

Karakterisasi Parameter Fisis Tanah pada Daerah Rawan Longsor Menggunakan Analisis Citra Digital (*Digital Image Analysis*)

Rustan*, Linda Handayani dan Fourier Dzar Eljabbar Latief

Abstrak

Tanah longsor merupakan salah satu bencana alam yang menyebabkan kerugian moril dan materiil. Ada dua faktor esensial penyebab terjadinya tanah longsor yaitu litologi dan curah hujan. Faktor litologi berupa parameter tanah khususnya sifat fisis tanah bisa mempengaruhi kestabilan lereng. Dari studi literatur beberapa penelitian diperoleh bahwa terjadinya tanah longsor bisa dikaitkan dengan sifat fisis tanah. Sifat fisis tanah yang dianalisis antara lain: distribusi ukuran butiran, porositas, dan permeabilitas. Ketiga parameter ini pada umumnya dikarakterisasi menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Pada penelitian ini, sifat fisis tanah tersebut akan dianalisis menggunakan analisis citra digital (*Digital Image Analysis*) hasil pemindaian dengan perangkat Micro-CT. Hasil perhitungan distribusi ukuran butiran, porositas dan permeabilitas kemudian digunakan untuk menentukan apakah sampel tanah tersebut termasuk sampel tanah yang memiliki resiko rentan terhadap longsor atau tidak. Berdasarkan hasil perhitungan ketiga parameter tersebut, menunjukkan bahwa sampel tanah yang dianalisis merupakan tanah yang berpotensi longsor.

Kata-kata kunci: ukuran butiran, porositas, permeabilitas, tanah longsor, analisis citra digital.

Pendahuluan

Longsor (*landslides*) merupakan pergerakan masa tanah, batuan, dan bahan rombakan lainnya pada lereng akibat gaya gravitasi. Longsor adalah salah satu bencana alam yang kompleks yang disebabkan oleh banyak faktor. Faktor pra kondisi meliputi topografi, litologi, dan curah hujan. Faktor lainnya yaitu *preparatory factor*, berupa aktivitas manusia seperti pembukaan lahan dan penebangan hutan [1]. Namun ada 2 faktor esensial penyebab longsor yaitu litologi dan curah hujan [2]. Dengan memahami sifat fisis tanah suatu daerah, maka potensi longsor di daerah tersebut dapat diperkirakan.

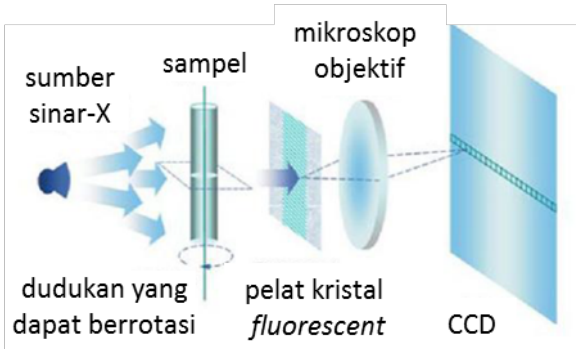
Penulis telah melakukan studi literatur untuk mempelajari sifat fisis tanah yang bisa dikaitkan dengan potensi longsor serta metode kuantisasi sifat fisis tanah yang dilakukan menggunakan metode eksperimen di laboratorium. Fokus utama pada penelitian ini adalah melakukan kuantisasi sifat fisis tanah. Sifat fisis ini selanjutnya akan dikaitkan dengan risiko terjadinya longsor menggunakan analisis citra digital (*Digital Image Analysis*) melalui pemindaian dengan menggunakan Micro-CT scan. Sifat fisis tanah yang akan dikuantisasi adalah distribusi ukuran butir, porositas, dan permeabilitas sampel.

Teori dan Eksperimen

Distribusi ukuran butiran tanah umumnya dianalisis dengan menggunakan Uji Saringan (*Sieve Analysis*) dan Uji Hidrometer (*Hydrometer Analysis*) [3]. Dari beberapa pengujian yang telah dilakukan, persentase butiran halus pada daerah rawan longsor lebih tinggi dari daerah yang stabil [4]. Porositas dianalisis dengan menggunakan prosedur *American Standard Testing of Material* (ASTM C642 – 13, *Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete*) yang pada prinsipnya adalah mengukur *apparent volume of permeable voids* (AVPV) atau volume rongga permeabel. Berdasarkan beberapa penelitian, daerah longsor diidentifikasi dengan nilai porositas yang tinggi dan densitas yang rendah. Hal ini mengindikasikan bahwa tanah dari daerah longsor bersifat *loose packed* [5]. Untuk permeabilitas, uji laboratorium dihitung menggunakan *Constant Head Permeability test* dan *Falling Head Permeability test* [6]. Nilai koefisien permeabilitas pada tanah longsor lebih tinggi dari pada koefisien permeabilitas tanah yang stabil [4].

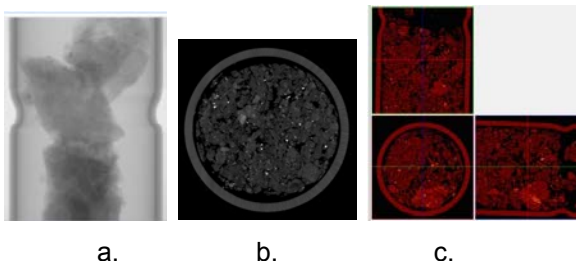
Pada penelitian ini, sampel tanah berasal dari daerah longsor di koordinat S= 05° 14' 18,0; E= 120° 03' 15,2 dan pada ketinggian 731 mdpl. Tepatnya berada di sepanjang jalan Poros Bulukumba-Sinjai desa Kompang Kecamatan Sinjai Tengah. Selanjutnya, parameter fisis dari sampel tersebut dianalisis menggunakan perangkat Micro-CT Scanner SkyScan 1173.

Micro-CT scan merupakan alat pencitraan 3D yang memiliki resolusi spasial mencapai orde mikro meter. Gambar 1 memberikan ilustrasi cara kerja Micro-CT scan. Pada Gambar 1 tampak bahwa sumber sinar-X melewati spesimen dalam hal ini adalah sampel penelitian. Sinar-X ini akan mengalami atenuasi (peristiwa menurunnya intensitas radiasi sinar-X ketika melewati suatu bahan).



Gambar 1. Prinsip Kerja Micro-CT scan yang berbasis atenuasi sinar-X oleh objek yang dipindai. (Dimodifikasi dari [7])

Intensitas akhir setelah melewati objek kemudian ditangkap oleh detektor sintilator. Detektor sintilator mendapat energi kinetik dari hasil interaksi sinar-X dengan bahan sehingga dapat menghasilkan cahaya tampak. Cahaya tampak ini kemudian direkam melalui *chip* semikonduktor yang disebut CCD (*charge-coupled device*). Sensor CCD berfungsi mengubah cahaya menjadi elektron dan diubah kedalam bentuk digital oleh *Analog to Digital Converter* (ADC), yang kemudian masuk ke dalam sistem komputer dan diolah komputer dalam bentuk data-data digital atau numerik [7]. Data citra digital tersebut kemudian direkonstruksi dan hasil rekonstruksi tersebut ditampilkan pada layar monitor berupa irisan tomografi dari objek yang dikehendaki yaitu dalam bentuk citra skala keabuan (*grayscale image*) [7].

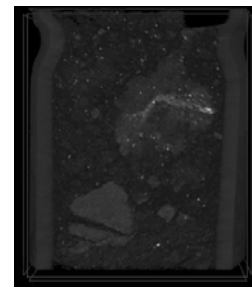


Gambar 2. citra keluaran hasil dari masing-masing tahap: (a) citra proyeksi hasil pemindaian (b). citra skala-keabuan hasil rekonstruksi (c). citra irisan 2D pada arah potongan sumbu yang berbeda

Gambar 2 menunjukkan proses pemindaian dan rekonstruksi citra sampel. Hasil keluaran

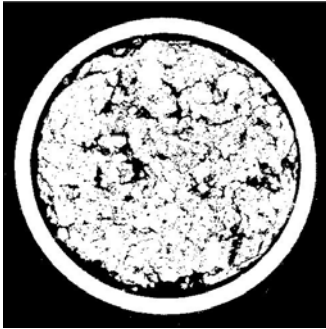
dari proses pemindaian berupa sekumpulan citra mentah (*raw image*) yang lazim disebut dengan citra proyeksi (*projection image*) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.a. Selanjutnya, kumpulan citra proyeksi ini direkonstruksi untuk menghasilkan citra tomografi berupa sekumpulan irisan 2D dalam arah trans-aksial (potongan tegak lurus sumbu z) dengan menggunakan perangkat lunak NRecon. Data keluaran akhir dari tahap ini berupa citra skala-keabuan yang ditunjukkan dalam Gambar 2.b. dengan tingkat keabuan yang menunjukkan densitas-semu (*pseudo-density*).

Citra hasil rekonstruksi ini kemudian dapat digunakan untuk melakukan analisis kualitatif melalui visualisasi. Visualisasi dapat dilakukan menggunakan perangkat DataViewer yang menampilkan citra 2D dalam potongan arah yang berbeda (potongan tegak lurus sumbu- x , y , maupun z) (Lihat Gambar 2.c.). Citra rekonstruksi dapat dipetakan menjadi struktur 3D dengan menggunakan perangkat CTVox. Citra rekonstruksi 3D tersebut dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. citra 3D sampel dianalisis menggunakan *software* CTVox

Hal pertama yang harus dilakukan untuk menganalisis nilai parameter fisis adalah melakukan beberapa tahapan pengolahan citra atau yang sering dikenal dengan "*Image Processing*". Proses ini meliputi tahapan membedakan padatan dan pori sampel dengan mengubah citra skala-keabuan menjadi citra biner (*binary image*) monokrom dengan menerapkan metode *thresholding*. Setelah *thresholding* dilakukan, daerah dari citra yang akan dianalisis ditentukan dengan membuat *Region of Interest* (ROI). Hasil dari proses ini adalah berupa citra biner (Lihat Gambar 4). Citra digital yang ditunjukkan pada Gambar 4 ini yang akan diolah lebih lanjut untuk menganalisis nilai parameter fisis dengan menggunakan perangkat lunak CTAn.



Gambar 4. *binary image* hasil pemrosesan gambar

Pada penelitian ini, parameter fisika yang menjadi fokus pembahasan adalah distribusi ukuran butiran, porositas dan permeabilitas. Ketiga besaran tersebut dihitung menggunakan teknik analisis citra digital yang terdapat pada perangkat lunak CTAn.

Distribusi ukuran butir merupakan persentase sebaran ukuran butiran dari sampel. Distribusi ini dihitung menggunakan pendekatan ketebalan lokal (*local thickness*) yang dikembangkan oleh Hildebrand dan Rueggsegger [8] dengan mengukur diameter bola terbesar yang memenuhi dua kondisi: bola membungkus sebuah titik (yang belum tentu pusat bola); dan bola sepenuhnya dibatasi dalam permukaan padatan.

Porositas didefinisikan sebagai fraksi volume pori per unit volume total:

$$\phi = \frac{\text{volume pori}}{\text{volume total}} \quad (1)$$

Pada metode analisis citra digital, volume pori didapatkan dengan menghitung jumlah piksel yang berwarna hitam dan volume total diperoleh dari jumlah piksel keseluruhan dalam ROI yang sudah ditetapkan sebelumnya.

Permeabilitas yang merupakan kemampuan media berpori untuk meloloskan fluida, dihitung menggunakan persamaan permeabilitas pada media berpori dengan menggunakan fraktal [9].

$$K = \frac{C \phi d_H^2}{4 \left(\frac{L_g}{L}\right)^2 (D_p + 2)(D_s + 1)} \quad (2)$$

dengan k = permeabilitas; C = faktor koreksi porositas efektif; ϕ = porositas; L_g/L = tortuositas; D_p = dimensi fraktal pori; D_s = dimensi fraktal padatan. Dalam perhitungan permeabilitas ini nilai tortuositas dapat ditentukan dengan menggunakan Persamaan 3 [9]:

$$\tau = \left(\frac{L_g}{L}\right)^2 \cong \left(\frac{D_{p_{ideal}}}{D_p}\right)^2 \quad (3)$$

dimana

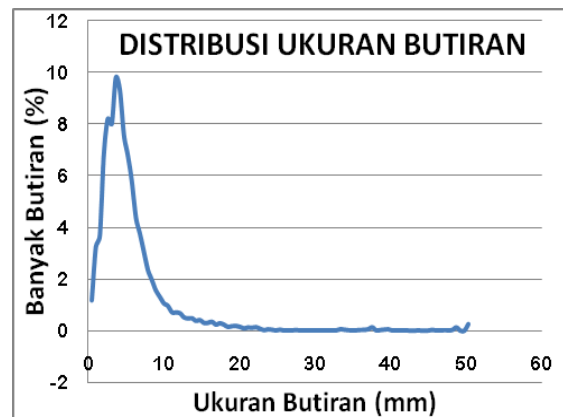
$$D_{p_{ideal}} = 2.0444 \phi^{0.1061} \quad (4)$$

Sedangkan faktor koreksi porositas efektif diperoleh dengan menggunakan Persamaan 5 berikut [9]:

$$\phi_a = \frac{nd^{D_p} (L_e/L)}{A} = C \phi \quad (5)$$

Hasil dan Diskusi

Hasil dari pemrosesan dan analisis citra dari sampel yang dipindai, memberikan gambaran mengenai beberapa parameter fisika tanah, yaitu distribusi ukuran butiran, porositas, dan permeabilitas. Dari perhitungan distribusi ukuran butiran, diperoleh grafik yang ditunjukkan pada Gambar 5. Dapat dilihat bahwa struktur tanah didominasi oleh butiran yang berukuran kecil. Secara detail, sampel dengan ukuran butiran di bawah 10 mm, memiliki persentase yang sangat besar jika dibandingkan dengan ukuran butir yang besar. Hasil penelitian ini sesuai dengan referensi yang menjadi acuan. Salah satu penyebab tanah di Sinjai rawan dengan longsor adalah karena komposisi tanah didominasi oleh ukuran butiran yang kecil.



Gambar 5. grafik distribusi ukuran butir hasil analisis, diperoleh dengan pendekatan pengukuran ketebalan lokal.

Porositas yang dapat terukur pada penelitian ini adalah porositas terbuka dan porositas tertutup. Porositas terbuka adalah fraksi ruang pori yang dapat dilewati fluida (ruang pori saling terhubung). Porositas tertutup adalah fraksi ruang pori yang tidak dapat dilewati fluida yang bisa terbentuk karena pori sampel terisolasi oleh butiran lainnya. Berdasarkan hasil analisis, besarnya porositas total dari sampel ini adalah sebesar 26,47%. Besar porositas terbukanya adalah 25,93% dan porositas tertutupnya adalah

0,372%. Jika nilai ini dirujuk ke standar nilai porositas, maka nilai porositas sampel ini dikategorikan sebagai media berpori dengan porositas yang sangat bagus. Hasil analisis porositas pada sampel ini juga sesuai dengan referensi yang penulis jadikan sebagai acuan [4]. Maka bisa dikatakan bahwa faktor lain yang menyebabkan Sinjai menjadi daerah yang rawan longsor adalah karena tanahnya memiliki nilai porositas yang besar.

Parameter fisis yang berikutnya adalah permeabilitas sampel. Analisis nilai permeabilitas menggunakan rumusan permeabilitas pada media berpori menggunakan fraktal [9]. Nilai D_p dan D_s diperoleh menggunakan CTAn dan masing-masing nilainya adalah 2,84024 dan 2,83951. Variabel lainnya seperti C , d_H^2 , dan tortuositas masing-masing nilainya adalah 0,9725; 0,3486041; dan 1,21121. Jika dianalisis nilai permeabilitas menggunakan besaran variabel tersebut, maka nilai permeabilitas yang diperoleh adalah sebesar $8,253 \times 10^{-9} \text{ m}^2$. Hasil tersebut tergolong kecil dan belum sesuai dengan referensi. Ada beberapa kemungkinan yang menjadi penyebab kecilnya nilai tersebut, misalnya persamaan yang digunakan tidak sesuai dengan karakter tanah atau bisa juga disebabkan oleh karakter tanah di Sinjai yang memang berbeda dari pada umumnya. Hal ini menarik untuk dikaji lebih lanjut di penelitian selanjutnya bersamaan dengan nilai densitas tanah.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil analisis, dapat disimpulkan bahwa struktur tanah didominasi oleh ukuran butir yang kecil. Butiran yang memiliki ukuran dibawah 10 mm, memiliki persentasi yang besar jika dibandingkan dengan ukuran butir yang besar. Nilai porositas total sampel pada penelitian ini adalah sebesar 26,47%, tergolong besar, sedangkan nilai permeabilitas Sampel diperoleh sebesar $8,253 \times 10^{-9} \text{ m}^2$. Hasil perhitungan ketiga parameter tersebut menunjukkan bahwa sampel tanah yang dianalisis merupakan tanah yang berpotensi longsor atau dengan kata lain, memiliki nilai resiko tinggi untuk terjadi longsor.

Referensi

- [1] T. Hou, G. Xu., Y. Shen, Z. Wu, N. Zhang, and R. Wang, "Formation mechanism and stability analysis of the Houba expansive soil landslide", *Journal of Engineering Geology* 161, 34-43 (2013)
- [2] F. Mugagga, V. Kakembo, dan M. Buyinza, "A characterisation of the physical properties of soil and the implications for landslide occurrence on the slopes of Mount

Elgon, Eastern Uganda", *Journal of the International Society for the prevention Mitigation of Natural Hazards* (2011)

- [3] H. Dermawan, "Uji Saringan (Sieve Analysis) ASTM D-1140", *Laboratorium Mekanika Tanah, Universitas Pendidikan Indonesia*
- [4] G. Jeong, K. Kim, C. Chou, J. Kim, and M. Kim, "Characteristics of landslide induced by a debris flow at different geology with emphasis on clay mineralogy in South Korea", *Journal of Natural Hazards* 59, 347-365 (2011)
- [5] Krishna R., "Experiment 6 Grain size analysis". *Engineering properties of soil based on laboratory testing*
- [6] Bambang E., "Pengaruh penambahan kaur pada inti bendungan terhadap besarnya debit rembesan". *Universitas Pendidikan Indonesia*. 2014
- [7] S. Nourdiana, "Visualisasi Tiga-Dimensi dan Karakterisasi Struktur Rekahan Bantuan Reservoir Gheothermal Pada Sumurn KMJ 11 Lapangan Panas Bumi Kamojang Jawa Barat". *Skripsi Program Sarjana. Repositori Universitas Pendidikan Indonesia*, 2014
- [8] Hildebrand T and Ruegsegger P, "A new method for the model independent assessment of thickness in three dimensional images." *J. Microsc.* 185: 67-75. (1997)
- [9] Sumantri, Yosaphat., Permadi ,Pudji, "Permeabilitas Batuan Berpori Berdasarkan Pendekatan Konsep Fraktal". *PROSIDING, Simposium Nasional Ikatan Ahli Teknik Perminyakan Indonesia (IATMI) 2005 Institut Teknologi Bandung (ITB), Bandung, 16-18 November 2005*

Rustan*
Earth and Sistem Complex Research Division
Institut Teknologi Bandung
rustankabaro@yahoo.com

Linda Handayani
Earth and Sistem Complex Research Division
Institut Teknologi Bandung
Linda.excellent@gmail.com

Fourier Dzar Eljabar Latief
Earth and Sistem Complex Research Division
Institut Teknologi Bandung
fourier@fi.itb.ac.id

*Corresponding author