

Simulasi Model Material Tanah Pada Bidang Gelincir Longsor Dengan Variasi Sudut Kemiringan (Studi Kasus Material Tanah di Daerah Kabupaten Gorontalo Utara)

Rabiyatul Hajar S. Saleng^{(1,a)*}, Asri Arbie^(1,b) dan Dewa Gede Eka Setiawan^(2,c)

Program Studi Fisika, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia, 96112

Email : ^(a*)rabiyatulhajar51@gmail.com,

Diterima (08 Februari 2023), Direvisi (01 September 2023)

Abstract. Landslides are one of the geological disasters that often occur in Indonesia. North Gorontalo is an area where landslides occur every year. Based on data from the 2022 Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD), in the last year, there were 8 landslides. Landslides can occur due to several factors, namely; human factors and natural factors. In principle, landslides occur when the restraining force is less than the driving force. In this study a landslide simulation will be carried out using a simulation model made on a lab scale, the size of the simulation model is 40 cm x 30 cm x 25 cm. The simulation was carried out using soil samples taken at the research location. Variables that were observed during the simulation were the effect of the slope angle ($^{\circ}$) on the exciting water (ml), the water infiltration time (t), and the effect of the slope ($^{\circ}$) on the depth of the slip plane (cm). The soil taken from the research location will be subjected to a sieving analysis test with a hydrometer test to determine the texture class of the soil. From the soil texture test results, some of the research locations have a sand-gravel type of texture. The simulation test carried out also obtained the result that the slope of the slope greatly influences the water infiltration time with the depth of the slip plane. The greater the angle of the slope of the sled that is carried out, the results of the variable being measured will also be directly proportional.

Keywords: landslide simulation model, tilt angle, Gorontalo Utara

Abstrak. Tanah longsor merupakan salah satu bencana geologi yang sering terjadi di Indonesia. Di daerah Gorontalo Utara merupakan daerah yang setiap tahunnya terjadi longsor. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) 2022 pada satu tahun terakhir terdapat 8 kejadian tanah longsor. Tanah longsor dapat terjadi dikarenakan adanya beberapa faktor yaitu; faktor manusia dan faktor alam. Pada prinsipnya tanah longsor terjadi apabila gaya penahan lebih kecil dari gaya penggeraknya. Pada penelitian ini akan dilakukan simulasi dari tanah longsor menggunakan model simulasi yang dibuat dengan skala lab, ukuran dari model simulasi ialah 40 cm x 30 cm x 25 cm. Simulasi dilakukan dengan menggunakan sampel tanah yang diambil pada lokasi penelitian. Variabel yang diamati ketika dilakukan simulasi yaitu pengaruh kemiringan sudut ($^{\circ}$) terhadap air yang keluar (ml), waktu peresapan air (t), dan pengaruh kemiringan ($^{\circ}$) terhadap kedalaman bidang gelincir (cm). Tanah yang diambil pada lokasi penelitian akan dilakukan uji analisis saringan dengan uji hydrometer untuk menentukan kelas tekstur tanah. Dari hasil uji tekstur tanah sebagian lokasi penelitian memiliki jenis tekstur pasir kerikil. Uji simulasi yang dilakukan juga mendapatkan hasil bahwa kemiringan lereng sangat berpengaruh terhadap waktu peresapan air dengan kedalaman bidang gelincir. Semakin besar sudut dari kemiringan kereng yang divariasikan maka hasil dari variabel yang diukur juga akan mendapatkan nilai yang berbanding lurus.

Kata kunci: longsor, model simulasi, kemiringan sudut, Gorontalo Utara

PENDAHULUAN

Tanah longsor adalah bencana alam yang mengakibatkan hilangnya nyawa manusia dan menyebabkan kerusakan luas pada properti dan infrastruktur. Tanah longsor secara umum mencakup semua gerakan ke bawah atau tiba-tiba material permukaan seperti tanah liat, pasir, kerikil dan batu. Tanah longsor merupakan salah satu bencana utama yang merusak di daerah pegunungan, yang diaktifkan karena pengaruh gempa bumi dan curah hujan [1].

Kedalaman bidang gelincir penting untuk diketahui karena dapat mengetahui seberapa besar resiko longsor yang terjadi. Semakin dalam bidang gelincir, tingkat bahaya longsor akan semakin besar, sebaliknya semakin dangkal bidang gelincir, tingkat bahaya longsor semakin kecil. Bila diukur dari permukaan terdapat 4 kelas kedalaman bidang gelincir, yaitu sangat dangkal (20 m) [2].

Potensi longsor terjadi apabila memenuhi tiga syarat, yaitu: lereng cukup curam, memiliki bidang luncur berupa lapisan di bawah permukaan tanah yang semi permiabel dan lunak, terdapat cukup air untuk menjenuhi tanah diatas bidang luncur. Tanah longsor didefinisikan sebagai gerakan massa batuan atau bawah permukaan lereng yang dapat dipicu oleh berbagai faktor eksternal seperti curah hujan yang intens, gempa bumi, perubahan tingkat air dan erosi sungai yang dapat menyebabkan peningkatan dalam tegangan geser atau penurunan kekuatan geser dari material lereng [2]

Pada umumnya tanah longsor banyak terjadi pada daerah yang memiliki topografi terjal dengan sudut lereng $15 - 45^\circ$. Pada musim hujan, perubahan tegangan permukaan dalam pori tanah dan peningkatan bobot massa tanah akibat dari air yang meresap ke dalam tanah dapat

memicu perpindahan (ketidakstabilan gravitasi). Ketidakstabilan gravitasi dapat terjadi pada suatu daerah yang memiliki bidang gelincir pada struktur bawah permukaan [3]

Salah satu faktor penyebab terjadi tanah longsor yang sangat berpengaruh adalah bidang gelincir atau bidang geser. Bidang gelincir merupakan bidang yang menjadi landasan Bergeraknya massa tanah. Bidang gelincir merupakan bidang yang kedap air dan licin. Bidang gelincir dibedakan menurut bentuknya yaitu rotasi dan translasi [4]

Kedalaman bidang gelincir penting untuk diketahui karena dapat mengetahui seberapa besar resiko longsor yang terjadi. Semakin dalam bidang gelincir, tingkat bahaya longsor akan semakin besar, sebaliknya semakin dangkal bidang gelincir, tingkat bahaya longsor semakin kecil. Bila diukur dari permukaan terdapat 4 kelas kedalaman bidang gelincir, yaitu sangat dangkal (20 m) [5]

Faktor penyebab tanah longsor yaitu akibat meluncurnya suatu tanah di atas suatu lapisan kedap air yang jenuh air. Lapisan tersebut mengandung kadar liat (*clay*) atau batuan tinggi/tebal dan setelah jenuh air akan berfungsi sebagai peluncur. Batuan yang tidak tembus air dapat menciptakan bidang luncur terhadap tanah. Air yang masuk ke dalam tanah tidak dapat menembus lapisan batuan (kedap air) dan akan mengalir/menyebar secara lateral, sehingga ketika terjadi hujan airnya akan mengakibatkan permukaan menggelincir dan jika gelincir tidak kuat menahannya akibatnya terjadilah longsor tanah di atas lapisan liat atau batuan tersebut. Gerakan tanah ataupun longsor akan dikategorikan sebagai bencana apabila terjadi pada daerah yang dihuni oleh manusia atau pada daerah tempat kegiatan manusia. Jadi aspek kehadiran manusia atau terpengaruhnya

aktivitas manusia sangat penting dalam menetapkan apakah suatu gerakan tanah atau longsor dianggap sebagai bencana atau tidak. Longsor yang terjadi menimbulkan dampak yang mempengaruhi kehidupan manusia, salah satunya adalah rusaknya penggunaan lahan karena tertimbun oleh material longsor. Akibat lanjutannya adalah kegiatan masyarakat akan terganggu dan menimbulkan kerugian tidak hanya material, tetapi juga non material, seperti kematian. Kejadian longsor yang seringkali mengakibatkan jatuhnya korban jiwa karena terjadi secara tiba tiba sehingga penduduk yang tertimpa longsor tidak dapat melarikan diri [6].

Bencana longsor sendiri terjadi karena adanya dua faktor, yaitu faktor alam dan faktor manusia. Faktor alam yang menyebabkan terjadinya longsor antara lain curah hujan, kemiringan lereng, dan kondisi tanah, sedangkan faktor manusia disebabkan oleh aktivitas manusia dalam hal pemanfaatan tanah yang kurang memperhatikan keterbatasan kondisi fisik wilayahnya. Tanah longsor terjadi karena dua faktor utama yaitu faktor pengontrol dan faktor pemicu. Faktor pengontrol adalah faktor-faktor yang memengaruhi kondisi material itu sendiri seperti kondisi geologi, kemiringan lereng, litologi, sesar dan kekar pada batuan. Faktor pemicu adalah faktor yang menyebabkan bergeraknya material tersebut seperti curah hujan, gempa bumi, erosi kaki lereng dan aktivitas manusia [7]

Berat sistem tanah yang berpotensi longsor dapat diestimasi dari hasil penyelidikan tanah pada lereng. Gaya-gaya rembesan oleh aliran air di dalam tanah, merupakan hal yang paling sulit diidentifikasi. Tekanan air yang berkembang dalam lapisan lolos air atau retakan yang terletak di belakang tanah yang berpotensi longsor, dapat juga menimbulkan gaya tambahan yang menyebabkan kelongsoran. Pengaruh gaya gempa pada terjadinya

longsor juga sulit diperkirakan. Variabel utama yang mendefinisikan gaya-gaya yang menyebabkan kelongsoran adalah sudut kemiringan bidang longsor potensial, jika sudutnya lebih besar maka potensi longsor lebih besar. Permukaan bidang longsor ini sangat sulit ditentukan secara tepat dari penyelidikan lokasi [8].

Penurunann tahanan geser tanah pembentuk lereng terjadi akibat kenaikan air, kenaikan tekanan air pori, tekanan rembesan oleh genangan air di dalam tanah, tanah pada lereng mengandung lempung yang mudah mengembang dan lain-lain. *Coulomb* (1776) mendefinisikan gaya (f) sebagai :

$$\tau = c + (\sigma - u)\tan\phi$$

Dengan : τ = kuat geser tanah (kN/m^2)

c = kohesi tanah (kN/m^2)

σ = tegangan normal (kN/m^2)

u = tekanan air pori (kN/m^2)

ϕ = sudut gesek dalam tanah ($^\circ$)

Penyebab terjadinya longsor pada lereng secara mekanik dapat dipahami dengan pendekatan prinsip kestabilan lereng. Dengan prinsip ini akan diketahui gaya-gaya apa saja yang mengontrol kestabilan suatu lereng. Kestabilan pada lereng ditentukan oleh gaya-gaya yang berusaha melongsorkan (*driving forces*) tanah atau batuan dan gaya-gaya yang berusaha mempertahankan (*resisting forces*) tanah atau batuan itu tetap pada posisinya. Besarnya kuat geser tanah atau batuan dikontrol oleh kohesi (c) dan sudut gesek dalam antara partikel-partikel penyusun tanah atau batuan (ϕ). Besarnya nilai kohesi tergantung pada kekuatan ikatan antara atom-atom atau molekul-molekul penyusun partikel-partikel tanah atau batuan ataupun tergantung pada kekuatan sementasi antar partikel-partikel tanah atau batuan. Sudut gesek dalam merupakan nilai yang

mengekspresikan kekuatan friksi antara partikel-partikel penyusun tanah atau batuan. Kestabilan suatu lereng yaitu perbandingan antara gaya-gaya penahan longsor dan gaya-gaya penyebab longsor, atau dapat dirumuskan sebagai berikut :

$$FK = \frac{\text{Gaya penahan longsor}}{\text{Gaya Penyebab longsor}}$$

FK merupakan faktor kesamaan (*factor of safety*) yang menggambarkan kondisi suatu lereng. Lereng dalam kondisi tidak stabil atau telah longsor, jika $FK < 1$ [9]

Pada penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh Oktafiani *et al.* (2022), mereka mendapatkan hasil yang menunjukkan bahwa kemiringan lereng dan kemiringan lereng berpengaruh signifikan terhadap waktu dan volume longsor. Semakin besar kemiringan lereng maka longsor lebih cepat terjadi pada waktu terjadinya longsor dan semakin besar volume longsor[12]

Dalam penelitian sebelumnya jenis parameter yang diukur ialah waktu terjadinya longsor dengan menghubungkan volume dari longsor yang terjadi. Sehingga dalam penelitian ini uji terhadap model simulasi longsor dengan menambahkan beberapa parameter yang berbeda terhadap penelitian sebelumnya yaitu dengan melihat; waktu meresap air (t) pada material tanah, pengaruh kedalaman bidang gelincir pada kemiringan sudut ($^{\circ}$) lereng, serta menganalisis jenis karakteristik dari setiap material yang berada pada lokasi longsor

METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode deskriptif analisis dengan pendekatan kuantitatif, yaitu observasi atau peninjauan lokasi penelitian, setelah dilakukan observasi maka dilakukan pengolahan data yang kemudian diolah dan

dianalisis untuk diambil kesimpulan dengan cara observasi yaitu suatu cara pengumpulan data dengan mengadakan pengamatan langsung terhadap suatu objek dalam suatu periode tertentu dan mengadakan pencatatan secara sistematis tentang hal-hal tertentu yang diamati. Penelitian ini diawali dengan peninjauan lokasi dengan tujuan untuk mendapatkan lokasi penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian dan juga melakukan peninjauan titik longsor sampel. Penentuan ini berdasarkan karakteristik biogeofisiknya. Pada penentuan lokasi telah ditentukan 10 titik lokasi tempat pengambilan sampel yaitu yang berada di Kabupaten Gorontalo Utara. Pengambilan sampel di Kabupaten Gorontalo Utara dilakukan di tempat yang memiliki kemiringan lereng serta telah terjadi longsor maupun belum terjadi longsor.

Sampel tanah diambil di 10 (sepuluh) titik lereng yang telah terjadi longsor maupun belum terjadi longsor, lokasi pengambilan sampel yaitu sepanjang jalan Trans Sulawesi Kabupaten Gorontalo Utara, dengan posisi letak koordinat terletak pada $0^{\circ}41'00''$ - $1^{\circ}15'00''$ LU dan $122^{\circ}00'00''$ - $125^{\circ}14'00''$ BT. Kemudian sampel berupa tanah yang akan di lakukan pengujian laboratorium. Pengambilan sampel tanah dilakukan dengan mengambil sampel pada tanah yang belum terjadi longsor dan yang telah terjadi longsor. Untuk proses analisis dilakukan di Laboratorium Fisika Material Universitas Negeri Gorontalo untuk mengetahui tekstur dan struktur tanah pada lokasi longsor. Jenis pengujian sifat fisis meliputi : pengujian berat jenis, berat volume tanah, pengujian batas-batas konsistensi tanah (*Atterberg Limit*), pengujian analisis saringan serta pengujian di lapangan adalah pengujian kedalaman muka air tanah, kemiringan sudut lereng, tinggi lereng, dan koordinat GPS lereng.

Pada pengujian sampel tanah dilakukan dengan menggunakan 3 perlakuan yaitu: Berat jenis partikel dihitung berdasarkan pengukuran massa dan volume partikel tanah. Massa padatan tanah ditentukan dengan cara menimbang contoh tanah kering oven (105°C , selama 24 jam). Volume partikel dihitung dari massa dan berat jenis zat cair yang dipisahkan oleh partikel tanah (metode piknometer). Menentukan distribusi ukuran butir-butir untuk tanah yang tidak mengandung butir tanah tertahan oleh saringan no. 200.

Pengujian ini dilakukan dengan analisa sedimen menggunakan *hydrometer*. Pengujian analisis saringan bertujuan untuk menentukan persentase ukuran butir tanah pada benda uji yang tertahan saringan no. 200 dan untuk menentukan pembagian butiran (gradasi) agregat halus dan agregat kasar. Sampel tanah yang digunakan dalam pengujian analisa saringan sampel 1 dan 2 masing-masing dengan berat 1000 gr [10].

Contoh tanah yang diambil sebagai benda uji disaring melewati satu unit saringan standar yang terdiri dari beberapa buah saringan. Berat tanah yang tertinggal pada masing-masing saringan ditimbang kemudian dicari persentase berat kumulatif pada tiap saringan [11].

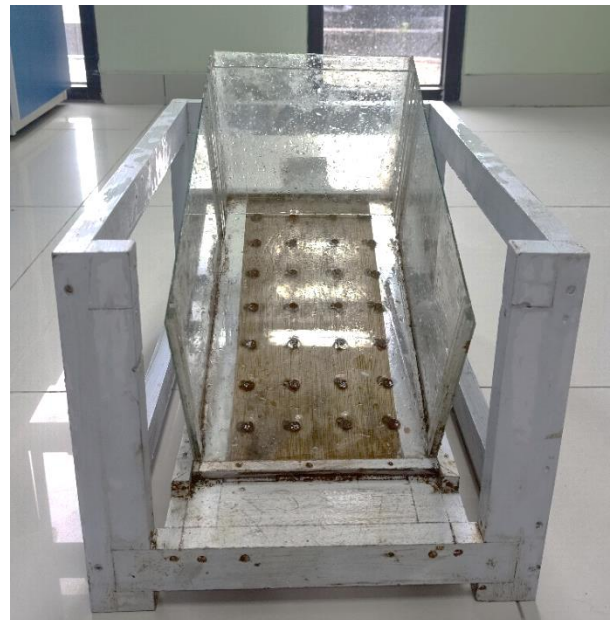
Untuk mengetahui apakah tanah bergradasi butiran baik atau buruk dapat dilihat dari kemiringan kurva distribusi, dengan mengetahui koefisien keseragaman (*coefficient of uniformity*), C_u , dan koefisien gradasi (*coefficient of gradation*), C_c [3]

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian dari semua perlakuan yang telah dilakukan akan membahas mengenai uji odel simulasi serta uji dari material baik itu material tanah yang telah terjadi longsor maupun yang belum terjadi longsor.

Pada penelitian ini dibuat sebuah model kotak dari kaca sebagai wadah untuk penyimpanan material longsor berupa tanah, kemudian dimasukan ke dalam kotak penyangga yang terbuat dari balok kayu dengan dimensi panjang lebar tinggi sebesar 40 cm, 30 cm dan 25 cm. Pada salah satu bagian kotak yang berada di bagian bawah diberi lubang-lubang dengan diameter lubang sebesar 1 cm sebagai jalan untuk infiltrasi air ke tanah. Lubang pada kotak kaca tersebut dibuat dengan jumlah lubang sebanyak 28 lubang.

Model simulasi Tanah Longsor



Gambar 1. Model simulasi sebelum diisi tanah



Gambar 2. Model simulasi setelah diisi tanah

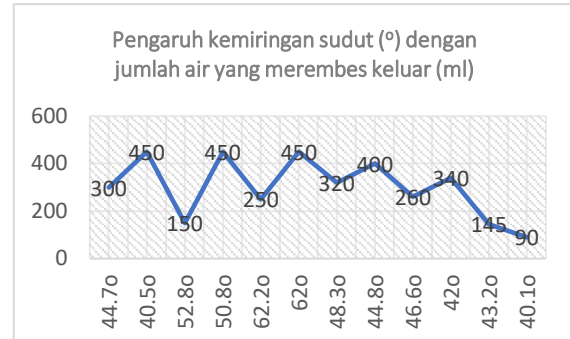
Hasil simulasi dari model menunjukkan bahwa perbedaan persentase material yang jatuh dari permukaan kotak dan kemiringan lereng menghasilkan perbedaan waktu terjadinya longsor.

Dalam proses pengujian model simulasi didapatkan hasil dari setiap perlakuan yang telah diuji coba:



Gambar 3. Hasil simulasi longsor

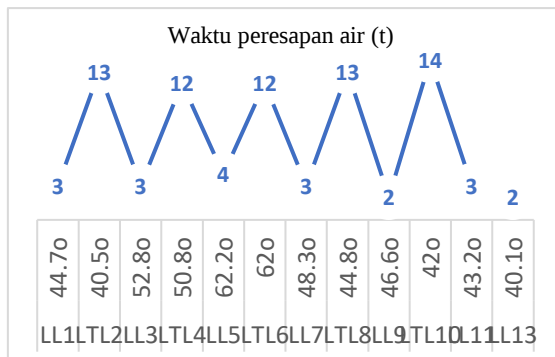
Hubungan pengaruh kemiringan sudut ($^{\circ}$) dengan jumlah air yang merembes keluar (ml)



Gambar 4. Grafik hubungan kemiringan sudut ($^{\circ}$) dengan jumlah air yang merembes keluar (ml)

Dalam pengujian simulasi model longsor kemiringan sudut disesuaikan dengan kondisi lereng yang ada di lapangan atau lokasi pengambilan sampel. Setiap pengujian air yang dimasukan di dalam kotak simulasi diberikan jumlah yang sama yaitu sebesar 1000ml, hal ini bertujuan agar dapat diketahui berapa selisih dari setiap air yang merembes keluar. Pada grafik diatas terlihat jumlah air yang paling banyak keluar pada saat sudut kemiringan sudut 44.5° , 56.8° , dan 62° dan air paling sedikit keluar berada pada saat sudut sebesar 40.1° . Hal ini yang menunjukkan bahwa kemiringan sudut dengan jumlah air saling berbanding lurus karena semakin tinggi nilai sudut kemiringan lereng maka jumlah air yang merembes keluar pun akan semakin banyak. Ketiga lokasi ini merupakan lokasi yang tidak mengalami longsor. Jumlah air keluar tersebut dipengaruhi juga oleh material

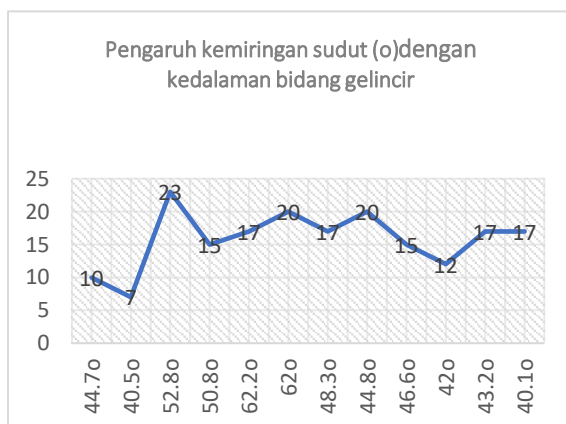
tanah yang ada di lokasi tersebut. **Waktu meresap air (t) pada material tanah**



Gambar 6. Grafik waktu peresapan air (t)

Dari uji yang telah dilakukan didapatkan hasil seperti yang telah ditunjukkan oleh grafik di atas. Pada grafik diatas terlihat bahwa lama air yang paling cepat terserap didalam tanah ialah pada saat uji coba dilakukan menggunakan material tanah pada LL13 dan waktu peresapan air paling lambat untuk meresap ke dalam tanah yaitu pada LTL10. Perbedaan waktu ini dikarenakan karena adanya perbedaan jenis material tanah yang berada di lokasi pengambilan sampel

Kemiringan sudut ($^{\circ}$) terhadap kedalaman bidang gelincir (cm)



Gambar 7. Grafik pengaruh kemiringan sudut ($^{\circ}$) dengan kedalaman bidang gelincir

Kedalaman bidang gelincir yang didapatkan dari hasil simulasi model yang menunjukkan bahwa pada kedalaman bidang gelincir yang lebih dangkal volume longsor yang dihasilkan lebih sedikit.



Gambar 8. Hasil model simulasi dengan memperhatikan kedalaman bidang gelincir

Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai dari kemiringan sudut yang dilakukan pada saat simulasi model longsor. Pada saat simulasi dilakukan di sudut 44.7° kedalaman bidang gelincir sebesar 10 cm kemudian dilakukan perubahan sudut menjadi 40.5° tingkat kedalaman turun menjadi 7 cm, begitupun saat perlakuan ketiga sampai perlakuan ketiga belas. Nilai tertinggi untuk kedalaman bidang gelincir berada pada nilai sebesar 23 cm dengan sudut kemiringan yaitu 52.8° dan untuk nilai kedalaman terkecil yaitu sebesar 7 cm berada pada sudut 40.5° . Kemiringan suatu lereng berpengaruh pada proses terjadinya longsor.

Analisis material longsor pada setiap lereng

Hasil pengujian Analisis Saringan dan Uji Hidrometer diperoleh Kerikil (*Gravel*) 43 %, Pasir kasar ke sedang (*Coarse to medium*) 34 %, Pasir Halus (*Fine Sand*) 10%

lanau (*Silt*) 17%, dan lempung (*Clay*) 39%. Dari hasil analisis tersebut diketahui bahwa sampel tanah yang terdapat di lokasi LL1, LTL2, LL3, dan LTL4 merupakan percampuran beberapa jenis tanah yang didominasi oleh ukuran butiran kerikil dan pasir 61%. Artinya masih terdapat 49% jenis tanah non kerikil dan pasir yang juga merupakan kesatuan dari material dalam material penyusun yang memiliki sifat berbeda seperti lanau (*Silt*) 17 % dan Pasir 44 % yang terdiri dari pasir halus 17 % dan pasir kasar ke sedang 34 %.

Hasil analisis data uji saringan diketahui presentasi (%) ukuran butir lolos saringan no. 200 berdiameter lebih kecil dari 0,075 mm sebanyak 55,45 % dan yang tertahan saringan no. 200 sebanyak 44.55 %.

Dalam penelitian ini jenis tanah yang termasuk dalam kelas tekstur Lempung terdapat pada LTL2 dan LTL4. Untuk campuran tekstur Lempung berpasir halus sendiri berada pada LTL8 sesuai dengan klasifikasi kelas tekstur tanah yang dijadikan acuan dalam proses pengklasifikasian.

Karakteristik tanah pada lokasi penelitian umumnya bertekstur tanah yang mengandung pasir dengan campuran kerikil. Persentase kandungan pasir bervariasi dari 31 – 85%. Kondisi tekstur seperti ini memungkinkan tanah mudah meloloskan air. Tekstur tanah yang mendominasi pada lokasi longsor yang diteliti yaitu tekstur tanah lempung berpasir tekstur kerikil

Pasir merupakan material yang dapat berubah sifat teknisnya jika tidak dipadatkan dengan benar (terdapat rongga) terutama jika terdapat air, maka akan cepat

menghilangkan atau meresap air yang terdapat di pasir [5]

Kehilangan air yang terjadi dalam tanah pada saat proses simulasi disebabkan oleh sifat material pasir yang tidak dipadatkan dengan baik dan benar atau sesuai spesifikasi yang berlaku. Berdasarkan hasil uji yang telah dilakukan, pada tempat penelitian terdapat 4 jenis tekstur tanah yang berada di setiap lokasi penelitian. Tekstur tanah yang mendominasi pada lokasi penelitian ialah tekstur tanah lanau liat dan kerikil berpasir

KESIMPULAN

Model simulasi longsor dibuat dengan menggunakan skala lab. Pada saat simulasi terjadi pembacaan indikasi longsor berdasarkan perubahan kemiringan sudut.

Berdasarkan uji hydrometer dan saringan no. 200 didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa pada lokasi pengambilan sampel yang berada di Kecamatan Kwandang, Kecamatan Anggrek, dan Kecamatan Monano jenis karakteristik dari material tanah yang diambil yaitu kerikil dan pasir serta Lempung Liat

Semakin tinggi nilai kemiringan sudut geser tanah maka kecepatan longsor akan tinggi juga, begitu sebaliknya. Hal ini yang menyebabkan volume material yang terbawa longsor akan semakin tinggi pula. Selain di jenis material juga berpengaruh terhadap jumlah volume yang jatuh pada saat terjadi longsor

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pareta, K. & U. Pareta, 2012. *Landslide Modeling and Susceptibility Mapping of Giri River Watershed, Himachal Pradesh (India)*. International Journal of Science and Technology Volume 1 No. 2, February. (2012)
- [2] Yilmaz, S. *A case study of the application of electrical resistivity imaging for investigation of a landslide along highway*. International Journal of the Physical Sciences, 6(24), (2011).
- [3] Supeno, Priyantari, N., dan Halik, G. *Penentuan struktur bawah permukaan daerah rawan longsor berdasarkan interpretasi data resistifitas*. Jurnal Ilmu Dasar, 9(1), 48-55. (2008).
- [4] Sugianto, Irayani Z., dan Jati I.P. *Investigasi bidang gelincir tanah longsor menggunakan metode geolistrik tahanan jenis di Desa Kebarongan Kec. Kemranjen Kab. Banyumas*. Berkala Fisika, 13(2), 49 – 54. (2010).
- [5] Zakaria, Z. *Analisis Kestabilan Lereng Tanah*.
- [6] Hardiyatmo HC. *Penanganan Tanah Longsor dan Erosi*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press. (2006)
- [7] Naryanto, H.S. *Analisis Kejadian Bencana Tanah Longsor di Dusun Jemblung, Desa Sampang, Kecamatan Karangobar, Kabupaten Banjarnegara, Provinsi Jawa Tengah*. Jurnal Alami, Vol. 1 No. 1 tahun 2017: (2017).
- [8] Ramadhan, N. I., & Idajati, H. *Identifikasi Tingkat Bahaya Bencana Longsor, Studi kasus: Kawasan Lereng Gunung Lawu, Kabupaten Karanganyar, Jawa Tengah*. Jurnal Teknik ITS, 6(1), 87-90. (2017).
- [9] Chen. H., Lee C., and Law K. “*Causative Mechanisms of Rainfall-Induced Fill Slope Failures*”. *Journal of Geotechnical and Geo-environmental Engineering*. Vol.130. Issue June 2004. (2004).
- [10] Kurnia, U. *Sifat fisik tanah dan metode analisisnya*. (2006).
- [11] Juliastuti, J., & Suhendra, A. *Studi Kapasitas Infiltrasi Metode Horton untuk Pemakaian Biopori di Kampus Universitas Bina Nusantara Berdasarkan Debit Limpasan Permukaan*. ComTech: Computer, Mathematics and Engineering Applications, 2(2). (2011).
- [12] Oktafiani, T, P, Sri Rahayu, U, And Agustina C. *Simulation of Landslide Measurements on Different Slopes and Depths of Slickenside*. Jurnal Tanah dan Sumberdaya Lahan Vol 9 No 2:329-337. (2022)

