

Analisis tipe gerakan tanah pada lereng Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango menggunakan metode kinematika

Moehammad Jasim Agi Saputra, Aang Panji Permana*, Noviar Akase

Program Studi Teknik Geologi Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

*Corresponding authors: aang@ung.ac.id

Submitted: 9 June 2023, Revised: 10 December 2023, Accepted: 20 December 2023

ABSTRACT: The Bulango Ulu Dam is one of the strategic projects built in Tuloa Village, North Bulango District, Bone Bolango Regency, Gorontalo Province. In building a dam, geological analysis and slope stability are very important to avoid the risk of collapse or structural failure. This research aims to conduct geological analysis and slope stability at the Bulango Ulu Dam using kinematics methods. The kinematics method is used to determine the type of ground movement on the dam slope and identify the probability value of failure. Geological data related to lithology, petrography, geological structure and geomorphology are collected through direct observations and in the laboratory. Then, this data is used to determine geological conditions, geological structure and geomorphology which are then interpreted in relation to slope stability. The research results show that the geomorphological units are alluvial plains and low structural hills. The lithology that makes up the slopes of the Bulango Ulu Dam is composed of alluvial units and granodiorite units. The geological structure that develops is in the form of tensile joints in a general direction east-west (E-W) and cut by tension joints in a general direction north-south (N-S). The type and probability of ground movement that occurs based on segment, namely on segment A-B slopes in the form of Wedges (21.65%), segment B-C slopes in the form of Wedges (12.27%), segment E-F slopes in the form of Wedges (15.12%), and segment slopes G-H is a Wedge (21.8%). Based on the results of kinematic and boundary equilibrium analysis, the slopes on the Bulango Ulu dam are in the stable category. This research recommends that there is no need to make changes to the geometry of the dam slope because the slope is in a stable condition.

KEYWORDS: dams; ground movement; kinematics methods.

ABSTRAK: Bendungan Bulango Ulu merupakan salah satu proyek strategis yang dibangun di Desa Tuloa, Kecamatan Bulango Utara, Kabupaten Bone Bolango, Provinsi Gorontalo. Dalam membangun sebuah bendungan, analisis geologi dan kestabilan lereng menjadi sangat penting untuk menghindari risiko keruntuhan atau kegagalan struktur. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan analisis geologi dan kestabilan lereng pada Bendungan Bulango Ulu dengan menggunakan metode kinematika. Metode kinematika digunakan untuk mengetahui tipe gerakan tanah pada lereng bendungan dan mengidentifikasi nilai probabilitas keruntuhan. Data geologi terkait dengan jenis litologi, petrografi, struktur geologi dan geomorfologi dikumpulkan melalui pengamatan langsung dan di laboratorium. Kemudian, data tersebut digunakan untuk mengetahui kondisi geologi, struktur geologi dan geomorfologi yang kemudian diinterpretasi hubungannya dengan kestabilan lereng. Hasil penelitian menunjukkan bahwa satuan geomorfologi yaitu satuan dataran alluvial dan perbukitan rendah structural. Litologi penyusun lereng bendungan bulango ulu tersusun dari satuan alluvial dan satuan granodiorite. Struktur geologi yang berkembang berupa kekar tarik dengan arah umum timur-barat (E-W) dan dipotong oleh kekar tension dengan arah umum utara-selatan (N-S). Tipe dan probabilitas gerakan tanah yang terjadi berdasarkan segmen yaitu pada lereng segmen A-B berupa Wedge (21.65%), lereng segmen C-D berupa Wedge (12.27%), lereng segmen E-F berupa Wedge (15,12%), dan lereng segmen G-H berupa Wedge (21,8%). Berdasarkan hasil analisis kinematika, lereng yang berada pada bendungan Bulango Ulu masuk kategori stabil. Penelitian ini merekomendasikan bahwa tidak perlu untuk melakukan perubahan geometri pada lereng bendungan dikarenakan lereng dalam keadaan stabil.

KATA KUNCI: bendungan; gerakan tanah; metode kinematika.

© The Author(s) 2020. This article is distributed under a Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International license.

1 PENDAHULUAN

Provinsi Gorontalo terkenal dengan potensi gempa yang tinggi, mulai dari kedalaman dangkal hingga sedang. Daerah Kabupaten Bone Bolango di wilayah ini juga kerap dilanda banjir dan terjadi longsor atau pergeseran tanah.

Di wilayah Kabupaten Gorontalo, terdapat beberapa formasi geologi yang terdiri dari Formasi

Bilungala (Tmbv), Diorit Bone (Tmb), Pinogu (Tqpv), Endapan Danau (Qpl), dan Batugamping Koral/Terumbu (Ql) (Apandi & Bachri, 1997). Kondisi geologi daerah Gorontalo telah banyak dilakukan penelitian yang lebih mendalam, yang menghasilkan identifikasi dan karakterisasi batuan baik batuan beku maupun batugamping (Marfian et al., 2023; Permana et al; 2021; 2022; 2023a; 2023b).

Bendungan merupakan struktur yang dibuat dengan tujuan untuk mengumpulkan dan menahan air saat musim hujan atau saat aliran sungai melebihi kebutuhan air untuk konsumsi, industri, irigasi, dan sebagainya. Rencananya, Balai Wilayah Sungai Sulawesi I berencana membangun bendungan di Desa Owata Mongiilo dan Tuloa, yang terletak di Kecamatan Bulango Utara, dengan memanfaatkan aliran Sungai Bulango sebagai sumber air yang akan ditampung.

Saat ini, pembangunan bendungan telah mencapai tahap konstruksi. Bendungan ini direncanakan memiliki tinggi 65,9 meter dan akan mencakup luas genangan seluas 690 hektar. Kestabilan bendungan sangat tergantung pada kondisi lereng di bagian sandaran bendungan. Kondisi geologi yang ada di lereng sandaran bendungan akan mempengaruhi potensi terjadinya gerakan tanah.

Gerakan tanah merujuk pada fenomena di mana material bergerak turun dari tempat yang lebih tinggi ke tempat yang lebih rendah akibat pengaruh gravitasi. Vernes (1978) menjelaskan bahwa gerakan tanah atau longsor terjadi ketika material yang membentuk lereng, seperti batuan asli, tanah yang mengalami pelapukan, bahan timbunan, atau kombinasi dari material tersebut, mengalami pergeseran ke arah bawah atau keluar dari lereng (Hansen, 1984; Karnawati, 2001; 2005; Noor, 2011; Faizana et al, 2015; Fajarulloh et al, 2020; Pasla et al, 2022).

Patuti et al (2017) telah mengkaji jenis pergeseran tanah di Kabupaten Bone Bolango dengan menggunakan data dari survei lokasi, survei geologi permukaan, dan penelitian geoteknik. Mereka menemukan bahwa daerah ini sering mengalami pergeseran tanah karena kondisi morfologi yang berbukit-bukit, lereng yang curam, dan tingkat pelapukan batuan yang signifikan.

Faktor utama yang dapat menyebabkan gerakan tanah dan batuan yang memiliki struktur yang lemah adalah perkembangan struktur geologi yang dapat mempengaruhi tingkat pelapukan dan jenis batuan yang kurang padat. Keadaan ini berpotensi menyebabkan lereng rentan terhadap gerakan tanah.

Penelitian detail mengenai kondisi geologi terkait potensi tipe gerakan tanah di daerah bendungan Bulango ulu sangat perlu dilakukan. Untuk itu tujuan penelitian ini adalah mengetahui kondisi geologi dan potensi tipe gerakan tanah menggunakan metode kinematika.

2 METODOLOGI

Secara administratif, lokasi penelitian berada di Daerah Tuloa, Kecamatan Bulango Utara. Koordinat tepatnya adalah $0^{\circ}39'32,42''$ lintang utara dan $123^{\circ}5'40,48''$ bujur timur. Lokasi penelitian mudah dijangkau dengan kendaraan bermotor dari pusat kota sekitar 20.2 kilometer (Gambar 1).



Gambar 1. Peta jalur dan jarak kesampaian di lokasi penelitian Bendungan Bulango Ulu (Google Earth, 2023)

Fokus penelitian berada pada lereng bagian utara (sandaran kiri) bendungan Bulango Ulu (Gambar 2). Penelitian yang digunakan terdiri dari kualitatif dan kuantitatif. Kualitatif meliputi survei geologi lapangan terdiri dari analisis kondisi geologi, *scanline* dan pengambilan sampel. Sedangkan analisis kuantitatif berupa analisis di laboratorium berupa analisis kinematika.



Gambar 2. Pengukuran data diskontinuitas segmen E-F pada sandaran kiri lereng bendungan

Metode *scanline* atau tali pindai sering disebut juga sebagai metode *line mapping*. Metode *scanline mapping* adalah metode yang umum digunakan dalam analisis kemiringan. Metode ini melibatkan pengumpulan data tentang bidang-bidang diskontinuitas dengan cara menjalankan tali secara melintang pada dinding lereng yang memiliki banyak rekahan dengan panjang dan kemiringan tertentu. Panjang *scanline* minimum untuk mengukur jarak diskontinuitas sekitar 50 kali jarak dari rata-rata yang hendak diukur (Noor & Solihin, 2017; Rumsowek & Birawaputra, 2019; Aulia & Wiloso, 2019; Yudhistira et al, 2021; Danuartha & Widiyanto, 2022; Hutagalung et al, 2023). Menurut Brown (1981) panjang ini cukup sekitar 10 kali, tergantung dari tujuan pengukuran *scanline*-nya.

Analisis kinematika merupakan pergerakan benda dengan tidak menghitung gaya-gaya yang menyebabkannya bergerak. Analisis kinematika dapat mengidentifikasi tipe gerakan tanah pada lereng. Analisis kinematika mengacu pada data orientasi struktur geologi terhadap orientasi lereng. Dimana data diperoleh dari pengukuran bidang-bidang diskontinuitas dan diproyeksikan dalam bidang stereografi untuk mengetahui tipe dan arah gerakan tanah. Data keteknikan seperti sudut geser dalam didapatkan dari hasil bor BD-2 dan hasil laboratorium yang di lakukan oleh PT. Utama Karya didapatkan sudut geser dalam 30° Proyeksi stereografi merupakan sebuah metode dengan memproyeksikan kondisi suatu struktur geologi yang berupa tiga dimensi menjadi dua dimensi dalam model stereografis (Hoek & Bray, 1981).

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penelitian menunjukkan dua satuan geomorfologi yakni satuan perbukitan rendah struktural (s1) dan satuan dataran alluvial (f1). Pembagian satuan morfologi mengacu klasifikasi van Zuidam (1983) yakni pendekatan morfometri. Satuan rendah struktural memiliki persentase kemiringan lereng sebesar 21-140 % yang menandakan bahwa satuan ini termasuk lereng curam-sangat curam dengan beda tinggi sekitar topografi 50-200 meter di atas permukaan laut. Survei langsung di lapangan sebagai bentuk analisis morfografi. Daerah penelitian berada pada perbukitan dengan lereng yang relatif terjal, lembahnya cenderung membentuk penampang menyerupai huruf "V" (Gambar 3).



Gambar 3. Kenampakan morfologi perbukitan terjal difoto dari puncak sandaran kanan

Litologi daerah penelitian terdiri atas satuan granodiorite dan satuan aluvial. Litologi penyusun pada satuan alluvial tersusun dari material lepas yang berukuran dari pasir hingga kerakal. Pada satuan granodiorit ini ada dua litologi penyusun yaitu granodiorit dan porfiri diorit kuarsa (Fenton, 1940) berdasarkan hasil pengamatan. Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan maka umur satuan ini sama dengan umur formasi Diorit Bone (Tmb).

Berdasarkan kenampakan dari satuan ini yang memiliki profil tebal serta ciri fisik litologi maka dapat diinterpretasikan bahwa satuan ini merupakan satuan intrusi dimana satuan ini mengalami pengangkatan (tektonik) mungkin sekitar miosen tengah-plistosen (Bachri, 2006). Hal ini dicirikan dengan adanya kenampakan dua litologi yang saling membentuk tidak seragam. Deskripsi batuan granodiorite merupakan litologi dominan yang dijumpai pada lereng bendungan sandaran kiri dengan keadaan batuan agak lapuk-lapuk berwarna putih kecoklatan yang menandakan batuan lapuk. Tekstur granularitas faneritik, struktur massif yang terdiri dari komposisi mineral berupa plagioklas, kuarsa, dan hornblade (Gambar 4). Berdasarkan sifat fisik dan komposisi mineral nama batuan ini adalah granodiorite (Fenton, 1940).



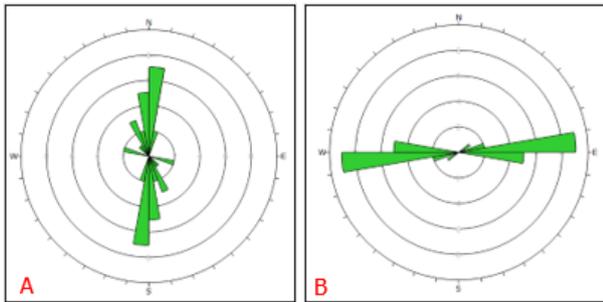
Gambar 4. Singkapan batuan beku granodiorit di lokasi penelitian

Struktur geologi pada daerah penelitian yang diamati langsung di lapangan merupakan struktur sekunder berupa kekar (Gambar 5). Pengambilan data kekar dilakukan dengan membedakan mana kekar yang memotong dengan kekar yang dipotong agar dapat mengetahui pengaruh gaya pertama dan kedua yang bekerja di daerah penelitian. Dalam pengamatan kekar di lapangan diperoleh yaitu kekar tarik yang terisi oleh mineral kalsit yang dipotong oleh kekar tension sehingga dapat diinterpretasikan bahwa kekar tension tersebut merupakan kekar yang lebih muda. Lebar dari bukaan kekar tarik tersebut berkisar antara 0.1-5 cm dan pada umumnya sangat sukar untuk dapat diamati. Struktur kekar yang telah dijumpai di ukur langsung di lapangan dan selanjutnya diolah menggunakan program Dips.



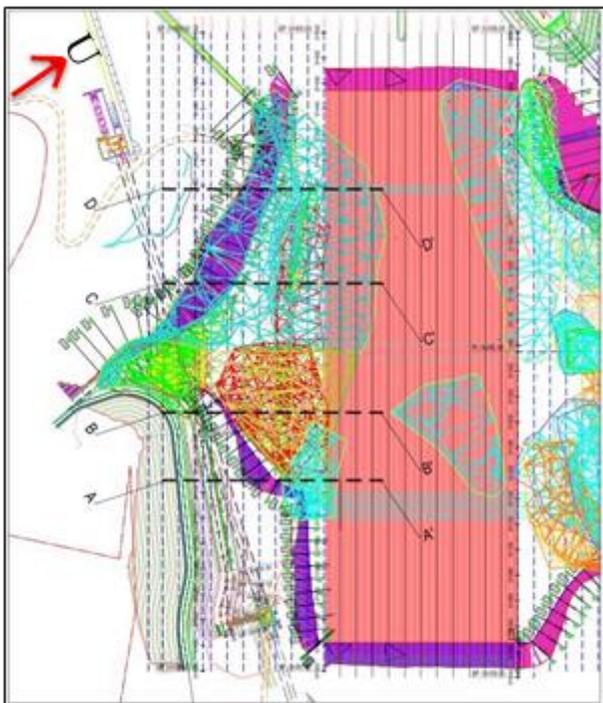
Gambar 5. Kenampakan struktur geologi kekar pada lereng bendungan

Hasil analisis dari data kekar tarik pada lereng bendungan dengan menggunakan diagram rose didapatkan nilai arah umum yaitu berarah utara-selatan (A), pada hasil analisis data kekar tension didapat nilai arah umum yaitu berarah timur-barat (B) (Gambar 6). Dimana pada daerah ini mengalami pengaruh struktur geologi yang sangat intensif dicirikan dengan tekstur batuan yang getas dan adanya struktur kekar tidak sistematis dimana kekar tersebut mengalami lebih dari satu kali aktivitas tektonik.



Gambar 6. Analisis kekar tarik (*tension joint*) pada lereng bendungan menggunakan diagram *rose* kekar tarik N-S (A) dan kekar tarik W-E (B) pada lereng bendungan

Daerah penelitian dipengaruhi struktur geologi yang sangat intensif dicirikan dengan tekstur batuan yang getas dan adanya struktur kekar tidak sistematis. Dimana kekar tersebut mengalami lebih dari satu kali fase aktivitas tektonik.



Gambar 7. *Cross section* untuk pemodelan geometri lereng Bendungan Bulango Ulu (PT Hutama Karya, 2023)

Untuk pengukuran *scanline* dilakukan pada sepanjang lereng bendungan dan dibagi menjadi 4 segmen (Gambar 7). *Scanline* didapatkan dengan melakukan pengukuran langsung di lapangan dengan membentangkan meteran atau alat ukur lainnya dimana pengukuran dibagi menjadi 4 segmen pada tiap segmen dibentangkan sepanjang 20 meter. Berikut hasil dari tiap segmen pengambilan data diskontinuitas:

3.1 Scanline pada Segmen A-B

Pengambilan data pada segmen A-B dilakukan pada koordinat 0°39'30,3" N, 123°05'46,6" E dengan kondisi cuaca cerah. Berdasarkan pengukuran geometri didapat arah dari *strike/dip* lereng yaitu N 255°E/60°. Data hasil pengukuran *scanline* pada bidang diskontinuitas didapatkan 22 data diskontinu. Beberapa bidang diskontinu terisi oleh kalsit dengan kondisi bukaan dari 0.1-0.5 cm dengan tingkat pelapukan agak lapuk-lapuk.

3.2 Scanline pada Segmen C-D

Pengambilan data pada segmen C-D dilakukan pada koordinat 0°39'30,2" N, 123°05'44,5" E dengan kondisi cuaca cerah. Berdasarkan pengukuran geometri didapat arah dari *strike/dip* lereng yaitu N 274°E/59°. Data hasil pengukuran *scanline* pada bidang diskontinuitas didapatkan 35 data diskontinu. Beberapa bidang diskontinu terisi oleh kalsit dengan kondisi bukaan dari 0.1-0.5 cm dengan tingkat pelapukan agak lapuk-lapuk.

3.3 Scanline pada Segmen E-F

Pengambilan data pada segmen E-F dilakukan pada koordinat 0°39'30,2" N, 123°05'41,6" E dengan kondisi cuaca cerah. Berdasarkan pengukuran geometri didapat arah dari *strike/dip* lereng yaitu N 351°E/63°. Data hasil pengukuran *scanline* pada bidang diskontinuitas didapatkan 32 data diskontinu. Beberapa bidang diskontinu terisi oleh kalsit dengan kondisi bukaan dari 0.1-0.5 cm dengan tingkat pelapukan agak lapuk-lapuk.

3.4 Scanline pada Segmen G-H

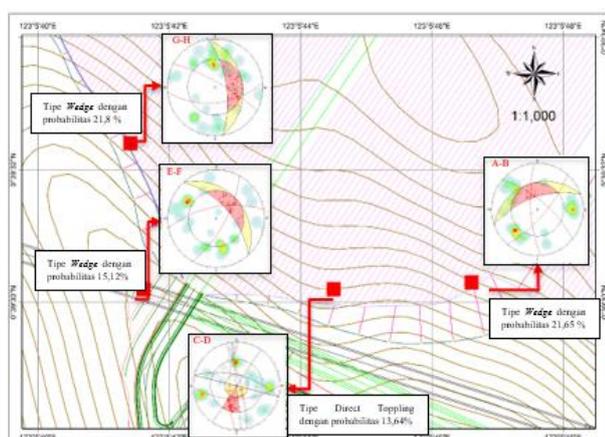
Pengambilan data pada segmen G-H dilakukan pada koordinat 0°39'32,4" N, 123°05'41,4" E dengan kondisi cuaca cerah. Berdasarkan pengukuran geometri didapat arah dari *strike/dip* lereng yaitu N 351°E/63°. Data hasil pengukuran *scanline* pada bidang diskontinuitas didapatkan 26 data diskontinu. Beberapa bidang diskontinu terisi oleh kalsit dengan kondisi bukaan dari 0.1-0.5 cm dengan tingkat pelapukan agak lapuk-lapuk (Tabel 1).

Analisis potensi tipe gerakan tanah dilakukan pada lereng pengukuran *scanline* untuk mengidentifikasi tipe dan arah gerakan tanah menggunakan metode kinematika stereografis dengan bantuan *software rocscience dips* 6.0.

Tabel 1. Hasil pengukuran *scanline* di lereng Bendungan Bulango Ulu

Segmen	Banyaknya Data	Strike/Dip Lereng
A-B	22	N 255°E/60°
C-D	44	N 284°E/59°
E-F	32	N 351°E/63°
G-H	26	N 351°E/63°

Tipe gerakan tanah dimodelkan menggunakan data pengukuran bidang diskontinuitas dan dikorelasikan terhadap arah dan kemiringan lereng. Hasil analisis kinematika dianalisis menggunakan metode proyeksi stereografi dengan mengacu pada klasifikasi tipe gerakan tanah oleh Hoek & Bray (1981) (Gambar 8).

**Gambar 8.** Hasil analisis tipe gerakan tanah pada lereng bendungan

3.5 Tipe dan Probabilitas Gerakan Tanah Segmen A-B

Analisis kinematika pada lereng segmen A-B dengan kedudukan lereng N 255°E/60° dan sudut geser dalam sebesar 30°. Berdasarkan persebaran bidang diskontinuitas menunjukkan adanya tipe gerakan tanah *wedge* dengan probabilitas *wedge* 21.65 %. Dimana tipe gerakan tanah ini terjadi akibat adanya dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan searah dengan arah lereng.

3.6 Tipe dan Probabilitas Gerakan Tanah Segmen C-D

Analisis kinematika pada lereng segmen C-D dengan kedudukan lereng N 284°E/59°, dan sudut geser dalam sebesar 30°. Berdasarkan persebaran bidang diskontinuitas menunjukkan adanya tipe gerakan tanah *Toppling Failure* dengan persentase probabilitas *direct toppling* sebesar 13.64%. Dimana gerakan tanah ini terjadi akibat adanya intensitas rekahan dengan arah yang berlawanan dengan arah

lereng. Sehingga hal ini mengakibatkan adanya perputaran blok batuan.

3.7 Tipe dan Probabilitas Gerakan Tanah Segmen E-F

Analisis kinematika pada lereng segmen E-F dengan kedudukan lereng N 351°E/63°, dan sudut geser dalam sebesar 30°. Berdasarkan persebaran bidang diskontinuitas menunjukkan adanya tipe gerakan tanah *Wedge* dengan probabilitas *Wedge* sebesar 15.12%. Dimana tipe gerakan tanah ini terjadi akibat adanya dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan searah dengan arah lereng.

3.8 Tipe dan Probabilitas Gerakan Tanah Segmen G-H

Analisis kinematika pada lereng G-H dengan kedudukan lereng N 318°E/58°, dan sudut geser dalam sebesar 30°. Berdasarkan persebaran bidang diskontinuitas menunjukkan adanya tipe gerakan tanah *Wedge* dengan probabilitas *Wedge* sebesar 21.8 %. Dimana tipe gerakan tanah ini terjadi akibat adanya dua bidang diskontinuitas yang saling berpotongan searah dengan arah lereng.

4 KESIMPULAN

Mengacu hasil dan pembahasan penelitian Analisis Potensi Tipe Gerakan Tanah Menggunakan Metode Kinematika Pada Lereng Bendungan Bulango Ulu Kabupaten Bone Bolango maka dapat ditarik beberapa kesimpulan penting. Pertama, kondisi geologi daerah penelitian terdiri dari satuan granodiorite dan endapan alluvial sedangkan satuan geomorfologi tersusun atas satuan perbukitan rendah struktural (s1) dan satuan dataran alluvial (f1). Kedua, potensi tipe gerakan tanah pada lereng Bendungan Bulango Ulu didominasi tipe *wedge* 3 segmen dan *direct toppling* hanya 1 segmen. Tipe *direct toppling* hanya didapatkan pada segmen C-D dan ketiga segmen lainnya bertipe *wedge*. Hasil nilai probabilitas dari masing-masing segmen berurut sebesar 21.65 %, 13.64%, 15.12% dan 21.8 %. Dimana pada segmen 1 dan 4 memiliki nilai probabilitas yang paling tinggi.

Saran untuk penelitian geoteknik lanjutan di lokasi penelitian adalah perlunya dilakukan analisis geologi bawah permukaan dengan menggunakan alat bantu geolistrik. Hal ini penting agar mengetahui lapisan batuan di bawah permukaan bumi sekaligus bidang kontak serta struktur geologi.

DAFTAR PUSTAKA

- Apandi, T., & Bachri, S. (1997). *Peta Geologi Lembar Kotamobagu, Sulawesi*. Direktorat Geologi.
- Aulia, M, R., & Wiloso, D, A. (2019). Analisis Kestabilan Lereng untuk Gerakan Massa Berdasarkan Metode Scanline di Daerah Tegalrejo dan Sekitarnya, Kecamatan Gedangsari, Kabupaten Gunungkidul, Daerah Istimewa Yogyakarta. *Jurnal Teknomineral*, 1(2), 88-96.

- Bachri, S. (2006). Stratigrafi Lajur Volkano-Plutonik Daerah Gorontalo, Sulawesi. *Jurnal Geologi Dan Sumberdaya Mineral*, 16(2), 94–106.
- Brown, E.T. (1981). *Rock Characterization, Testing & Monitoring: Isrm Suggested Methods*. Pergamon Press, 211 p.
- Danuartha & Widiyanto, H. (2022). Analisis Kekuatan Massa Batuan dan Stabilitas Lereng Intake Bendungan Bener Berdasarkan Metode Empiris, Analitis, dan Numerik. *Jurnal Geosains dan Teknologi*, 5(1), 16-25.
- Faizana, F., Nugraha, A. L., & Yuwono, B. D. (2015). Pemetaan risiko bencana tanah longsor Kota Semarang. *Jurnal Geodesi Undip*, 4(1), 223-234.
- Fajarulloh, A, S., Ariwibowo, K, L., Habib, A, N., & Musthofa. (2020). Analisis Gerakan Tanah di Daerah Sekaran dan Sekitarnya Beserta Rekomendasi Penanggulangannya. *Paradigma Jurnal Multidisipliner Mahasiswa Pascasarjana*, 1(1), 1-10.
- Fenton, C. L., & Fenton, M. A. (1940). *The Rock Book*. Doubleday & Company, Inc. Garden City. New York.
- Hansen, M, J. (1984). *Strategies for Classification of Landslides*. (ed.:Brunsden, D, & Prior, D.B., 1984), Slope Instability, John Wiley & Sons, New York, USA.
- Hoek, E., & Bray, J.D. (1981). *Rock Slope Engineering*. Crc Press.
- Hutagalung, R., Permana, A, P., Eraku, S,S., Isa, D, R., & Ghaneswara, O, A. (2023). Mass movement analysis in Dumbo Raya Area based on rock quality. *AIP Conference Proceedings*, 2614, 050034-1–050034-5; <https://doi.org/10.1063/5.0125904>
- Karnawati, D. (2001). *Bencana Alam Gerakan Tanah Indonesia Tahun Th 2000 (Evaluasi dan Rekomendasi)*. Yogyakarta: Jurusan Teknik Sipil-Universitas Gadjah Mada
- Karnawati, D. (2005). *Bencana alam gerakan massa tanah di Indonesia dan upaya penanggulangannya*. Jurusan Teknik Geologi, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Marfian, F., Permana, A., & Akase, N. (2023). Study of Petrogenesis Andesite Rock in Bualemo Region, North Gorontalo Regency Based on XRF Geochemistry Analysis. *Jambura Geoscience Review*, 5(1), 63-70. doi:<https://doi.org/10.34312/jgeosrev.v5i1.16941>
- Noor, D. (2011). *Geologi Untuk Perencanaan*. Graha Ilmu: Yogyakarta.
- Noor, D., & Solihin. (2017). Kajian Geoteknik Kestabilan Lereng di Daerah Quarry Hambalang, Kecamatan Citeureup Kabupaten Bogor, Jawa Barat. *Jurnal Teknik*, 18(1), 34-42.
- Pasla, F, R., Sompie, O, B, A., & Rondonuwu, S, G. (2022). Kajian Gerakan Tanah dan Penanggulangannya pada Ruas Jalan Worotican-Poopo-Sinisir Propinsi Sulawesi Utara. *Jurnal Ilmiah Media Engineering*, 12(1), 81-98.
- Patuti, I.M., Rifa'i, A. & Suryolelono, K.B. (2017). Mechanism and Characteristics of the Landslides in Bone Bolango Regency, Gorontalo Province, Indonesia. *Geomate Journal*, 12(29), 1–8.
- Permana, A.P., Pramumijoyo, S., Akmaluddin & Barianto, D.H. (2021). Planktonic foraminiferal biostratigraphy of the Limboto Limestone, Gorontalo Province, Indonesia. *Kuwait Journal of Science*, 48(1). 116-126. <https://doi.org/10.48129/kjs.v48i1.6916>
- Permana, A.P., Eraku, S.S., Hutagalung, R., & Isa, D.R. (2022). Limestone Facies and Diagenesis Analysis in the Southern of Gorontalo Province, Indonesia. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences*, 6 (456), 185-195. <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X.248>
- Permana, A.P., Hutagalung, R., Eraku, S, S., Isa, D, R., & Suaib, A. (2023a). Kajian Lingkungan Pengendapan Batugamping Daerah Leato Selatan Kota Gorontalo Berdasarkan Analisis Mikrofasies. *Jurnal Geosapta*, 9(1), 83-86. <http://dx.doi.org/10.20527/jg.v9i1.13430>
- Permana, A, P., Marfian, F., Akase, N., & Kasim, M. (2023b). Characteristics of Volcanic Rock In The Bualemo Area, North Gorontalo District Based On Petrographic Analysis. *E3S Web of Conferences*, 400, 01011. 1-4. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202340001011>
- PT Utama Karya. (2023). Cross section pemodelan geometri lereng Bendungan Bulango Ulu.
- Rumsowek, P, D., & Birawaputra, I. (2019). Analisis Kestabilan Lereng Penambangan Nikel Pada PT Gag Nikel Dengan Menggunakan Metode Bishop. *INTAN Jurnal Penelitian Tambang*, 2(2), 147-154.
- Varnes, D.J. (1978). *Slope Movement Types and Processes*. Special Report, Vol. 176, 11–33
- Van Zuidam, R.A. (1983). *Guide To Geomorphologic Aerial Photographic Interpretation And Mapping*. International Institute For Geo-Information Science And Earth Observation, Enschede, The Netherlands, 325.
- Yudhistira, J., Assegaf, A., Adhitama, R., & Setiaji, L, B. (2021). Analisis Scanline Struktur Geologi Daerah Nglanggran, Kecamatan Patuk, Kabupaten Gunung Kidul. *Journal of Geoscience Engineering & Energy (JOGEE)*, II(2), 181-190.