkk, (2015), *West Sumatra Landslide During in 2012 to 2015*, *International Journal of Earth Sciences and Engineering* ISSN 0974-5904, Vol. 09, No. 03.