**Pembuatan Prototipe dan Pemodelan Numerik Tiang Kolom Beton
Pada Lereng Tanah Residual Vulkanik Daerah Kubulikujaya,
Lampung Barat*****Prototyping and Numerical Modeling of Concrete Column Pillar
on Kubulikujaya Volcanic Residual Soil Slope, West Lampung***Prahara Iqbal¹, Arifan Jaya Syahbana², Evi Dwi yanti¹, Wisnu S. Priyanto¹¹Loka Uji Teknik Penambangan dan Mitigasi Bencana, Liwa – LIPI, Lampung Barat - Indonesia²Pusat Penelitian Geoteknologi LIPI, Bandung - Indonesia

Naskah diterima 04 Desember 2017, selesai direvisi 27 November 2018, dan disetujui 29 November 2018

e-mail: praharaiqbal123@gmail.com

ABSTRAK

Pembuatan prototipe tiang kolom beton dan pemodelan kestabilan lereng dengan perkuatan tiang kolom beton telah dilakukan. Lereng yang dijadikan model adalah lereng tanah residual vulkanik daerah Kubulikujaya, Lampung Barat. Prototipe kolom beton dibuat melalui pencampuran antara semen, pasir, abu terbang, abu sekam padi, dan air dengan konsentrasi tiap material yang berbeda. Kolom beton dibuat dengan menggunakan tiga formula pencampuran, masing-masing formula dibuat 30 prototipe. Kemudian prototipe diuji kuat tekan, diuji kuat geser, dan dimodelkan kestabilan lerengnya menggunakan kolom beton. Hasil analisis dan pemodelan menggambarkan bahwa faktor keamanan lereng (SF) dapat meningkat akibat pemasangan tiang kolom beton, yaitu dari SF=1,481 ke SF=1,598. Kolom beton yang dapat meningkatkan kuat geser adalah kolom beton formula 3. Konfigurasi tiang kolom beton yang dibutuhkan untuk menaikkan nilai faktor keamanan lereng yang memiliki geometri P x T 36x30 m adalah: tiang per 3 meter horizontal, panjang tiang 10-27 meter, dan dipasang pada bagian atas, tengah, serta bawah lereng.

Kata kunci: kolom beton, Kubulikujaya, pemodelan kestabilan lereng, tanah residual vulkanik

ABSTRACT

Preparation of concrete column pillar prototype and slope stability modeling with concrete column pillar reinforcement have been done. The modeled slope is Kubulikujaya volcanic residual soil slope, West Lampung. The prototype of concrete columns is made through the mixing of cement, sand, fly ash, rice husk ash, and water at the concentrations of each different material. The concrete columns were made using three mixing formulas, which each formula was made 30 prototypes. In order to understand the properties of the prototype, laboratory tests on the unconfined compressive strength and direct shear test are performed, and then modeled the stability of the slope using concrete columns. The results of analysis and modeling illustrate that safety factor (SF) can be increased due to the installation of concrete column pillar; from SF = 1.481 to SF = 1.598. The concrete column which can increase the shear strength is from concrete column formula 3. The concrete column pillar configuration required to raise the value of safety factor that has L x H 36x30 m geometry is: pillars per 3 meters horizontal, 10-27 meter long pillar, and mounted on the top, middle, and bottom of the slope.

Keywords: concrete column, Kubulikujaya, slope stability modeling, volcanic residual soil

PENDAHULUAN

Adanya beban di atas lereng, seperti bangunan, kebun, sawah, atau jembatan serta rembesan air (*seepage*) pada lereng cenderung menyebabkan ketidakstabilan (*instability*) pada lereng (Indrawahyuni drr., 2009). Ketidakstabilan pada suatu lereng dapat menyebabkan peristiwa gerakan tanah yang dapat menimbulkan kerugian baik materi maupun moril. Untuk mencegah terjadinya gerakan tanah dan memperoleh solusi yang aman, maka perlu diadakan investigasi yang cermat terhadap material penyusun lereng, proses ini biasa disebut proses stabilisasi lereng (Basha drr., 2005; Hashim dan Islam, 2008).

Proses stabilisasi lereng merupakan suatu upaya untuk meningkatkan kuat geser tahanan lereng sehingga kegagalan tidak terjadi. Mekanismenya bisa melalui rekayasa struktur (semisal pemancangan tiang, *bor pile*, *retaining wall*), rekayasa hidrologi (semisal pengaturan drainase, pembuatan lapisan

impermeable) dan *treatment* menggunakan bahan kimia atau mikroorganisme biologi dengan tujuan pencampuran tersebut mampu meningkatkan kuat geser (Huat drr, 2004; Liu drr, 2011; Latifi drr, 2017).

Penelitian ini bertujuan untuk menghasilkan tiang kolom beton ringan yang bisa digunakan untuk meningkatkan kuat geser tahanan lereng sehingga stabilitas suatu lereng tercapai yang dilihat dari hasil simulasi menggunakan piranti lunak *finite elemen* (Brinkgreve, 2002).

Lokasi penelitian adalah lereng kupasan yang berada di pinggir Jalur transek lintas barat Liwa – Sumber Jaya, Kabupaten Lampung Barat yang memiliki dimensi PxT (panjang dan tinggi) 36x30 meter (Gambar 1). Pemilihan lereng dilakukan karena di atasnya terdapat bangunan SD Kubulikujaya, Lampung Barat, sementara di bawahnya terdapat jalur lintas barat Sumatra dan perumahan warga. Pengamatan di lapangan terlihat bahwa lereng yang menjadi dudukan sekolah dasar telah mengalami longsor (lihat Gambar 1).

Berdasarkan *Peta Geologi Regional Lembar*

Gambar 1. Lereng lokasi penelitian (A-D)

Kotaagung (Amin dr., 1993) dan *Peta Geologi rinci daerah Liwa dan sekitarnya* (Koswara dan Santoso, 1995) lokasi penelitian terletak di Formasi Gunungapi Sekincau (Qhv) berumur Kuartar (Gambar 2). Dari pengamatan di lapangan dan kajian pustaka diketahui bahwa lereng lokasi penelitian adalah lereng homogen yang tersusun oleh tanah lempung lanauan, memiliki karakteristik berwarna coklat kemerahan hingga merah kecoklatan, lepas-lepas ketika kondisi kering, dan lengket ketika kondisi basah. Tanah tersebut merupakan tanah residual vulkanik (Neall, 2005; Wesley, 2010; Avsar dr., 2015; Iqbal dr., 2017). Tabel 4 memperlihatkan bahwa tanah penyusun lereng lokasi penelitian memiliki batas cair yang tinggi dan termasuk kedalam jenis tanah plastisitas tinggi (CH) (USCS). Menurut Wesley (1977), tanah dengan plastisitas tinggi memiliki kekuatan yang rendah, sementara Silvianengsih dr. (2016) mengamati bahwa lereng yang disusun oleh tanah dengan batas cair $> 40\%$ maka akan memiliki perilaku keteknikan yang kurang baik. Lereng tersebut akan rawan longsor ketika hujan.

METODE PENELITIAN

Untuk memperoleh data penelitian ini, dilakukan pemetaan geologi lereng, analisis mekanika tanah (laboratorium), pembuatan prototipe (kolom beton), analisis kuat tekan dan kuat geser prototipe, serta pemodelan kestabilan lereng. Pemetaan geologi lereng meliputi pengamatan lereng menggunakan drone, pengukuran geometri lereng, pengamatan jenis tanah penyusun lereng, pengambilan sampel tanah terganggu serta sampel tanah tak terganggu menggunakan tabung sampel. Kemudian sampel tanah terganggu dan tak terganggu yang diperoleh dari lokasi penelitian diuji di laboratorium untuk mendapatkan data tentang sifat fisik dan sifat keteknikannya. Beberapa parameter sifat fisik dan teknik yang diuji di laboratorium (ASTM 1992) adalah: ukuran butir (ASTM D422-63, Standard Test Method for Particle Size Analysis of Soils), berat isi tanah (ASTM ASTM 2216-98), dan kuat geser tanah (ASTM D 4767-02, Triaxial Consolidated Undrained Test). Langkah selanjutnya adalah pembuatan prototipe kolom

Gambar 2. Peta geologi regional daerah penelitian

beton. Kolom beton dibuat berdasarkan prototipe yang pernah dibuat oleh Hashim dan Islam (2008) dan sesuai dengan SNI 03-2848-1992 tentang Tata Cara Pembuatan Benda Uji di Laboratorium Mekanika Batuan. Kolom beton yang dibuat adalah benda uji berukuran DxT (diameter x tinggi) 15x30 cm menggunakan alat cetak paralon 6 inci (Gambar 3). Alasan pemilihan alat cetak paralon 6 inci adalah agar ketika prototipe sudah jadi mudah dibawa dan agar mencukupi kebutuhan bahan untuk uji di laboratorium mekanika batuan. Jumlah kolom beton yang dibuat sebanyak 27 buah. Kolom beton dibuat melalui tiga formula persentase dan perbandingan pencampuran antara air, pasir, semen, abu terbang, dan abu sekam padi. Masing-masing formula dibuat 9 prototipe kolom beton (justifikasi penulis). Volume setiap material pencampur disesuaikan dengan volume alat cetak paralon (15x30 cm). Prototipe kolom beton yang sudah jadi dianalisis di laboratorium Balai Besar dan Bahan Teknik (B4TK), Bandung, untuk uji kuat tekan, dan laboratorium Geomekanik Universitas Islam Bandung (UNISBA), untuk uji kuat geser langsung. Uji kuat tekan dilakukan dengan menggunakan mesin tekan (compression machine) untuk mendapatkan nilai kuat tekan. Mesin tersebut akan menekan sampel uji yang berbentuk silinder dari satu arah (uniaxial) (SNI 2825:2008). Sementara uji kuat geser langsung dilakukan dengan menggunakan kotak uji geser yang akan menghasilkan nilai kohesi dan sudut geser dalam (SNI 2824:2011). Data yang telah didapatkan di laboratorium mekanika tanah dan mekanika batuan dijadikan input utama untuk pemodelan kestabilan lereng. Pemodelan kestabilan lereng dilakukan menggunakan bantuan perangkat lunak PLAXIS. Perangkat lunak ini menggunakan dasar perhitungan finite element dengan pertimbangan keleluasaan dalam pengamatan gaya atau deformasi tiap titik yang akan ditinjau dan prediksi model kegagalan lereng (Tohari dan Syahbana, 2017). Model geometri lereng yang dibuat pada simulasi ini terdiri dari beberapa nodal segitiga. Setiap nodal memiliki nilai parameter intrinsik dan dapat dikorelasikan dengan gaya dan deformasi yang terjadi, termasuk di dalamnya dapat diketahui nilai faktor keamanan pada kasus kestabilan lereng (Brinkgreve, 2002). Perhitungan kestabilan lereng menggunakan formula pengurangan kekuatan geser tanah, atau sering dikenal dengan phi/c reduction. Persamaan dapat dilihat pada persamaan (1).

$$SF = \frac{c - \sigma_n \tan \phi}{c_r - \sigma_n \tan \phi_r} \dots\dots\dots(1)$$

Dengan: c dan ϕ adalah parameter tanah (kohesi (kPa) dan sudut internal ($^\circ$), σ_n adalah tegangan normal (kPa) yang terjadi pada titik tersebut dan notasi r menandakan reduksi. Reduksi ini dikontrol oleh nilai perbandingan kohesi atau sudut internal yang dimasukkan secara manual.

Pemodelan kestabilan lereng dilakukan dalam dua tahap, yaitu kondisi kestabilan lereng alami dan pemodelan kestabilan lereng dengan perkuatan kolom beton. Penjelasan lebih rinci dijelaskan pada bab selanjutnya.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Prototipe kolom beton dibuat dengan menggunakan formulasi persentase dan perbandingan antara air, pasir, semen, abu terbang (*fly ash*), dan abu sekam padi sebagaimana tersaji pada Tabel 1. Pemilihan abu terbang dan abu sekam padi sebagai bahan pencampur adalah agar kolom beton lebih ringan dan meningkatkan properti tegangan – regangan (peningkatan kekuatan didapatkan dari pengisian pori-pori prototipe karena ukuran partikelnya yang kecil dan ringan, proses tersebut mengakibatkan peningkatan kerapatan dan kuat geser prototipe (Dermatas dan Meng, 2003).

Prototipe kolom beton formula 1 (satu) dibuat pada hari Selasa, 17 Mei 2016, Jam 09.23 WIB, pada temperatur 24,1 derajat celcius. Sementara formula 2 (dua) dan 3 (tiga) dibuat di hari Rabu, 18 Mei 2016, Jam 08.00 WIB, pada temperatur 28,6 derajat celcius (Gambar 3). Prototipe dibuat dengan cara mencampur dan mengaduk seluruh material campuran selama 2 menit (Gambar 4).

Tabel 1. Persentase dan perbandingan formula prototipe kolom beton

Prototipe 1:

Pasir 25% + Air 22-30% + Binder 45-55% (Semen 55% + *Fly ash* dan Abu Sekam Padi 22,5%)

Prototipe 2:

Pasir 25% + Air 25-30% + Binder 45-50% (Semen 65% + *Fly ash* dan Abu Sekam Padi 17,5%)

Prototipe 3:

Pasir 25% + Air 25% + Binder 50% (Semen 75%
+ *Fly ash* dan Abu Sekam Padi 12,5%)

Gambar 3. Prototipe kolom beton

Gambar 4. Proses pencampuran material prototipe kolom beton

Berdasarkan hasil pengujian kolom beton di laboratorium B4TK Bandung, didapatkan nilai kuat tekan setiap kolom beton dari setiap formula (Tabel 2). Nilai kuat tekan kolom beton berkisar dari 3 Mpa sampai dengan 17 Mpa. Nilai kuat tekan formula 1 berkisar dari 3 Mpa sampai dengan 10 Mpa. Nilai kuat tekan formula 2 berkisar dari 6 Mpa sampai dengan 13 Mpa. Nilai kuat tekan formula 3 berkisar dari 6 Mpa sampai dengan 17 Mpa. Dengan kata lain nilai kuat tekan kolom beton formula 3 adalah nilai kuat tekan terbesar. Berdasarkan rumus empiris persamaan (2) untuk mendapatkan modulus elastisitas, maka didapatkan

nilai modulus elastisitas masing masing kolom beton dari setiap formula (Tabel 3).

$$E=4700\sqrt{f_c} \dots\dots\dots (2)$$

Dengan: E adalah modulus elastisitas (MPa) dan f_c adalah kuat tekan beton (MPa).

Tabel 2. Nilai kuat tekan kolom beton setiap formula

Kode	FC (Mpa)	Kode	FC (Mpa)	Kode	FC (Mpa)
1.1	9,790	2.1	13,030	3.1	16,280
1.2	9,300	2.2	6,750	3.2	17,100
1.3	3,350	2.3	11,130	3.3	9,739
1.4	9,533	2.4	10,048	3.4	10,100
1.5	8,935	2.5	12,622	3.5	10,050
1.6	8,245	2.6	11,540	3.6	13,913
1.7	9,585	2.7	9,220	3.7	10,048
1.8	6,440	2.8	8,245	3.8	6,957
1.9	10,306	2.9	10,615	3.9	11,852

Tabel 3. Nilai modulus elastisitas kolom beton

Kode	Modulus Elastisitas (Mpa)	Kode	Modulus Elastisitas (Mpa)	Kode	Modulus Elastisitas (Mpa)
1.1	14705,819	2.1	16965,633	3.1	18963,787
1.2	14333,074	2.2	12210,958	3.2	19435,509
1.3	8602,412	2.3	15679,978	3.3	14667,464
1.4	14511,512	2.4	14898,333	3.4	14936,834
1.5	14048,991	2.5	16697,903	3.5	14899,815
1.6	13495,631	2.6	15966,170	3.6	17531,063
1.7	14551,036	2.7	14271,293	3.7	14898,333
1.8	11927,263	2.8	13495,631	3.8	12396,779
1.9	15088,391	2.9	15312,914	3.9	16180,565

Berdasarkan tabel nilai modulus elastisitas maka dapat diketahui rentang nilai modulus elastisitas setiap formula. Formula 1 memiliki rentang nilai modulus elastisitas dari 8600 Mpa sampai dengan 15000 Mpa. Formula 2 memiliki rentang nilai modulus elastisitas dari 12000 Mpa sampai dengan 16900 Mpa. Formula 3 memiliki rentang nilai modulus elastisitas dari 12300 Mpa sampai dengan 19400 Mpa. Formula 3 merupakan formula dengan

nilai modulus elastisitas tertinggi.

Formula ketiga (3) adalah formula kolom beton dengan parameter teknik terbaik, karena memiliki

Gambar 5. Hasil analisis kuat geser kolom beton

nilai kuat tekan dan modulus elastisitas terbesar. Hal tersebut dikarenakan formula ketiga memiliki kandungan semen, *fly ash*, dan abu sekam padi yang relatif seimbang dari formula lainnya, sehingga semua material merekat dengan baik, hal yang sama diungkapkan oleh Dermatas dan Meng, 2003. Melalui formula ketiga (3) yang menghasilkan kuat tekan terbesar dan nilai modulus elastisitas tertinggi, dibuatlah 3 (tiga) buah prototipe kolom beton lagi untuk dilakukan pengujian kuat geser di laboratorium Geomekanik, Universitas Islam Bandung, dengan hasil sebagai berikut:

Berdasarkan uji kuat geser (Gambar 5), kolom beton formula ke 3 (tiga) mempunyai nilai kohesi sebesar 0,39 Mpa dan memiliki sudut geser dalam

26,10 derajat. Setelah diuji, kemudian dilakukan pemodelan kestabilan lereng. Pemodelan dilakukan melalui dua tahap, yaitu pemodelan kestabilan lereng alami dan pemodelan kestabilan lereng perkuatan kolom beton. Simulasi kestabilan lereng tanah asli bertujuan untuk mengetahui mekanisme longsoran lereng yang ada. Berdasarkan data geometri dan laboratorium (Tabel 4), diperoleh hasil seperti Gambar 6. Penampang lereng dibuat berlapis-lapis sesuai identifikasi adanya longsoran pada permukaan lereng dengan kedalaman bidang gelincir sedalam 1-2 m dari permukaan lereng.

Selanjutnya dilakukan pemodelan kestabilan lereng dengan perkuatan kolom beton. Tahap ini dilakukan untuk mengetahui perubahan yang dihasilkan apabila lereng ditambah dengan tiang kolom beton dengan properti seperti yang disajikan pada Tabel 5. Pemasangan tiang kolom beton dengan konfigurasi tiang per 3 meter horizontal, panjang tiang 10-27 meter, dan dipasang pada bagian atas, tengah, serta bawah lereng. Berdasarkan data Tabel 5, maka hasil simulasi ditampilkan pada Gambar 7 dan 8.

Tabel 5. Properti kolom beton (transformasi lingkaran ke planar)

Panjang (m)	Spasi (m)	b (m)	h (m)	I (m ⁴)	EA (kN)	EI (kNm ²)	w (kN/m ²)
Bervariasi (menembus bidang longsor)	3	0.010	1	9.56984 E-08	1.55E+05	1.42E+00	0.251

Tabel 4. Properti tanah

Tanah	Liquid Limit (%)	Plastic Limit (%)	Plasticity Index (IP) (%)	γ (kN/m ³)	γ ^{sat} (kN/m ³)	E (kPa)	Einc (kPa/m)	c (kPa)	φ (°)
Silty Clay	121,17	86	35,17	16,87	17,5	2,82x10 ⁴	2003 Mulai kedalaman 6 m	17,71	24,72
Sliding Zone	121,17	86	35,17	16,87	17,5	2,82x10 ⁴	2003 Mulai kedalaman 6 m	2,25	24,50

Gambar 6. a) Model kegagalan lereng pada lereng asli

Gambar 8. Total increment pada lereng, menunjukkan tiang memotong bidang longsoran

Gambar 6. b) Total displacement, dengan displacement terbesar 2,53 mm, SF=1,481

Gambar 7. Total displacement, dengan displacement terbesar 2,7 mm, SF=1,598

Dari Gambar 7 tampak bahwa tidak ada perubahan yang signifikan pada sisi *Total displacement*, akan tetapi menaikkan SF (Faktor Keamanan). Dari Gambar 7 dan Gambar 8 dapat diprediksi model longsoran yang dominan akan terjadi, hal ini

dapat dilakukan dengan mengamati model pada fase perhitungan angka aman dengan mode *total increment*. Jika diamati pada Gambar 8, maka tiang kolom beton akan memberikan kontribusi kenaikan SF (faktor keamanan) jika panjangnya mencapai 20 m pada bagian atas, 27 m pada bagian tengah, dan 10 m pada bagian kaki lereng. Hal ini karena tiang akan membantu peningkatan kuat geser yang berada di bidang gelincir (kedalaman pada bagian tengah longsoran mencapai 20 m). Apabila dalam pemodelan menggunakan tiang dengan kedalaman kurang dari 10 m hasilnya akan berbeda.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan simulasi, faktor keamanan lereng (SF) dapat meningkat akibat pemasangan tiang kolom beton, yaitu dari SF=1,481 ke SF=1,598. Konfigurasi tiang kolom beton yang dibutuhkan untuk menaikkan nilai faktor keamanan lereng yang memiliki geometri PxT 36x30 m adalah: tiang per 3 meter horizontal, panjang tiang 10-27 meter, dan dipasang pada bagian atas, tengah, serta bawah lereng. Namun hasil studi kolom beton menggambarkan bahwa masih ada yang harus dipertimbangkan dan dikaji, yaitu gaya horizontal, ketahanan akibat momen lentur horizontal, dan nilai ekonomi kolom beton per tiangnya. Selain itu, berdasarkan pengamatan di lapangan dan data yang ada, faktor keamanan lereng (SF) tergolong masih tinggi (1,48), hal ini disebabkan karena properti tanah pada lereng termasuk kuat. Adapun jika terjadi longsoran lebih ke arah erosi sampai dengan longsoran dangkal. Dengan demikian, perlu dikaji ulang teknik perekayasa lereng yang

lebih efektif dan efisien.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terlaksananya kegiatan penelitian ini, penulis mengucapkan terima kasih kepada rekan-rekan tim penelitian yang telah memberikan saran sehingga tulisan ilmiah ini dapat diselesaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Amin, T.C., Sidarto, Santosa, S., dan Gunawan, W., 1993. *Peta Geologi Lembar Kotaagung, Sumatera*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- Anonim, 1992. *Tata Cara Pembuatan Benda Uji di Laboratorium Mekanika Batuan*. SNI 03-2848-1992, BSNI
- Anonim, 2008. *Cara uji kuat tekan batu uniaksial*. SNI 2825:2008, BSNI
- Anonim, 2011. *Cara Uji Geser Langsung Batu*. SNI 2824:2011, BSNI
- ASTM, 1992. *Standard Test Methods for Classification of Soils for Engineering Purposes*, 1992 Annual Books of ASTM Standards, vol. 04-08. ASTM, Philadelphia, PA, pp. 326– 336. Section 4, Philadelphia.
- Avsar, E., Ulusay, R., dan Mutluturk, M., 2015. An experimental investigation of the mechanical behavior and microstructural features of a volcanic soil (Isparta, Turkey) and stability of cut slopes in this soil. *Engineering Geology*, 189, p. 68 - 83, Elsevier.
- Basha, E.A., Hashim, R., Mahmud, H.B., dan Muntohar, A.S., 2005. Stabilization of residual soil with rice husk ash and cement. *Construction and Building Materials*, Elsevier, 19, p. 448-453.
- Brinkgreve, R.B.J., 2002. *Reference Manual V8, Manual Plaxis*. A.A Balkema Publishers, The Netherlands.
- Dermatas, D., Meng, X.G., 2003. Utilization of fly ash for stabilization solidification of heavy metal contaminated soils. *Engineering Geology*. 70, p. 377–394.
- Hashim, R., and Islam, Md. S., 2008. Properties of stabilized peat by soil-cement column method. *EJGE*, 13, Bundle j.
- Huat, B.B.K., Sew, G.S., dan Ali, F.H., 2004. *Tropical Residual Soils Engineering*. Balkema Publishers.
- Indrawahyuni, H., Munawir, A., dan Damayanti, I., 2009. Pengaruh variasi kepadatan pada permodelan fisik menggunakan tanah pasir berlempung terhadap stabilitas lereng. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 3, p. 192-208.
- Iqbal, P., Mulyono, A., Syahbana, A.J., 2017. Kestabilan Lereng Kupasan Tanah Vulkanik, Segmen L-15 Dan L-28, Pada Jalur Lintas Barat Liwa – Bukit Kemuning, Lampung Barat, *Jurnal Lingkungan dan Bencana Geologi*. 8, No. 2, p. 71 – 78.
- Latifi, N., Eisazadeh, A., Marto, A., dan Meehan, C.L., 2017. Tropical residual soil stabilization: a powder form material for increasing soil strength. *Construction and Building Materials*, Elsevier, 147, p. 827-836.
- Liu, J., Shi, B., Jiang, H., Huang, He., Wang, G., dan Kamai, T., 2011. Research on the stabilization treatment of clay slope top soil by organic polymer soil stabilizer. *Engineering Geology*, Elsevier, 117, p. 114-120.
- Neall, V.E., 2005. *Land Use, Land Cover, and Soil Sciences: Volcanic Soils*. VII.
- Silvianengsih, Liliwarti, dan Satwarnirat, 2016. Pengaruh kadar air terhadap kestabilan lereng (Kampus Politeknik Negeri Padang). *National Conference of Applied Sciences, Engineering, Business and Information Technology*, Politeknik Negeri Padang, p. 369-379.
- Tohari, A., dan Syahbana, A. J., 2017. Rain-induced failure of railway embankment at double track lane at Bogor and its countermeasure. *Workshop on World Landslide Forum*, Springer, p. 577-586.
- Wesley, L.D., 1977. *Mekanika Tanah*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Wesley, L.D., 2010. *Fundamentals of Soil Mechanics for Sedimentary and Residual Soils*. John Wiley and Sons.