

Analisis Porositas dan Permeabilitas Batuan pada Daerah Rawan Longsor menggunakan Teknik Pengolahan Citra Digital (Studi Kasus Daerah Longsor Desa Prendengan Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara)

Nailis Sa'adah^{1,*}, Zarah Irayani¹, Sukmaji Anom Raharjo¹

¹Jurusan Fisika, FMIPA, Universitas Jenderal Soedirman

*Email: nailis208@gmail.com

Submit: 4 Februari 2023 ; Revised: 25 Juli 2023; Accepted: 6 Oktober 2023

Abstrak: Porositas dan permeabilitas batuan merupakan salah satu sifat batuan penyebab terjadinya tanah longsor. Analisis porositas dan permeabilitas penting dilakukan untuk mengetahui struktur pori untuk memprediksi pergerakan fluida di dalam pori batuan. Citra digital sampel batuan yang digunakan merupakan citra digital sampel batuan DP II, DP III, DP IV, dan DP V yang diperoleh dari Desa Prendengan Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara. Sampel batuan dianalisis menggunakan citra digital melalui pemindaian dengan *Micro-CT Skyscan 1173* dengan resolusi citra sebesar $7,8375 \mu\text{m}/\text{pixel}$. Data yang didapatkan selanjutnya dihitung nilai porositas dan permeabilitas batuan. Nilai porositas yang dihitung merupakan porositas total, porositas terbuka, dan porositas tertutup menggunakan software *CT-Analyser*. Sedangkan nilai permeabilitas dihitung menggunakan *Palabos (Parallel Lattice Boltzmann Solver)* dengan bahasa pemrograman pada software *Matlab* dan teknik grup renormalisasi. Hasil analisis menunjukkan bahwa batuan DP II memiliki nilai porositas sebesar 6,55%, batuan DP III memiliki nilai porositas sebesar 4,61%, batuan DP IV memiliki nilai porositas sebesar 51,18%, dan batuan DP V memiliki nilai porositas sebesar 60,21%. Permeabilitas sampel batuan DP III memiliki nilai terendah dari DP II, DP IV, dan DP V. Berdasarkan hasil yang diperoleh diketahui bahwa rendahnya porositas dan permeabilitas pada batuan DP III menunjukkan bahwa batuan DP III memiliki struktur yang kompak dan impermeable, sehingga memungkinkan DP III berfungsi sebagai bidang gelincir tanah longsor. Sedangkan sampel batuan DP IV dan DP V memiliki nilai permeabilitas yang tinggi sehingga berpotensi sebagai zona longsor. Semakin tinggi porositas yang saling terkoneksi satu sama lain pada batuan maka semakin besar permeabilitas batuan tersebut yang mengakibatkan laju infiltrasi yang tinggi dan berpotensi sebagai zona longsor.

Kata kunci: Analisis Citra Digital, Porositas, Permeabilitas, Renormalisasi.

Abstract: Porosity and permeability of rocks are one of the rock properties that cause landslides. Porosity and permeability analysis is important to determine the pore structure to predict fluid movement in rock pores. The

digital images of the rock samples used are digital images of DP II, DP III, DP IV, and DP V rock samples from landslide-prone areas of Prendengan Village, Banjarmangu District, Banjarnegara Regency. Rock samples were analyzed using digital imagery by scanning with a Micro-CT Skyscan 1173 with an image resolution of $7.8375 \mu\text{m}/\text{pixel}$. The data obtained is then calculated the value of rock porosity and permeability, in order to know the effect on the slide. The calculated porosity values are total porosity, open porosity and closed porosity using the CT-Analyser software. While the permeability value is calculated using Palabos (Parallel Lattice Boltzmann Solver) with programming language in Matlab software and group renormalization technique. The results of the analysis show that DP II rocks have a porosity value of 6.55%, DP III rocks have a porosity value of 4.61%, DP IV rocks have a porosity value of 51.18%, and DP V rocks have a porosity value of 60.21%. The permeability of DP III rock samples has the lowest values of DP II, DP IV, and DP V. Based on the results obtained, it is known that the low porosity and permeability of DP III rocks indicates that DP III rocks have a compact and impermeable structure, allowing DP III to function as a landslide slip area. While the DP IV and DP V rock samples have high permeability values so they have the potential to become avalanche zones. The higher the porosity that is connected to each other in the rock, the greater the permeability of the rock which results in a high infiltration rate and has the potential to become an avalanche zone. .

1 PENDAHULUAN

Banjarnegara merupakan kabupaten dengan kawasan yang memiliki risiko tanah longsor cukup tinggi. Berdasarkan data Badan Penanggulangan Bencana Daerah pada tahun 2019 terjadi 167 kejadian tanah longsor dari total 479 bencana alam yang terjadi di Kabupaten Banjarnegara. Sementara pada tahun 2020 terjadi 190 kejadian tanah longsor dari total 247 kejadian bencana alam di Kabupaten Banjarnegara (BNPB, 2019). Daerah perbukitan Desa Prendengan merupakan kawasan rawan longsor dengan intensitas sedang

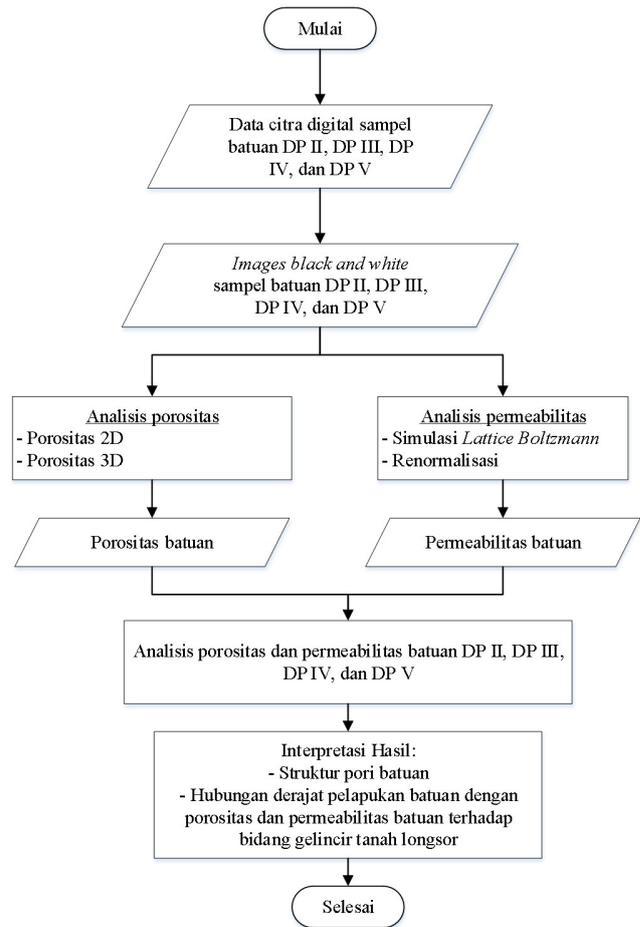
hingga tinggi. Tanah longsor merupakan peristiwa bergesernya tanah menuruni lereng berupa batuan atau tanah melalui permukaan bidang miring atau lereng (Supriyono, 2014). Material lapukan menjadi salah satu faktor kemungkinan penyebab terjadi longsor. Semakin lapuk batuan penyusun lereng suatu daerah rawan longsor maka semakin besar kemungkinan terjadinya longsor (Ramadhani dan Lukito, 2021).

Keberadaan porositas dan permeabilitas batuan juga merupakan faktor yang mendorong terjadinya tanah longsor. Porositas merupakan proporsi ruang kosong yang terdapat pada batuan. Sedangkan permeabilitas merupakan kemampuan batuan untuk meneruskan atau meloloskan fluida. Porositas dan permeabilitas memiliki kaitan erat yang berhubungan dengan struktur pori yang dapat digunakan untuk memprediksi pergerakan fluida di dalam pori batuan (Utami, 2017). Oleh karena itu penelitian mengenai porositas dan permeabilitas perlu dilakukan untuk mengetahui transportasi fluida seperti tanah longsor. Penelitian tentang longsor di Desa Prendengan sebelumnya pernah dilakukan oleh Ikhwan (2016) yang mengidentifikasi bidang gelincir tanah longsor menggunakan metode geolistrik. Hasil penelitian menyimpulkan bahwa DP III merupakan bidang gelincir dan DP IV merupakan zona longsor.

Mulyatini (2017) meneliti sampel batuan DP III menggunakan metode citra digital menyimpulkan bahwa DP III memiliki nilai porositas dan permeabilitas rendah yang menunjukkan batuan tersebut kedap air dan tidak mudah mengalirkan air. Fatinova (2017) meneliti sampel batuan DP IV menggunakan metode citra digital menyimpulkan bahwa DP IV memiliki nilai porositas dan permeabilitas tinggi yang menyebabkan tingginya laju infiltrasi sehingga zona tersebut mudah terjadi longsor dan berpotensi sebagai zona longsor. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui porositas dan permeabilitas batuan serta kaitannya terhadap kelongsoran dari kawasan rawan longsor Desa Prendengan Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara. Struktur batuan dapat diketahui dengan menggunakan analisa citra digital dengan metode multilevel thresholding. Metode ini untuk memisahkan antara objek dan background suatu citra berdasarkan perbedaan tingkat kecerahannya. Kemudian untuk menghitung nilai permeabilitas batuan menggunakan metode renormalisasi grup (Karim dan Krabbenhoft, 2010).

2 DATA DAN METODE

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode analisa citra digital. Data yang digunakan dalam penelitian ini berupa data digital dari sampel batuan DP II, DP III, DP IV, dan DP V di daerah longsor Desa Prendengan Kecamatan Banjarmangu Kabupaten Banjarnegara yang sudah di scan menggunakan Micro CT Scan tipe SkyScan 1173 dengan resolusi citra yang digunakan sebesar 7,8375 µm/pixel. Sedangkan alat yang digunakan pada penelitian ini berupa seperangkat Personal Computer dengan spesifikasi Intel®Core™ i7-3770 RAM 16.0 GB yang sudah terinstal software MATLAB R2015 untuk menghitung nilai permeabilitas sampel batuan, Computer Tomography Analyser (CTAn) untuk menghitung nilai porositas batuan, dan program *Parallel Lattice Boltzmann* (Palabos) untuk meng-



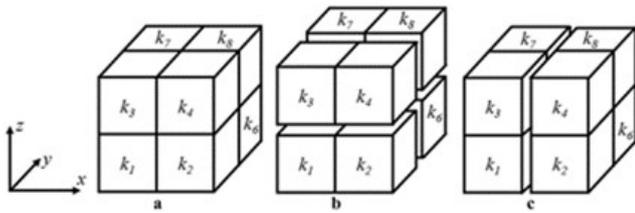
Gambar 1. Tahap pengolahan data analisis citra digital sampel batuan DP II, DP III, DP IV dan DP V

hitung permeabilitas. Tahap pengolahan data analisis citra digital sampel batuan DP II, DP III, DP IV dan DP V dapat dilihat pada Gambar 1.

2.1 Analisis Porositas

Analisis porositas dilakukan dengan melakukan perhitungan nilai porositas 2D dan 3D dengan software CT-An. Porositas 2D dihitung berdasarkan penampang 2D citra digital hitam-putih dengan ukuran 800² piksel sebanyak 800 slices, dan porositas 3D dihitung dari sampel ukuran 800³ voxel. Porositas yang dihitung berupa porositas total, porositas terbuka, dan porositas tertutup. Pertama, nilai porositas total didapatkan dengan menghitung perbandingan jumlah pori per volume total sampel. Kedua, porositas terbuka diperoleh dengan menghitung seluruh porositas yang dapat dilalui oleh fluida (*connected pore*). Terakhir, porositas tertutup (*unconnected pore*) diperoleh dari seluruh ruang pori yang tidak dapat dilalui oleh fluida.

$$\phi = \frac{\text{volume pori}}{\text{volume batuan}} \times 100\% \quad (1)$$



Gambar 2. Ilustrasi skema blok renormalisasi dua dimensi yang digunakan dalam pendekatan renormalisasi tiga dimensi (Karim dan Krabbenhoft, 2010).

Tabel 1. Parameter Perhitungan Permeabilitas

No	Parameter	Nilai
1	Gradien tekanan	0.00005 atm/cm
2	Viskositas fluida	0.166667 cP

2.2 Analisis Permeabilitas

Sampel batuan ukuran 800³ voxel menjadi ukuran sub-sampel berukuran 400³ voxel. Kemudian sampel batuan berukuran 400³ voxel tadi dipecah menjadi sub-sub sampel yang lebih kecil lagi yaitu 200³ voxel. Pembagian sampel batuan dilakukan untuk mempermudah dalam proses perhitungan nilai permeabilitas batuan karena ukuran citra yang lebih kecil. Selanjutnya, akan diperoleh nilai permeabilitas untuk setiap sub-sub sampel kemudian akan di dapat nilai permeabilitas untuk setiap sub sampel. Kemudian dilakukan proses upscaling dengan metode renormalisasi atau mencari rata-rata pada setiap sampel untuk mewakili sampel yang lebih besar. Metode renormalisasi pertama diterapkan oleh King tahun 1989 untuk upscaling konduktivitas hidrolis. Metode ini kemudian dikembangkan oleh Karim dan Krabbenhoft dalam bentuk tiga dimensi. Berikut gambar pembagian bentuk tiga dimensi dari sampel batuan dengan teknik grup renormalisasi dengan skema konfigurasi blok dengan delapan sel seperti tertera pada Gambar 2.

Berdasarkan Gambar 3, Perhitungan permeabilitas dilakukan dengan menjalankan program palabos (Parallel Lattice Boltzmann Solver) dengan menggunakan bantuan software Matlab R2015 dengan iterasi sebanyak 30.000. Pada proses ini terjadi komputasi menggunakan model yang telah dirancang dengan parameter yang telah ditentukan. Parameter tersebut dijelaskan pada Tabel 1.

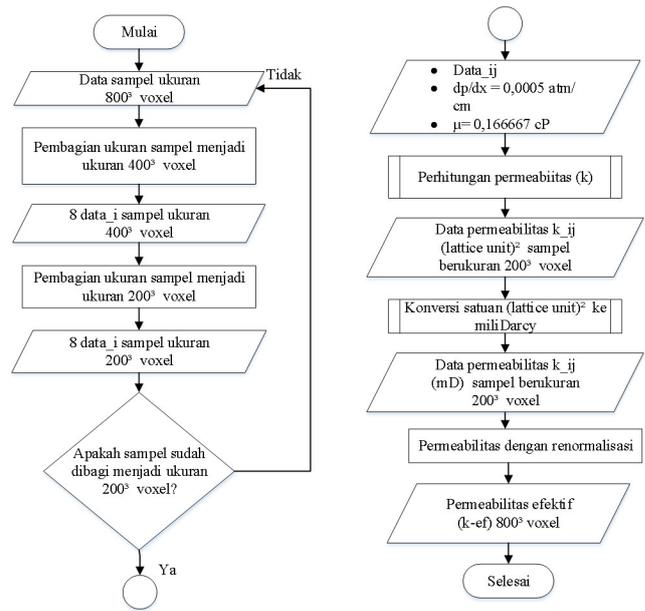
Setelah melakukan perhitungan permeabilitas, hasil dari proses metode Lattice Boltzmann berupa kecepatan rata-rata dan nilai koefisien permeabilitas dalam satuan lattice unit kuadrat. Nilai permeabilitas dalam satuan lattice kuadrat (lu²) dikonversi ke dalam satuan miliDarcy (mD) yang dinyatakan sebagai:

$$k = \frac{v}{dp/dx} \tag{2}$$

Nilai *k* merupakan permeabilitas dalam satuan miliDarcy, dalam satuan

$$ID = 0.9869233 \times 10^{-12} m^2 \tag{3}$$

Karena satuan yang diperoleh adalah satuan kisi, maka perlu dilakukan konversi menjadi satuan miliDarcy dengan ru-



Gambar 3. Tahap perhitungan permeabilitas

mus sebagai berikut:

$$k_{mD} = k \times R^2 \times \frac{1000}{0.9869233} \tag{4}$$

nilai *k_{mD}* merupakan permeabilitas dalam satuan mD, nilai *k* merupakan permeabilitas dalam satuan kuadrat (lu²) dan *R* merupakan resolusi citra dalam satuan μm/piksel.

2.3 Analisis derajat pelapukan sampel batuan dan kaitannya pada kelongsoran

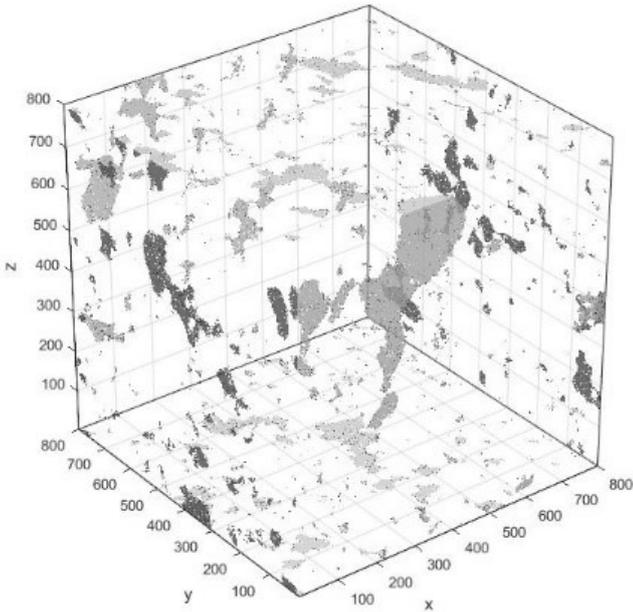
Analisis pelapukan batuan dilakukan untuk menganalisis sifat jenis derajat pelapukan batuan digunakan pada penelitian ini serta kaitannya terhadap kestabilan lereng. Semakin banyak pori pada suatu batuan maka semakin lapuk batuan tersebut. Semakin besar porositas terbuka pada suatu batuan maka semakin besar pula permeabilitasnya.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

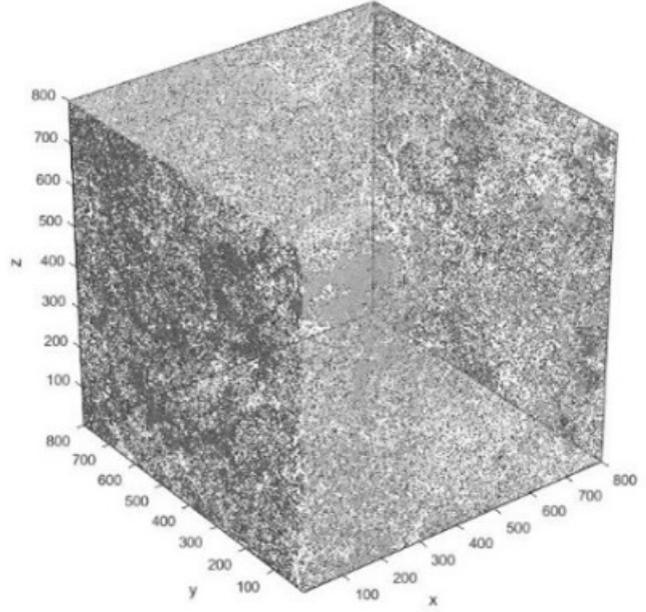
3.1 Representasi Sampel Batuan 800³ Voxel

Representasi 3D sampel batuan volume 800³ voxel digambarkan dengan biner image. Bagian pori direpresentasikan dengan warna hitam dan matriks (padatan) direpresentasikan dengan warna putih. Berikut merupakan hasil representasi image 3D sampel batuan seperti tertera pada Gambar 4, Gambar 5, Gambar 6, dan Gambar 7.

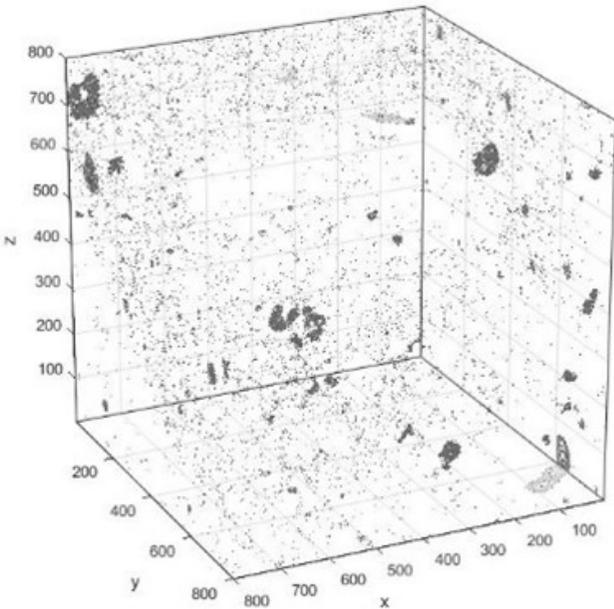
Berdasarkan hasil representasi image 3D sampel batuan diatas, Gambar 5 terlihat bahwa DP III memiliki pori yang paling sedikit dari semua sampel batuan. DP III memiliki matriks yang rapat dan kompak serta pori-porinya yang jarang dan kecil. DP II memiliki pori yang lebih besar dan lebih banyak dari DP III. Volume total porositas DP II sebesar 6,55%, DP III sebesar 4,61%, DP IV sebesar 51,18%, dan DP V sebesar 60,21%.



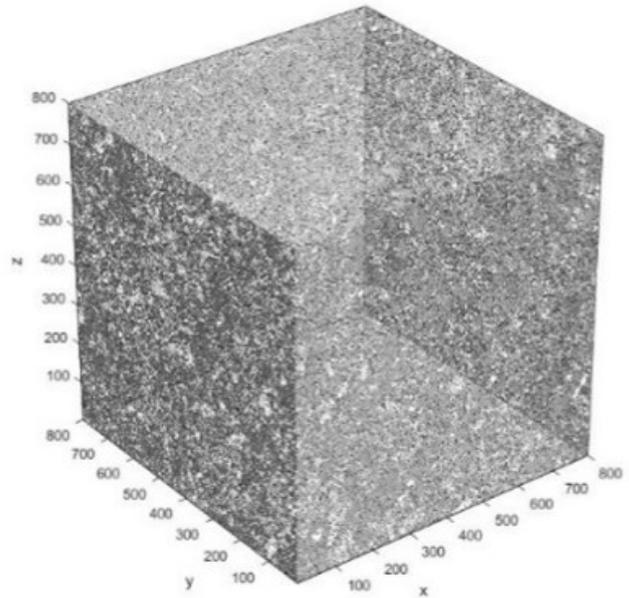
Gambar 4. Representasi batuan DP II 800³ voxel



Gambar 6. Representasi batuan DP IV 800³ voxel



Gambar 5. Representasi batuan DP III 800³ voxel



Gambar 7. Representasi batuan DP V 800³ voxel

3.2 Analisa Porositas

3.2.1 Porositas 2D

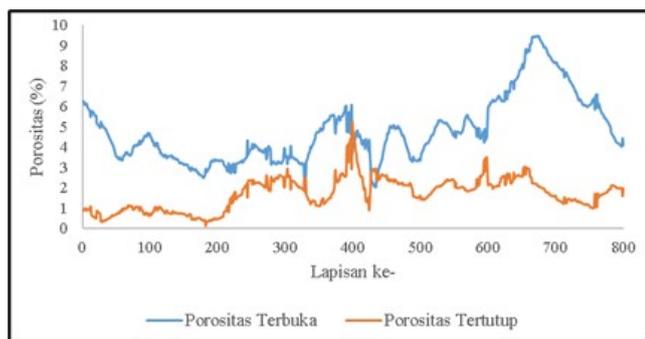
Besar kecilnya porositas terbuka dan tertutup menunjukkan mudah tidaknya fluida melewati celah batuan tersebut. Semakin besar porositas terbuka pada batuan menunjukkan bahwa batuan tersebut *permeable* sehingga fluida yang diloloskan juga semakin banyak. Berikut merupakan hasil perhitungan porositas 2D nilai porositas terbuka dan tertu-

tup dari masing-masing sampel batuan yang tertera pada Gambar 8, Gambar 9, Gambar 10, dan Gambar 11.

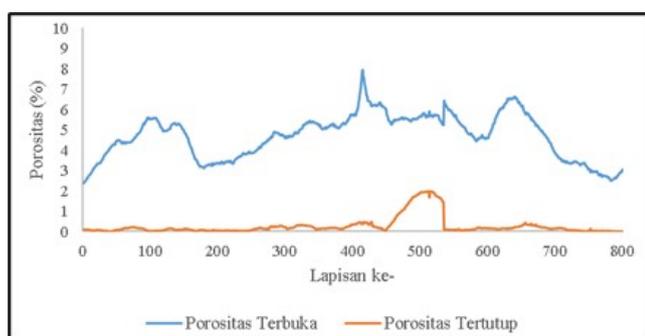
3.2.2 Porositas 3D

Berikut merupakan tabel nilai porositas 3D pada masing-masing batuan yang tertera pada Tabel 2.

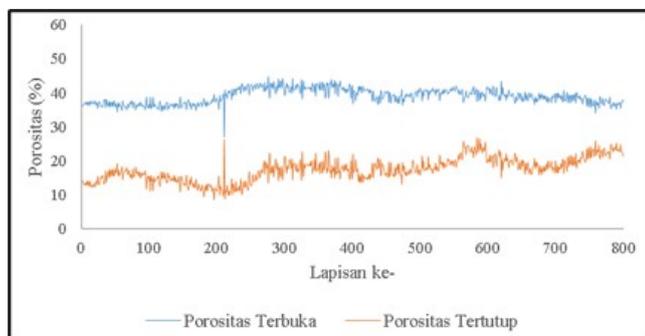
Berdasarkan klasifikasi nilai porositas batuan menurut [Koesoemadinata \(1980\)](#) maka batuan DP II dengan porositas total 3D batuan 6,55% termasuk dalam kelas porositas yang buruk. Batuan DP III dengan porositas total 3D batuan 4,61% termasuk kelas porositas yang diabaikan. Batuan



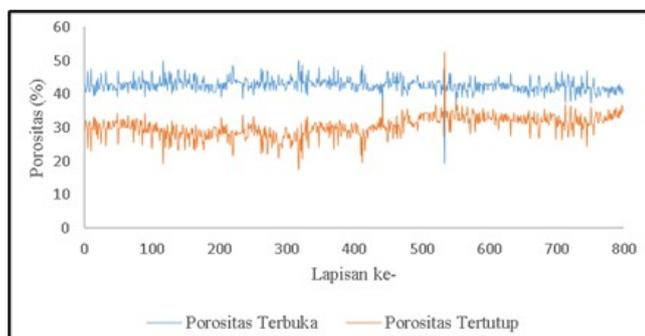
Gambar 8. Nilai porositas terbuka dan tertutup lapisan 2D DP II



Gambar 9. Nilai porositas terbuka dan tertutup lapisan 2D DP III



Gambar 10. Nilai porositas terbuka dan tertutup lapisan 2D DP IV



Gambar 11. Nilai porositas terbuka dan tertutup lapisan 2D DP V

Tabel 2. Nilai porositas 3D batuan DP II, DP III, DP IV dan DP V.

Porositas	Sampel Batuan		
	Total (%)	Terbuka (%)	Tertutup (%)
DP II	6.55	5.11	1.51
DP III	4.61	2.06	2.6
DP IV	51.18	51.15	0.61
DP V	60.21	59.46	0.85

Tabel 3. Nilai permeabilitas batuan berukuran 800³ voxel

Sampel	Permeabilitas		
	<i>x</i>	<i>y</i>	<i>z</i>
DP II	5.64	9.93	37.82
DP III	0.89	0.77	0.51
DP IV	8323	8274	11913
DP V	19000	17064	16697

DP IV dan DP V dengan porositas total 3D batuan 51,18% dan 60,2% termasuk dalam kelas porositas istimewa.

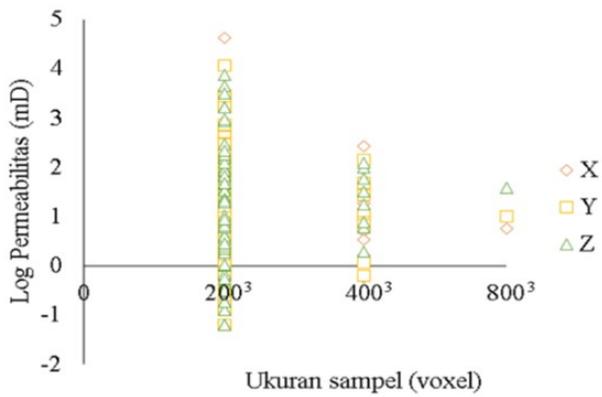
3.2.3 Analisa Permeabilitas

Perhitungan permeabilitas dilakukan terhadap sub sampel batuan ukuran 200³ voxel sebanyak 64 buah dengan renormalisasi. Kemudian akan menghasilkan sebanyak 8 data sampel nilai permeabilitas efektif berukuran 400³ voxel. 8 data berukuran 400³ akan direnormalisasi menjadi permeabilitas efektif sampel berukuran 800³ voxel. Perhitungan nilai permeabilitas ini dilakukan terhadap arah *x*, *y*, dan *z*. Tabel 3 menunjukkan nilai permeabilitas sampel batuan 800³ voxel hasil renormalisasi. Perhitungan permeabilitas dilakukan terhadap sub sampel batuan ukuran 200³ voxel sebanyak 64 buah dengan renormalisasi. Kemudian akan menghasilkan sebanyak 8 data sampel nilai permeabilitas efektif berukuran 400³ voxel. 8 data berukuran 400³ akan direnormalisasi menjadi permeabilitas efektif sampel berukuran 800³ voxel. Perhitungan nilai permeabilitas ini dilakukan terhadap arah *x*, *y*, dan *z*. Tabel 3 menunjukkan nilai permeabilitas sampel batuan 800³ voxel hasil renormalisasi.

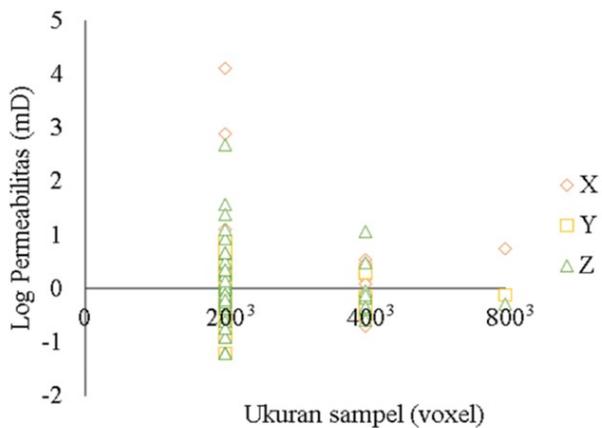
Data permeabilitas DP II menunjukkan bahwa permeabilitas pada arah *x*, *y*, dan *z* memiliki nilai yang berbeda-beda. Hal yang sama juga terjadi pada DP III, IV dan V. Namun demikian, semakin besar derajat pelapukan menunjukkan adanya kenaikan nilai permeabilitasnya. Ketika suatu batuan memiliki nilai permeabilitas yang berbeda pada semua arah (*x*, *y*, *z*) maka batuan tersebut cenderung memiliki susunan batuan yang heterogen. Susunan batuan yang tidak seragam atau heterogen akan mengakibatkan adanya anisotropi permeabilitas batuan. Derajat anisotropi permeabilitas dapat dihitung dengan membandingkan nilai permeabilitas pada setiap arah yang berbeda (Irayani dkk., 2019). Derajat anisotropi permeabilitas dihitung dengan membagi nilai permeabilitas arah *y* terhadap $x(k_y/k_x)$, arah *z* terhadap $x(k_z/k_x)$, serta arah *z* terhadap $y(k_z/k_y)$. Diperoleh Derajat anisotropi permeabilitas seperti tertera pada Tabel 4.

Tabel 4. Derajat anisotropi permeabilitas batuan DP II, DP III, DP IV, dan DP V

Sampel	Permeabilitas		
	k_y/k_x	k_z/k_x	k_z/k_y
DP II	1.76	6.70	3.8
DP III	0.85	0.57	0.66
DP IV	0.99	1.43	1.43
DP V	0.89	0.87	0.97



Gambar 12. Distribusi nilai permeabilitas sampel batuan DP II

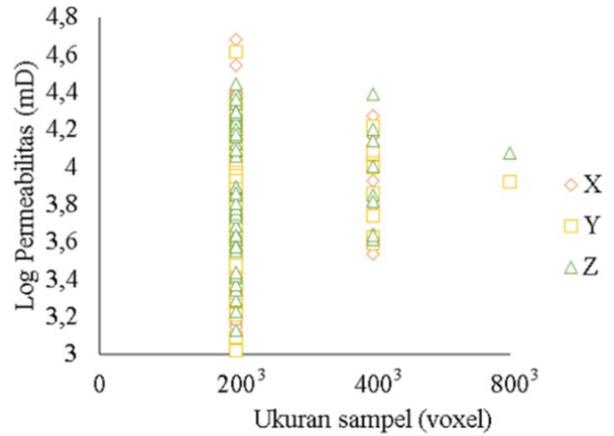


Gambar 13. Distribusi nilai permeabilitas sampel batuan DP III

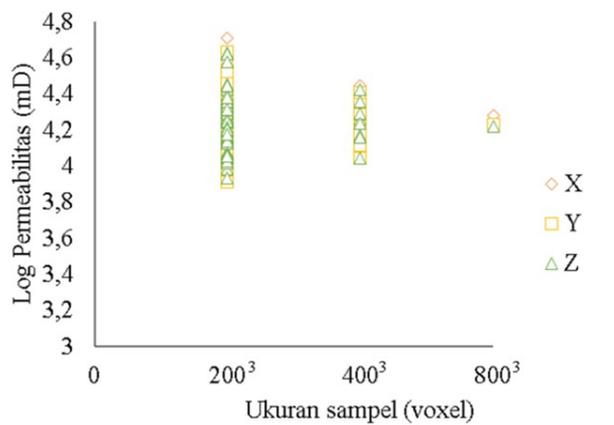
Hasil perhitungan anisotropi menunjukkan bahwa batuan DP V merupakan batuan yang paling isotropi dibandingkan dengan batuan yang lainnya. Suatu batuan akan cenderung memiliki medium isotropi saat hasil perhitungan derajat permeabilitasnya mendekati 1 (Irayani dkk., 2019). Berikut grafik distribusi nilai permeabilitas sampel batuan dengan ukuran 200^3 , 400^3 , dan 800^3 voxel yang tertera pada Gambar 12, Gambar 13, Gambar 14, dan Gambar 15.

3.3 Analisis Struktur Batuan

Analisis struktur batuan dilakukan untuk mengetahui struktur pori pada masing-masing sampel. Untuk mengetahui gambaran tersebut dapat dianalisis melalui gambar 2D sam-



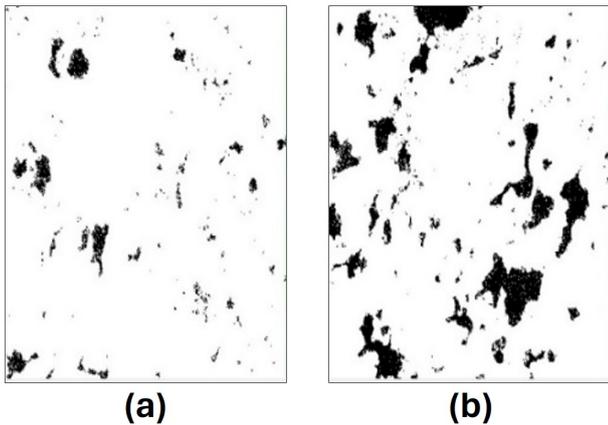
Gambar 14. Distribusi nilai permeabilitas sampel batuan DP IV



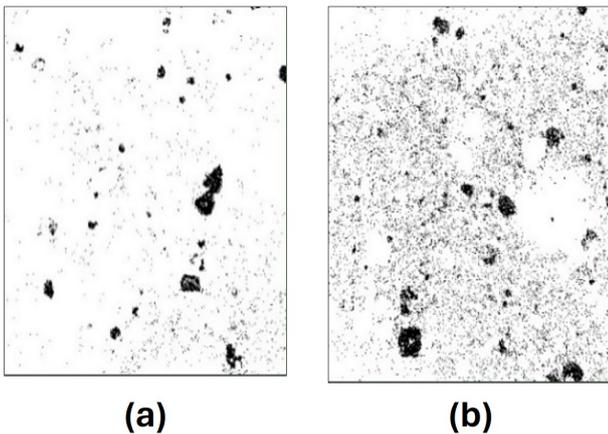
Gambar 15. Distribusi nilai permeabilitas sampel batuan DP V

pel batuan, pori digambarkan dengan warna hitam dan matriks digambarkan oleh warna putih. Analisis struktur pori dilakukan dengan membandingkan lapisan dengan porositas 2D paling rendah dengan lapisan yang memiliki nilai porositas 2D tertinggi. Hasil analisis struktur batuan dapat dilihat pada Gambar 16, Gambar 17, Gambar 18, dan Gambar 19.

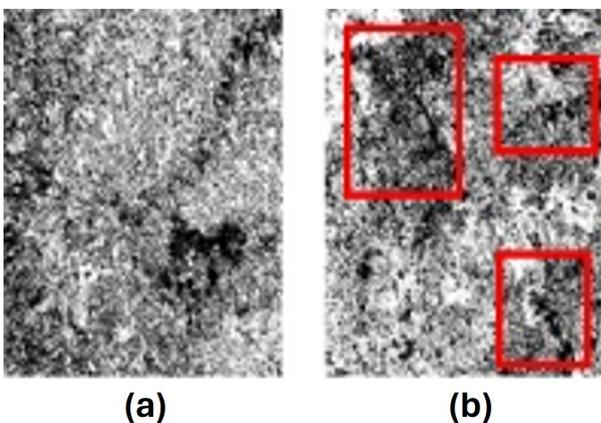
Berdasarkan Gambar 16 lapisan 2D DP II (a) memiliki nilai porositas total sebesar 2,88% sedangkan gambar (b) memiliki nilai porositas total sebesar 11,46%. Gambar (a) memiliki pori yang lebih sedikit dan ukuran porinya lebih kecil dibanding dengan gambar (b). Jumlah pori yang sedikit dan ukuran. Selanjutnya yaitu Gambar 17 gambar 2D batuan DP III pada lapisan ke-1 sebagai nilai porositas total terkecil dengan nilai 2,46% dan lapisan ke-414 sebagai nilai porositas total terbesar dengan nilai 8,31%. Batuan pada gambar (a) memiliki pori yang lebih sedikit dibanding gambar (b). Gambaran perbedaan 2D sampel batuan DP IV pada lapisan ke-171 sebagai nilai porositas total terkecil dengan nilai 44,02% dan lapisan ke-578 sebagai nilai porositas total terbesar dengan nilai 54,23%. Berdasarkan Gambar 18 memang tidak terlalu terlihat perbedaan struktur pori antar batuan, namun pada gambar (b) terdapat beberapa retakan (*crack*) yang cukup besar yang menyebabkan besarnya porositas batuan. *Crack* terlihat pada gambar dalam kotak berwarna merah. 2D sampel batuan DP V pada lapisan ke-



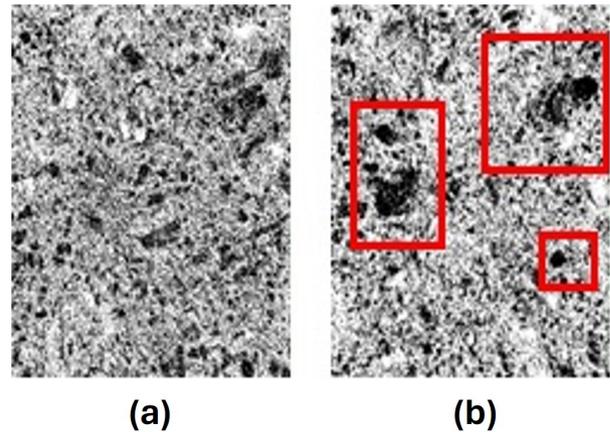
Gambar 16. Perbandingan ukuran pori pada (a) sampel batuan DP II slice ke-179 dan (b) sampel batuan DP II slice ke-659 ukuran 800² pixel²



Gambar 17. Perbandingan ukuran pori pada (a) sampel batuan DP III slice ke-1 dan (b) sampel batuan DP III slice ke-414 ukuran 800² pixel²



Gambar 18. Perbandingan ukuran pori pada (a) sampel batuan DP IV slice ke-171 dan (b) sampel batuan DP IV slice ke-578 ukuran 800² pixel²



Gambar 19. Perbandingan ukuran pori pada (a) sampel batuan DP V slice ke-289 dan (b) sampel batuan DP V slice ke-800 ukuran 800² pixel²

289 sebagai nilai porositas total terkecil dengan nilai 56,87% dan lapisan ke-800 sebagai nilai porositas total terbesar dengan nilai 61,89%. Berdasarkan Gambar 19 dapat dilihat perbedaan ukuran pori keduanya. Gambar (a) pori batuan DP V berukuran lebih kecil dibandingkan dengan gambar (b). Gambar (b) memiliki pori yang lebih banyak dan ukuran pori yang lebih besar dari gambar (a).

3.4 Analisis Derajat Pelapukan Sampel Batuan dan Kaitannya dengan Kelongsoran

Tanah longsor dapat terjadi akibat adanya gangguan keseimbangan gaya yang bekerja pada lereng, yaitu gaya penahan dan gaya peluncur. Besarnya gaya peluncur daripada gaya penahan pada suatu lereng akan menyebabkan ketidakseimbangan yang mengakibatkan massa tanah bergerak menuruni lereng (Naryanto, 2011; Naryanto dkk., 2016). Ada beberapa faktor yang mempengaruhi peluncuran tanah, salah satunya yaitu sifat fisis batuan atau tanah berupa porositas, permeabilitas, nilai kohesi dan sudut geser dalam tanah. Batuan DP II (batuan lapuk ringan) merupakan batuan yang termasuk pada zona paling bawah dari lapisan tanah yang didominasi oleh batuan segar. DP II memiliki porositas yang buruk (Koesoemadinata, 1980) dengan total sebesar 6,55% dan nilai permeabilitas batuan arah x sebesar 6,64 mD, arah y yaitu 9,93 mD, dan arah z 37,82 mD yang dikategorikan dalam kelas permeabilitas cukup hingga baik. Berdasarkan nilai porositas, permeabilitas dan representasi sampel batuan 3D DP II (Gambar 4) dapat dikatakan bahwa batuan DP II memiliki struktur yang cukup rapat. Pada penelitian ini DP III memiliki nilai porositas yang diabaikan (Koesoemadinata, 1980) dengan total sebesar 4,61% dan nilai permeabilitas arah x 0,89 mD, arah y 0,77 mD, dan arah z 0,51 mD yang termasuk kelas permeabilitas yang ketat. Merujuk pada hasil penelitian Gedian (2016) terhadap analisis kandungan mineral batuan di daerah Prendengan, DP III mengandung sedikit mineral lempung dan banyak mengandung mineral yang sulit melapuk dan bersifat keras. Menurut Saputra (2018) DP III didominasi oleh mineral kuarsa dan diisi sedikit mineral lempung berjenis *montmorillonite*. *Montmorillonite* merupakan mineral lempung yang

berjenis *feldspar* (kristal) yang bersifat hidrofobik atau tidak dapat larut dalam air (Edelman dan Favejee, 1940). Batuan DP III didominasi oleh breksi sehingga batuan bersifat kokoh dan tidak mudah tergerus (Mulyatini, 2017).

Sampel DP IV memiliki nilai porositas total yang besar yaitu 51,18% yang termasuk dalam porositas batuan kelas istimewa. Batuan DP IV memiliki nilai permeabilitas batuan arah x 8274 mD, arah y 8274 mD, dan arah z 11913 mD yang termasuk dalam kelas permeabilitas sangat baik. Selain itu batuan DP IV juga berorientasi pada susunan isotropi sehingga mengakibatkan pola aliran fluida lebih fleksibel ke segala arah. DP IV memiliki nilai porositas total yang besar yaitu 60,21% yang termasuk dalam kelas porositas istimewa. Batuan DP V memiliki nilai permeabilitas sangat tinggi yaitu arah x 19000 mD, arah y 17064 mD, dan arah z 16697 mD yang termasuk dalam kelas permeabilitas sangat baik. Selain itu batuan DP V memiliki derajat anisotropi yang nilainya mendekati 1 pada setiap arahnya sehingga batuan DP V berorientasi pada susunan isotropi yang mengakibatkan pola aliran fluida lebih fleksibel ke segala arah.

Besarnya porositas dan permeabilitas batuan pada DP IV dan DP V menunjukkan laju infiltrasi yang tinggi karena ruang kosong yang dapat dilalui fluida lebih besar. Ketika air yang diteruskan semakin banyak maka dapat memungkinkan terjadinya longsor. Akibat besarnya laju infiltrasi pada DP IV dan DP V, maka batuan DP IV dan DP V sangat berpotensi sebagai zona longsor pada Desa Prendengan. DP V memiliki potensi longsor yang lebih besar dari DP IV karena nilai porositas dan permeabilitas yang lebih besar daripada DP IV. Sehingga pada penelitian ini dapat disimpulkan bahwa DP IV dan DP V memiliki sifat porous permeable dengan pori yang saling terkoneksi satu sama lain dan sangat berpotensi sebagai bidang longsor sedangkan DP II DP III sebagai bidang gelincir pada daerah longsor desa Prendengan Kecamatan Banjarnangu Kabupaten Banjarnegara.

4 KESIMPULAN

(i) Batuan DP II memiliki porositas total sebesar 6,55% termasuk kelas porositas buruk, batuan DP III memiliki porositas sebesar 4,61% termasuk kelas porositas diabaikan, batuan DP IV memiliki nilai porositas sebesar 51,18% termasuk kelas porositas istimewa dan DP V memiliki nilai porositas sebesar 60,21% termasuk kelas porositas istimewa.

(ii) Batuan DP II dan DP III masing-masing termasuk kelas permeabilitas yang cukup dan ketat sehingga keduanya sulit untuk meloloskan fluida. Batuan DP IV dan DP V memiliki nilai permeabilitas yang besar dan termasuk kelas permeabilitas yang sangat baik sehingga memungkinkan semakin besar fluida yang diloloskan.

(iii) Nilai porositas dan permeabilitas yang rendah pada DP II dan DP III menunjukkan bahwa batuan tersebut memiliki susunan batuan yang kompak, bersifat kedap air dan tidak menyimpan air sehingga berpotensi sebagai bidang gelincir, khususnya pada DP III. Nilai porositas dan permeabilitas yang tinggi pada batuan DP IV dan DP V menunjukkan bahwa batuan tersebut memiliki susunan batuan yang lebih lapuk sehingga mudah meloloskan fluida dan berpotensi sebagai bidang longsor.

Pustaka

- BNPB (2019): Kajian Risiko Bencana Kabupaten Banjarnegara Provinsi Jawa Tengah 2019-2023. *Deputi Bidang Pencegahan dan Kesiapsiagaan Badan Nasional Penanggulangan Bencana, Banjarnegara*.
- Edelman, C.H. dan Favejee, J.C.L. (1940): On the crystal structure of montmorillonite and halloysite. *Zeitschrift für Kristallographie - Crystalline Materials*, **102**(1-6), 417–431, doi:doi:10.1524/zkri.1940.102.1.417.
- Fatinova, D. (2017): Analisis pengaruh fluida terhadap porositas dan permeabilitas batuan derajat pelapukan iv.
- Gediana, A. (2016): Analisis kandungan mineral batuan terhadap stabilitas lereng (studi kasus zona longsor desa prendengan kecamatan banjarnangu kabupaten banjarnegara).
- Ikhwan, K. (2016): Identifikasi bidang gelincir tanah longsor berdasarkan metode geolistrik tahanan jenis dan sifat fisis batuan di desa prendengan kecamatan banjarnangu kabupaten banjarnegara.
- Irayani, Z., Fauzi, U., Viridi, S. dan Latief, F.D.E. (2019): Calculation of anisotropy permeability from 3D tomographic images using renormalization group approaches and lattice Boltzmann method. *Journal of Petroleum Exploration and Production Technology*, **9**(2), 889–897, doi:10.1007/s13202-018-0558-9.
- Karim, M.R. dan Krabbenhoft, K. (2010): New Renormalization Schemes for Conductivity Upscaling in Heterogeneous Media. *Transport in Porous Media*, **85**(3), 677–690, doi:10.1007/s11242-010-9585-9.
- Koesoemadinata (1980): Geologi Minyak Dan Gas Bumi Jilid 2. Penerbit ITB.
- Mulyatini, A.S. (2017): Pengaruh saturasi fluida terhadap struktur mikro dan sifat fisis batuan pada derajat pelapukan iii.
- Naryanto, H. (2011): Analisis Risiko Bencana Tanah Longsor di Kabupaten Karanganyar, Provinsi Jawa. *Jurnal Dialog Penanggulangan Bencana*, **2**(1).
- Naryanto, H., Wisyanto, Sumargana, L., Ramadhan, R. dan Prawiradisastra, S. (2016): Kajian Kondisi Bawah Permukaan Kawasan Rawan Longsor Dengan Geolistrik Untuk Penentuan Lokasi Penempatan Instrumentasi Sistem Peringatan Dini Longsor Di Kecamatan Talegong, Kabupaten Garut. *Jurnal Riset Kebencanaan Indonesia*, **2**(2), 161–172.
- Ramadhani, G.Y. dan Lukito, H. (2021): Analisis Tipe dan Karakteristik Pada Lereng Longsor di Dusun Pencil, Desa Kalijering, Kecamatan Pituruh, Kabupaten Purworejo, Provinsi Jawa Tengah. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Lingkungan Kebumihan Ke-III*, **3**(1), doi:https://doi.org/10.31315/psb.v3i1.6250.
- Saputra, D. (2018): Analisis pengaruh material lapukan terhadap anisotropi permeabilitas pada batuan derajat pelapukan iii dan iv menggunakan teknik pengolahan citra digital.
- Supriyono, P. (2014): Seri Pendidikan Pengurangan Risiko Bencana Gempa Bumi. Andi Publishers, ISBN 978-979-29-2326-1.
- Utami, E. (2017): Prediksi Zona Reservoir Berbasis Atribut Data Log Sumur Dengan Metode Levenberg - Marquardt. Master's thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember.