



ANALISIS KELAS MASSA BATUAN TERHADAP KESTABILAN LERENG BENDUNGAN LOLAK MENGGUNAKAN METODE ROCK MASS RATING

Fahmy Idris Muarif^a, Sri Maryati^b, Ronal Hutagalung^a

^aTeknik Geologi, Universitas Negeri Gorontalo, Jl. B.J Habibie, Bone Bolango, 96119, Indonesia

^bDepartment of Earth Science and Technology, Universitas Negeri Gorontalo, Indonesia

email: fahmyidrism@gmail.com

INFO ARTICLE

Sejarah artikel:

Diterima: 03 October 2022

Direvisi: 07 November 2022

Diterbitkan :31 December 2022

Kata Kunci:

Kestabilan Lereng, Kelas Massa Batuan, Bendungan

How to cite this article:

Muarif, F.I. (2022). Analisis Kelas Massa Batuan Terhadap Kestabilan Lereng Bendungan Lolak Menggunakan Metode Rock Mass Rating. *Journal of Applied Geoscience and Engineering*, 1(2), 61-75. Doi:<https://doi.org/10.34312/jage.v1i2.15507>

ABSTRACT

The process of displacement or movement of slope stability constituent materials followed by the sedimentation process of the deposited material is a landslide event. The negative impact of the landslide if it occurs in residential areas, can cause material and infrastructure losses, or economic losses in the affected area if the landslide products can cover the road access. The purpose of this study was to determine the level of rock mass and its effect on slope stability, and to determine the rock mass quality of the study area. The research method used was a field survey and data collection for rock mass rating (RMR) parameters. The survey included lithological surveys on the rock outcrops of the left bank of the dam, observations of outcrops and rocks, observations of RMR parameters, measurements of geological structures, and taking rock samples. The quality of the rock mass was analyzed by adding up the weights of the parameters and sub parameters of the RMR. The research area location is Lolak Dam. Based on the results of the analysis carried out, the conclusion is that the observations starting from station 1, station 2, station 3, and station 4 show moderate-good rock strength. The condition of the discontinuity shows continuity of less than 1 meter, the aperture of discontinuity is open to a bit wide, with varying roughness, namely coarse, and slightly coarse, with the infilling material calcite veins. The level of weathering starts from weathered to very weathered. Groundwater conditions are dominated by discontinuities that have a dry level. Based on the discontinuity characteristic, station 1 has good rock mass class, station 2 has medium rock mass class, station 3 has medium rock mass class, and station 4 has good rock mass class. this value can be used as a reference value for the next stage of decision making regarding the strengthening of the slopes in the study area.

1. PENGANTAR

Peristiwa tanah longor merupakan suatu proses perpindahan ataupun pergerakan suatu material yang menjadi penyusun stabilitas lereng dan juga disertai oleh proses sedimentasi material yang terendapkan (Karnawati, 2007). Menurut Widagdo dan Setijadi (2015), salah satu aspek pemicu terbentuknya tanah longor yaitu kualitas massa batuan. Imbas negatif dari peristiwa tanah longor itu sendiri ialah berbentuk ancaman keselamatan serta korban jiwa disekitar posisi longor khususnya bila berlangsung di wilayah pemukiman, bisa menimbulkan kerusakan yang merugikan baik dari segi material ataupun infrastruktur, maupun kerugian perekonomian suatu wilayah yang mengalami bencana contohnya jika material dari tanah longor merusak akses jalan masyarakat (Karnawati, 2007).

Selama proses pembangunan Bendungan Lolak, seringkali terjadi longsor. Berdasarkan data observasi awal, kerusakan yang terjadi dari tanah longor tersebut membuat sandaran kiri waduk terjadi longsor ketika hampir pada tahap penyelesaiannya. Hal ini tentu dapat menyebabkan ancaman keselamatan pada sandaran kiri waduk serta kerugian akibat adanya peristiwa longsor

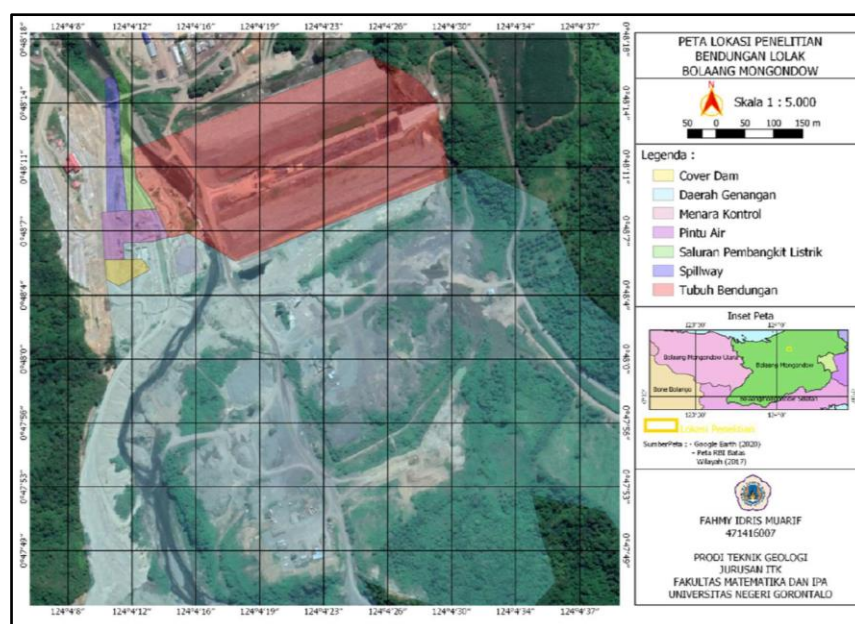
tersebut. Melihat pentingnya pembangunan Bendungan Lolak serta lokasi pembangunan yang termasuk dalam kategori gempa tinggi dan dipengaruhi oleh subduksi lengan Utara Sulawesi yang menjadikan lokasi ini rawan akan adanya peristiwa longsor, maka perencanaan teknis yang mendetail terkait geologi teknik perlu dilakukan. Penelitian dan perencanaan yang mendetail ini dapat meminimalisir dampak yang ditimbulkan dari peristiwa tanah longsor tersebut. Menurut Koem *et al.*, (2019) kebencanaan berlangsung secara tidak terduga baik dari segi waktu, tempat serta tingkatan kerusakan yang ditimbulkan. Bendungan Lolak ialah jenis bendungan zonal dengan inti tegak, dimana inti tegak zona kedap airnya terletak di dalam bagian tengah badan bendungan dengan kedudukan vertikal yang sangat berpotensi terhadap rembesan (Silo & Suyoko, 2019). Penelitian mengenai daya dukung batuan pada bawah permukaan perlu dilakukan (Zainuri & Sota, 2017).

Penggunaan metode *rock mass rating* ditujukan guna mengetahui nilai keteknisan batuan untuk dapat mengatasi masalah dan mengambil keputusan di lapangan dengan cepat agar nantinya permasalahan longsor bidang pada sandaran kiri Bendungan Lolak dapat teratasi. Pemecahan tersebut dapat diatasi dengan metode *rock mass rating* yang secara luas digunakan ataupun kemudian dimodifikasi sesuai keperluan data yang dibutuhkan. Dalam penelitian ini, dilakukan pengamatan kondisi bawah permukaan menggunakan *core logging*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengenali tingkatan massa batuan serta pengaruhnya dalam stabilitas lereng, serta membuat peta mutu massa batuan wilayah penelitian. Penelitian mengenai kondisi bawah permukaan pernah dilakukan oleh Manyoc & Hutagalung (2020) dengan menggunakan metode geolistrik sementara dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode *core logging* dan *rock mass rating*. Analisis stratigrafi pada daerah penelitian juga dilakukan seperti pada penelitian Permana (2017), akan tetapi dalam penelitian ini, analisis stratigrafi hanya berdasarkan data *core logging*.

2. METODE

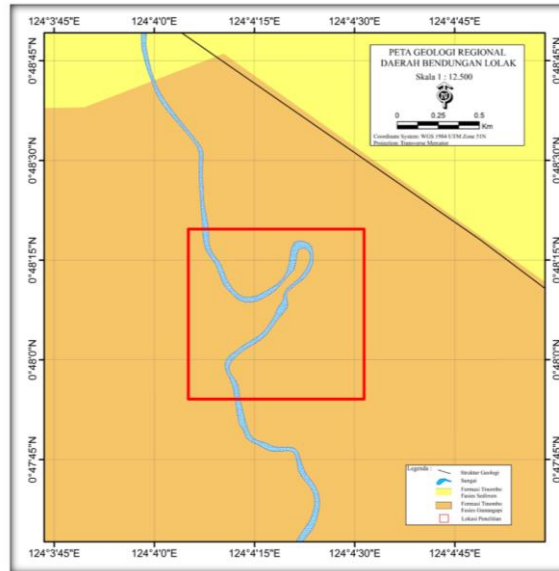
2.1. Lokasi Penelitian

Daerah penelitian berada dilokasi dengan koordinat $00^{\circ}48'17.4''$ - $00^{\circ}48'19.1''$ LU dan $124^{\circ}04'00.7''$ - $124^{\circ}04'35.7''$ BT. Secara administratif, lokasi pengambilan data lapangan berada di Desa Pindol, Kecamatan Lolak, Kabupaten Bolaang Mongondow, Provinsi Sulawesi Utara. Daerah penelitian ini sama dengan lokasi penelitian yang dilakukan oleh (Arifin *et al.*, 2020) yang mengkaji tentang merkuri di Kabupaten Bolaang Mongondow sedangkan dalam penelitian ini berbeda yang mengkaji tentang geologi teknik. Daerah penelitian ini juga masuk dalam daerah kontrak Balai Wilayah Sungai Sulawesi -1 sebagai pemegang proyek bendungan dan PT Indra Karya (Persero) selaku konsultan proyek. Peta lokasi penelitian dapat dilihat pada Gambar 1.



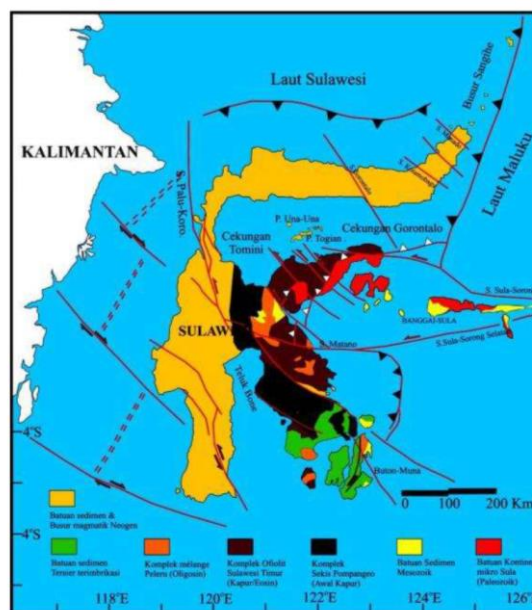
Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Stratigrafi Regional daerah penelitian ini mengacu pada Peta Geologi Lembar Kotamobagu (Apani dan Bachri, 1997) yaitu Formasi Tinombo Fasies Sedimen (Tets): Serpih dan batupasir dengan sisipan batugamping dan rijang. Serpih kelabu dan merah, getas, sebagian gampingan; rijang mengandung radiolarian. Formasi Tinombo Fasies Gunungapi (Tets) : Lava basal, lava andesit, selingan batupasir hijau, batulanau hijau, sedikit konglomerat, batugamping merah dan kelabu. Penelitian pada Formasi Tinombo pada Lembar Kotamobagu juga dilakukan oleh Kasim *et al* (2017).



Gambar 2. Peta Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang dijumpai pada daerah Sulawesi bagian utara adalah kekar, lipatan dan sesar. Sesar normal dominan berarah barat laut-tenggara dan sebagian kecil mempunyai arah timurlaut-baratadaya. Daerah ini berada di sebelah timur bagian lengan utara Sulawesi yang merupakan busur gunungapi yang terbentuk akibat tunjaman ganda, yaitu lajur tunjaman Sulawesi Utara di bagian utara lengan utara Sulawesi dan lajur tunjaman Sangihe timur di bagian timur dan selatan lengan utara (Simanjuntak, 1986).



Gambar 3. Peta Geotektonik Pulau Sulawesi (Simanjuntak, 1986)

2.2 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan berupa metode survei lapangan dan pengambilan data parameter *rock mass rating* (RMR). Data-data yang dikumpulkan dari lapangan berupa posisi lokasi pengamatan, litologi, struktur geologi, pengukuran parameter-parameter RMR, contoh batuan, dan foto lapangan yang bersifat informatif. Pengambilan data yang dilakukan adalah antara lain yang berhubungan dengan parameter-parameter dalam metode RMR dengan cara pengamatan secara langsung di lapangan seperti pengukuran bentangan scanline, melakukan deskripsi terhadap kondisi diskontinuitas, kemudian melakukan pengambilan contoh batuan dengan tujuan melakukan analisis megaskopis untuk menunjang data RMR. Analisis kualitas massa batuan dengan metode RMR diklasifikasikan dengan menjumlahkan bobot dari parameter-parameter maupun sub parameter dari RMR tersebut, diantaranya kekuatan batuan utuh (*intact rock*), *rock quality design* (RQD), jarak diskontinuitas, kondisi diskontinuitas yang meliputi (*persistensi, aperture, roughness, infilling, dan weathering*), serta kondisi air tanah dalam bidang diskontinuitas.

3. HASIL DAN DISKUSI

3.1 Analisis Pemboran Inti (*Core Logging*)

Hasil analisis pemboran inti didapatkan dari hasil pengeboran (*core logging*) sebanyak 3 titik bor pada sepanjang sandaran kiri bendungan, dimana didapati litologi berupa Batulempung, Batupasir, Serpih, Basalt dan Sekis. Seluruh jenis batuan tersebut terdapat pada titik bor BTN 1, BTN 2 dan BTN 3. Pada pengeboran BTN – 1, Pemboran inti dilakukan sampai kedalaman 50 m. Litologi berupa Batulempung Kerikilan pada kedalaman 1 - 3 m, pada kedalaman 3 – 5 m litologi berupa Serpih Kerikilan, kedalaman 5 - 20 m litologi berupa Batupasir tufaan kerikilan, kedalaman 20 - 23 m litologi berupa batupasir kasar d, dan pada kedalaman 23 - 50 m litologi berupa Batuan Beku Basalt. Litologi Batulempung memiliki karakteristik berwarna abu-abu kecoklatan, karbonatan, porositas baik, kurang kompak, besar butir lempung. Kontak antara litologi batulempung dengan serpih dapat dilihat pada Gambar 4. Pada titik bor BTN 1 dan BTN 2 diperkirakan pada kedalaman 3-4 meter, dimana dari data pemboran inti nampak jelas terdapat kontak batuan yang mana litologi batulempung berada di atas litologi serpih.



Gambar 4. Litologi batulempung *core box* BTN-1.

Litologi serpih memiliki karakteristik berwarna abu-abu kecoklatan, serpih terdapat fragmen batupasir, lapuk, plastisitas sedang. Kontak antara litologi serpih dengan batupasir dapat dilihat pada Gambar 6 pada titik bor BTN 1 dan BTN 2 diperkirakan pada kedalaman 5-6 meter, dimana dari data pemboran inti nampak jelas terdapat kontak batuan yang mana litologi serpih berada di atas litologi batupasir.



Gambar 5. Litologi serpih *core box* BTN-3.

Litologi batupasir memiliki karakteristik berwarna abu-abu terang, mx pasir halus, non karb, poros baik, ukuran pasir halus - pasir kasar. Kontak antara litologi batupasir dengan basalt dapat dilihat pada Gambar 6 pada titik bor BTN 1 dan BTN 2 diperkirakan pada kedalaman 23-24 meter, dimana dari data pemboran inti nampak jelas terdapat kontak batuan yang mana litologi batupasir berada di atas litologi basalt.



Gambar 6. Litologi batupasir *core box* BTN - 1.

Litologi basalt memiliki karakteristik berwarna abu-abu gelap, kurang kompak, banyak yang terkekarkan terisi mineral kuarsa. Kontak antara litologi basalt dengan sekis dapat dilihat pada Gambar 7 pada titik bor BTN 2 dan BTN 3 diperkirakan pada kedalaman 43-44 meter, dimana dari data pemboran inti nampak jelas terdapat kontak batuan yang mana litologi basalt berada di atas litologi sekis.



Gambar 7. Litologi basalt *core box* BTN - 2.

Litologi sekis memiliki karakteristik berwarna Abu-abu terang, kompak, keras, merupakan batuan metamorf dengan ciri mineral persegi pipih dan gelap kehijauan, banyak retakan terisikan mineral kuarsa, kalsit, mineralnya afanitik, anhedral, pecahan serta batuanya memiliki arah foliasi mineral. Litologi sekis dapat dilihat pada Gambar 8 pada titik bor BTN 2 dan BTN 3 diperkirakan pada kedalaman lebih dari 44-50 meter.



Gambar 8. Litologi sekis *core box* BTN - 2.

3.2 Pembobotan Kelas Massa Batuan *Rock Mass Rating* (RMR)

1. Segmen 1

Pengamatan pada segmen 1 berada pada daerah spillway sandaran kiri Bendungan Lolak dengan koordinat N 124°4'10.3" dan E 00° 48'5.7". Arah kemiringan lereng N 800E dengan kemiringan 55° (Gambar 9). Singkapan batuan beku pada segmen 1 memiliki warna segar abu-abu gelap, warna lapuk kecoklatan, afanitik, vein kalsit. Secara sifat fisik, nama batuan tersebut adalah basalt. Pembobotan kelas massa batuan untuk masing-masing segmen dilakukan perhitungan menggunakan lima parameter dari metode *Rock Mass Rating* yang dikembangkan oleh Bieniawski (1989) sebagai berikut :



Gambar 9. Singkapan segmen 1 ; (a) singkapan (b) foto sampel *close up*.

a) Kekuatan Batuan Utuh (*Intact Rock*)

Hasil pengukuran kekuatan batuan utuh dilakukan di laboratorium Bendungan Lolak dengan uji kuat tekan batuan satu arah (uniaksial). Hasil pengukuran menunjukkan nilai sebesar 62,76 MPa sehingga didapatkan nilai hasil pembobotan kekuatan batuan utuh pada segmen 1 dengan nilai 7. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

b) *Rock Quality Design* (RQD)

Nilai RQD didapatkan dari penjumlahan menggunakan rumus RQD pada metode penelitian didapatkan nilai 99,99%, dengan nilai pembobotan 20. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

c) Spasi Diskontinuitas

Berdasarkan keseluruhan data dari pengukuran spasi diskontinuitas maka didapatkan nilai rata-rata hasil pengukuran untuk jarak diskontinuitas pada segmen 1 sebesar 0,3m dengan nilai pembobotan 10. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

d) Kondisi Diskontinuitas

1) *Weathering* (Tingkat Pelapukan)

Tingkat pelapukan berdasarkan pengamatan dilapangan menunjukkan adanya perubahan warna batuan di bidang diskontinuitas walaupun setempat masih segar, tingkat pelapukan diskontinuitas di daerah penelitian termasuk dalam kategori lapuk dengan nilai pembobotan 3. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

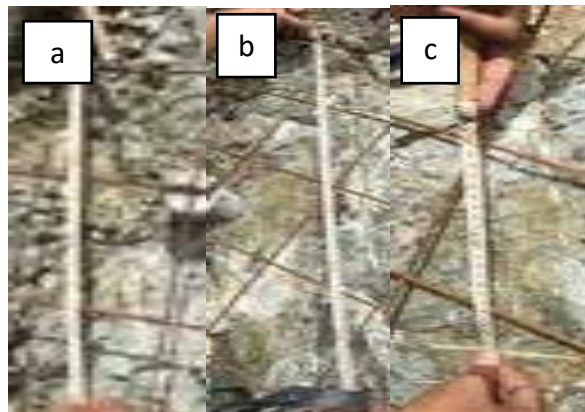
2) *Roughness* (Kekasaran Permukaan Bidang Diskontinuitas)

Gambar 10 menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas segmen 1. Gambar tersebut menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas dengan tipe kekasaran bergelombang (*rough undulating*). Hasil pembobotan nilai roughness segmen 1, diambil nilai modulus untuk pembobotan yang paling banyak muncul di segmen 1 sehingga memiliki nilai pembobotan 5 dengan tingkat berupa kasar.



Gambar 10. a. Tingkat Pelapukan Segmen; b. Tingkat *roughness* segmen 1.

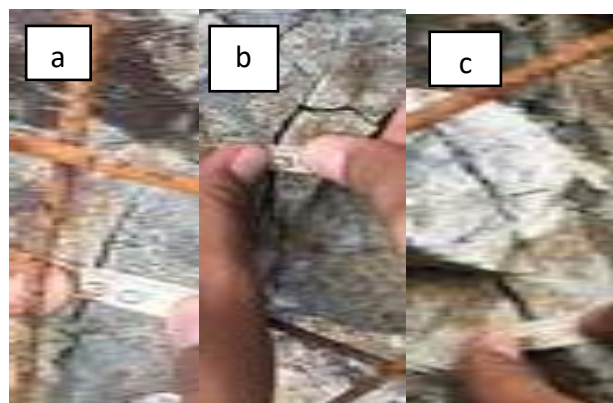
3) Persistensi (Kemenerusan Bidang Diskontinuitas)



Gambar 11. Persistensi diskontinuitas segmen 1.

Gambar 11 menunjukkan persistensi diskontinuitas pada segmen 1. Gambar a memiliki kemenerusan 47 cm, gambar b dengan persistensi 68 cm, dan gambar c dengan persistensi 33 cm. Gambar a, b, dan c merupakan gambar yang mewakili keseluruhan data persistensi segmen 1. Berdasarkan hasil pengukuran, persistensi segmen 1 bernilai <1 m sehingga memiliki nilai pembobotan 6. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

4) *Aperture* (Lebar Bukaannya)



Gambar 12. Lebar bukaan segmen 1.

Bukaan diskontinuitas diukur menggunakan pita meter untuk mengukur lebar bukaan diskontinuitas. Lebar bukaan segmen 1 menunjukkan data yang beragam dimana pada Gambar 12 a menunjukkan lebar bukaan 2 mm, gambar b 1 mm, gambar c 3 mm. gambar tersebut mewakili keseluruhan data lebar bukaan pada segmen 1 yang dimana dari data tersebut diambil nilai modus untuk pembobotan. Adapun nilai pembobotan lebar bukaan pada segmen 1 adalah 1.

5) *Infilling* (Kondisi Isian Kekar)

Pengamatan lapangan pada segmen 1 ditemukan adanya isian kekar atau vein pada bidang diskontinuitas berupa vein kalsit. Sesuai dengan nilai kekerasan kalsit dalam skala mohs yakni 3 dan kondisi dilapangan dimana vein lapuk beserta batuan utamanya, serta aperture yang dominan <5mm maka nilai pembobotannya adalah 1.

e) Kondisi Air Tanah

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan tidak terdapat adanya rembesan ataupun kelembapan air pada bidang diskontinuitas dari dinding batuan segmen 1, sehingga disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada segmen 1 kering dengan nilai pembobotan 15. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.



Gambar 13. Kondisi Air Tanah Segmen 1.

2. Segmen 2

a) Kekuatan Batuan Utuh

Hasil pengukuran kekuatan batuan utuh dilakukan di laboratorium Bendungan Lolak dengan uji kuat tekan batuan satu arah (uniaksial), dimana didapatkan hasil pengukuran sebesar 19,61 MPa sehingga didapatkan nilai hasil pembobotan kekuatan batuan utuh pada segmen 2 dengan nilai 7. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

b) *Rock Quality Design* (RQD)

Nilai RQD didapatkan dari penjumlahan menggunakan rumus RQD pada metode penelitian didapatkan nilai 99,99%, dengan nilai pembobotan 20. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

c) Spasi Diskontinuitas

Berdasarkan keseluruhan data dari pengukuHasil pengukuran kekuatan batuan utuh dilakukan di laboratorium Bendungan Lolak dengan uji kuat tekan batuan satu arah (uniaksial), dimana didapatkan hasil pengukuran sebesar 19,61 MPa sehingga didapatkan nilai hasil pembobotan kekuatan batuan utuh pada segmen 2 dengan nilai 7. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

d) Kondisi Diskontinuitas

1) Weathering (Tingkat Pelapukan)

Berdasarkan pengamatan lapangan, tingkat pelapukan pada segmen 2 menunjukkan tingkat pelapukan yang sangat intens dimana hampir pada keseluruhan singkapan batuan telah mengalami perubahan warna dari warna batuan yang segarnya berwarna abu-abu, kini telah menjadi kecoklatan hampir pada seluruh tubuh batuan segmen 2. Hal ini menunjukkan bahwa pada segmen 2 dikategorikan dalam kategori sangat lapuk dengan nilai pembobotan 1.

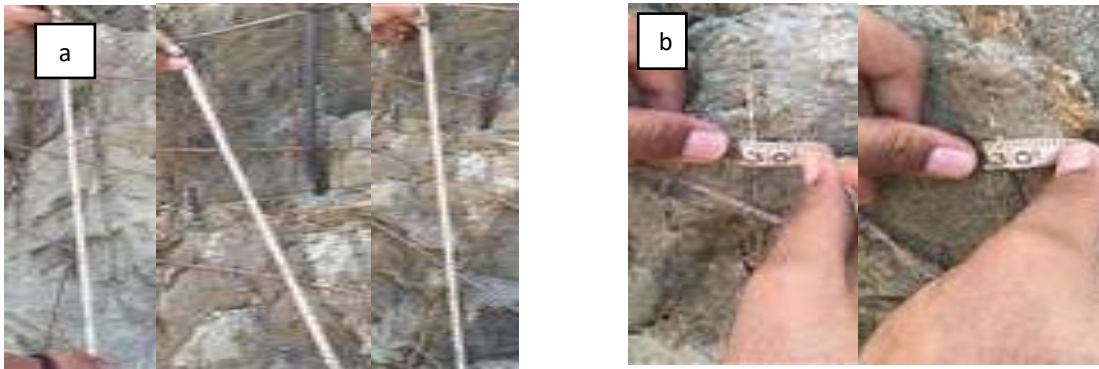
2) *Roughness* (Kekasaran Permukaan Bidang Diskontinuitas)

Gambar 14 menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas segmen 2. Gambar tersebut menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas dengan tipe halus bergelombang (smooth undulating). Pembobotan nilai roughness segmen 2, diambil nilai modulus untuk pembobotan yang paling banyak muncul di segmen 2 sehingga memiliki nilai pembobotan 5 dengan tingkat berupa sedikit kasar.



Gambar 14. a. Tingkat Pelapukan Segmen 2; b. Tingkat roughness segmen 2

3) Persistensi (Kemenerusan Bidang Diskontinuitas)



Gambar 15 a. Persistensi diskontinuitas segmen 2 dan b. Lebar bukaan segmen 2.

Gambar 15 menunjukkan persistensi diskontinuitas pada segmen 2. Gambar a memiliki kemenerusan 55 cm, gambar b dengan persistensi 40 cm, dan gambar c dengan persistensi 60 cm. Gambar a, b, dan c merupakan gambar yang mewakili keseluruhan data persistensi segmen 2. Berdasarkan hasil pengukuran, persistensi segmen 2 bernilai <math>< 1\text{ m}</math> sehingga memiliki nilai pembobotan 6. Pembobotan nilai roughness segmen 2, diambil nilai modus untuk pembobotan yang paling banyak muncul di segmen 2 sehingga memiliki nilai pembobotan 5 dengan tingkat berupa sedikit kasar.

4) *Aperture* (Lebar Bukaan)

Bukaan diskontinuitas diukur menggunakan pita meter untuk mengukur lebar bukaan diskontinuitas. Lebar bukaan segmen 2 menunjukkan data yang beragam dimana pada Gambar 15 a menunjukkan lebar bukaan 1 mm, dan gambar b 2 mm. Gambar tersebut mewakili keseluruhan data lebar bukaan pada segmen 2 yang dimana dari data tersebut diambil nilai modus untuk pembobotan. Adapun nilai pembobotan lebar bukaan pada segmen 2 adalah 1.

5) *Infilling* (Kondisi Isian Kekar)

Hasil pengamatan lapangan pada segmen 2 ditemukan adanya isian kekar atau vein pada bidang diskontinuitas berupa vein kalsit. Sesuai dengan nilai kekerasan kalsit dalam skala mohs yakni 3 dan kondisi dilapangan dimana vein lapuk beserta batuan utamanya, serta aperture yang dominan <math>< 5\text{ mm}</math> maka nilai pembobotannya adalah 1.

e) Kondisi Air Tanah

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan tidak terdapat adanya rembesan ataupun kelembapan air pada bidang diskontinuitas dari dinding batuan segmen 2, sehingga disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada segmen 2 kering dengan nilai pembobotan 15. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.



Gambar 16. Kondisi Air Tanah Segmen 2.

3. Segmen 3

a) Kekuatan Batuan Utuh (*Intact Rock*)

Hasil pengukuran kekuatan batuan utuh dilakukan di laboratorium Bendungan Lolak dengan uji kuat tekan batuan satu arah (uniaksial), dimana didapatkan hasil pengukuran sebesar 23,45 MPa sehingga didapatkan nilai hasil pembobotan kekuatan batuan utuh pada segmen 1 dengan nilai 7. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

b) *Rock Quality Design* (RQD)

Nilai RQD didapatkan dari penjumlahan menggunakan rumus RQD pada metode penelitian didapatkan nilai 99,99%, dengan nilai pembobotan 20. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

c) Spasi Diskontinuitas

Berdasarkan keseluruhan data dari pengukuran spasi diskontinuitas maka didapatkan nilai rata-rata hasil pengukuran untuk jarak diskontinuitas pada segmen 3 sebesar 0,4m dengan nilai pembobotan 10. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

d) Kondisi Diskontinuitas

1) Weathering (Tingkat Pelapukan)

Tingkat pelapukan berdasarkan pengamatan dilapangan menunjukkan adanya perubahan warna batuan di bidang diskontinuitas walaupun setempat masih segar. Sehingga tingkat pelapukan diskontinuitas di daerah penelitian termasuk dalam kategori lapuk dengan nilai pembobotan 3. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

2) *Roughness* (Kekasaran Permukaan Bidang Diskontinuitas)

Gambar 17 menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas segmen 3. Gambar tersebut menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas dengan tipe kekasaran halus bergelombang (*smooth undulating*). Hasil pembobotan nilai roughness segmen 3, diambil nilai modus untuk pembobotan yang paling banyak muncul di segmen 3 sehingga memiliki nilai pembobotan 5 dengan tingkat berupa sedikit kasar.



Gambar 17. a. Tingkat Pelapukan Segmen 3; b. Tingkat roughness segmen 3.

3) Persistensi (Kemenerusan Bidang Diskontinuitas)

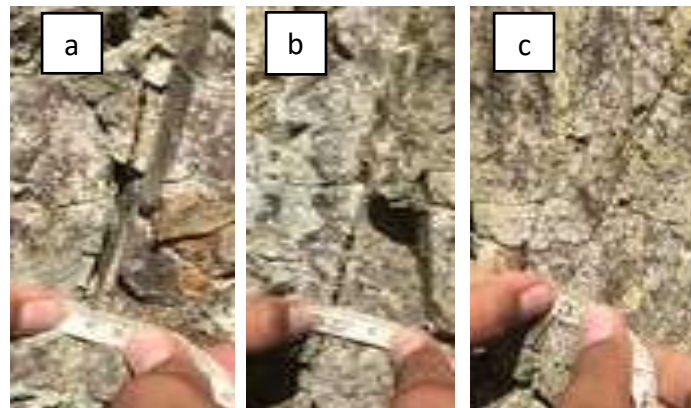
Gambar 18 menunjukkan persistensi diskontinuitas pada segmen 3. Gambar a memiliki kemenerusan 26 cm, gambar b dengan persistensi 30 cm. Gambar a, dan b merupakan gambar yang mewakili keseluruhan data persistensi segmen 3. Berdasarkan hasil pengukuran, persistensi segmen 1 bernilai <math>< 1\text{ m}</math> sehingga memiliki nilai pembobotan 6. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.



Gambar 18. Persistensi diskontinuitas segmen 3.

4) Aperture (Lebar Bukaannya)

Bukaan diskontinuitas diukur menggunakan pita meter untuk mengukur lebar bukaan diskontinuitas.



Gambar 19. Lebar bukaan segmen 3.

Lebar bukaan segmen 3 menunjukkan data yang beragam dimana pada Gambar 19 a menunjukkan lebar bukaan 2 mm, gambar b 1 mm, gambar c 3 mm. gambar tersebut mewakili keseluruhan data lebar bukaan pada segmen 3 yang dimana dari data tersebut diambil nilai modus untuk pembobotan. Adapun nilai pembobotan lebar bukaan pada segmen 3 adalah 1. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

5) Infilling (Kondisi Isian Kekar)

Hasil pengamatan lapangan pada segmen 3 ditemukan adanya isian kekar atau vein pada bidang diskontinuitas berupa vein kalsit. Sesuai dengan nilai kekerasan kalsit dalam skala mohs yakni 3 dan kondisi di lapangan dimana vein lapuk beserta batuan utamanya, serta aperture yang dominan <math>< 5\text{ mm}</math> maka nilai pembobotannya adalah 1. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

e) Kondisi Air Tanah

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan tidak terdapat adanya rembesan ataupun kelembapan air pada bidang diskontinuitas dari dinding batuan segmen 3, sehingga disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada segmen 3 kering dengan nilai pembobotan 15. Hasil yang didapatkan

selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.



Gambar 20. Kondisi Air Tanah Segmen 3.

4. Segmen 4

a) Kekuatan Batuan Utuh (Intact Rock)

Hasil pengukuran kekuatan batuan utuh dilakukan di laboratorium Bendungan Lolak dengan uji kuat tekan batuan satu arah (uniaksial), dimana didapatkan hasil pengukuran sebesar 39,22 MPa sehingga didapatkan nilai hasil pembobotan kekuatan batuan utuh pada segmen 4 dengan nilai 4. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

b) *Rock Quality Design* (RQD)

Nilai RQD didapatkan dari penjumlahan menggunakan rumus RQD pada metode penelitian didapatkan nilai 99,99%, dengan nilai pembobotan 20. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

c) Spasi Diskontinuitas

Berdasarkan keseluruhan data dari pengukuran spasi diskontinuitas maka didapatkan nilai rata-rata hasil pengukuran untuk jarak diskontinuitas pada segmen 1 sebesar 0,5m dengan nilai pembobotan 10. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter - parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

d) Kondisi Diskontinuitas

1) Weathering (Tingkat Pelapukan)

Berdasarkan pengamatan lapangan, Tingkat pelapukan berdasarkan pengamatan dilapangan menunjukkan adanya perubahan warna batuan di bidang diskontinuitas walaupun setempat masih segar. Tingkat pelapukan diskontinuitas di daerah penelitian termasuk dalam kategori lapuk dengan nilai pembobotan 3.

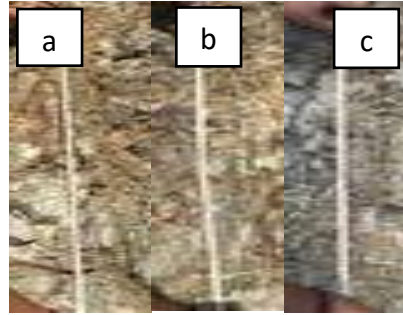
2) *Roughness* (Kekasaran Permukaan Bidang Diskontinuitas)

Gambar 21 menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas segmen 4. Gambar tersebut menunjukkan tingkat kekasaran pada bidang diskontinuitas dengan tipe kekasaran bergelombang (*rough undulating*). Hasil pembobotan nilai *roughness* segmen 4, diambil nilai modus untuk pembobotan yang paling banyak muncul di segmen 4 sehingga memiliki nilai pembobotan 5 dengan tingkat berupa kasar.



Gambar 21. a. Tingkat Pelapukan Segmen 4; b. Tingkat *roughness* segmen 4.

3) Persistensi (Kemenerusan Bidang Diskontinuitas)

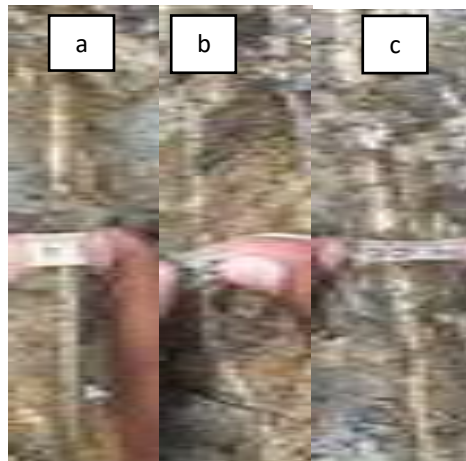


Gambar 22. Persistensi diskontinuitas segmen 4.

Gambar 22 menunjukkan persistensi diskontinuitas pada segmen 4. Gambar a memiliki kemenerusan 100 cm, gambar b dengan persistensi 60 cm, dan gambar c dengan persistensi 51 cm. Gambar a, b, dan c merupakan gambar yang mewakili keseluruhan data persistensi segmen 4. Berdasarkan hasil pengukuran, persistensi segmen 4 nilai modusnya bernilai <1 m sehingga memiliki nilai pembobotan 6. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter-parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.

4) *Aperture* (Lebar Bukaannya)

Bukaan diskontinuitas diukur menggunakan pita meter untuk mengukur lebar bukaan diskontinuitas.



Gambar 23. Lebar bukaan segmen 4.

Lebar bukaan segmen 4 menunjukkan data yang beragam dimana pada Gambar 23 a menunjukkan lebar bukaan 4 mm, gambar b 3 mm, gambar c 5 mm. Gambar tersebut mewakili keseluruhan data lebar bukaan pada segmen 4 yang dimana dari data tersebut diambil nilai modus untuk pembobotan. Adapun nilai pembobotan lebar bukaan pada segmen 4 adalah 1.

5) *Infilling* (Kondisi Isian Kekar)

hasil pengamatan lapangan pada segmen 4 ditemukan adanya isian kekar atau vein pada bidang diskontinuitas berupa vein kalsit. Sesuai dengan nilai kekerasan kalsit dalam skala mohs yakni 3 dan kondisi dilapangan dimana vein lapuk beserta batuan utamanya, serta aperture yang dominan <5mm maka nilai pembobotannya adalah 1.

e) Kondisi Air Tanah

Hasil pengamatan lapangan menunjukkan tidak terdapat adanya rembesan ataupun kelembapan air pada bidang diskontinuitas dari dinding batuan segmen 4, sehingga disimpulkan bahwa kondisi air tanah pada segmen 4 kering dengan nilai pembobotan 15. Hasil yang didapatkan selanjutnya dijumlahkan dengan parameter-parameter lainnya agar didapatkan nilai kualitas massa batuan di segmen tersebut.



Gambar 24 Kondisi Air Tanah Segmen 4.

Berdasarkan pengamatan mulai dari segmen 1, segmen 2, segmen 3, dan segmen 4 menunjukkan kekuatan batuan sedang - baik. Memiliki jarak diskontinuitas dengan jarak yang sedang. Kondisi diskontinuitas menunjukkan kemenerusan yang kurang dari 1 meter, bukaan diskontinuitas yang terbuka sampai agak lebar, dengan kekasaran yang beragam yaitu kasar, dan sedikit kasar, dengan adanya material pengisi berupa vein kalsit. Tingkat pelapukan mulai dari lapuk sampai sangat lapuk. Kondisi air tanah didominasi oleh diskontinuitas yang memiliki tingkat yang kering. Pembobotan masing-masing parameter pada tiap segmen ditunjukkan pada Tabel 1, sedangkan klasifikasi kelas masa batuan RMR berdasarkan hasil pembobotan ditunjukkan pada Tabel 2.

Tabel 1. Pembobotan RMR Daerah Penelitian.

Parameter	Bobot Parameter pada Tiap Segmen			
	Segmen 1	Segmen 2	Segmen 3	Segmen 4
Kekuatan Massa Batuan	7	2	2	4
RQD	20	20	20	20
Jarak Diskontinuitas	10	10	10	10
Kondisi Diskontinuitas	6	6	6	6
Bukaan kekar	1	1	1	1
Kekasaran Kekar	5	3	3	5
Material pengisi	1	1	1	1
Pelapukan	3	1	1	3
Kondisi Air Tanah	15	15	15	15
Total Bobot	68	59	59	65

Tabel 2. Hasil Pembobotan Daerah Penelitian.

Kelas	Bobot	Segmen			
		1	2	3	4
Sangat Baik	100 - 81	-	-	-	-
Baik	80 - 61	68	-	-	65
Sedang	60 - 41	-	59	59	-
Lemah	40 - 21	-	-	-	-
Sangat Lemah	< 21	-	-	-	-

Hasil yang didapatkan dari perhitungan kualitas massa batuan berdasarkan metode rock mass rating (RMR) yakni pada segmen 1 dan segmen 4 termasuk dalam lereng kelas II dengan kategori massa batuan baik, sedangkan segmen 2 dan segmen 3 termasuk dalam lereng kelas III dengan massa batuan sedang. Perbedaan kualitas ini disebabkan oleh kondisi kuat tekan massa batuan yang berbeda, serta perbedaan kondisi diskontinuitas khususnya pada aspek profil kekasaran dan tingkat pelapukan diskontinuitas.

Tabel 2 menggambarkan bahwa pada daerah penelitian terdapat dua titik kemungkinan terjadinya longsor yakni pada segmen 2 dan segmen 3. Dilihat dari nilai kekuatan batuan, segmen 2 dan segmen 3 memiliki nilai 59 yang menunjukkan bahwa kekuatan batuan kedua segmen tersebut sedang. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu dilakukan penanganan khusus di lereng segmen 2 dan segmen 3 berupa sorkrit atau treatment beton semprot dan pemasangan besi penyanggah lereng pada kedua segmen tersebut.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan pengamatan masing-masing segmen maka dapat disimpulkan bahwa keseluruhan segmen menunjukkan kekuatan batuan sedang - baik. Jarak diskontinuitas dengan jarak yang sedang. Kondisi diskontinuitas menunjukkan kemenerusan yang kurang dari 1 meter, bukaan diskontinuitas yang terbuka sampai agak lebar, dengan kekasaran yang beragam yaitu kasar, dan sedikit kasar, dengan adanya material pengisi berupa vein kalsit. Tingkat pelapukan mulai dari lapuk sampai sangat lapuk. Kondisi air tanah didominasi oleh diskontinuitas yang memiliki tingkat yang kering. Berdasarkan hasil analisis kelas batuan, segmen 1 memiliki kelas massa batuan baik, segmen 2 memiliki kelas massa batuan sedang, segmen 3 memiliki kelas massa batuan sedang, dan segmen 4 memiliki kelas massa batuan baik.

5. UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terimakasih kepada Balai Wilayah Sungai Sulawesi -1 Manado dan PT Indra Karya (Persero) yang telah banyak membantu dalam penelitian di wilayah proyek pembangunan Bendungan Lolak.

6. REFERENSI

- Arifin, Y. I., Sakakibara, M., Sera, K., Usman, P. F., & Lihawa, F. (2020). Mercury exposure from small scale gold mining activities and neurological symptoms on inhabitants and miners: a case study in Bolaang Mongondow, North Sulawesi Province, Indonesia. In IOP Conference Series: Earth and Environmental Science (Vol. 589, No. 1, p. 012013). IOP Publishing.
- Apandi, T. dan Bachri, S 1997. *Peta Geologi Lembar Kotamubagu Sulawesi*. Pusat Penelitian Dan Pengembangan Geologi. Bandung.
- Karnawati, D., (2007), Mekanisme Gerakan Massa Batuan Akibat Gempabumi: Tinjauan Dan Analisis Geologi Teknik, *Jurnal Dinamika Teknik Sipil*, 7(2), p179-190.
- Kasim, M., Eraku, S.S, Maryati, S. (2017). Pendekatan Geologi Dalam Pengelolaan DAS Bone Kabupaten Bone Bolango Propinsi Gorontalo. Yogyakarta, Indonesia: *Seminar Nasional Kebumihan Ke-10 Peran Penelitian Ilmu Kebumihan dalam Pembangunan Infrastruktur di Indonesia 13-14 September 2017*.
- Koem, S., Akase, N., & Muis, I. (2019). Peningkatan Kapasitas Masyarakat Dalam Mengurangi Risiko Bencana Di Desa Bandung Rejo Kabupaten Gorontalo. *Aksiologi: Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat*, 3(2), 176-184.
- Manyoe, I. N., & Hutagalung, R. (2020). Subsurface Shallow Modelling Based on Resistivity Data in The Hot Springs Area of Libungo Geothermal, Gorontalo. *Journal of Geoscience, Engineering, Environment, and Technology*, 5(2), 87-93.
- Permana, A. P. (2017). Analisis stratigrafi Daerah Tanjung Kramat Kecamatan Hulonthalangi Kota Gorontalo. *Jurnal Geomine*, 5(1).
- Silo, F. & Suyoko. 2019. Perbaikan Permukaan Pondasi Bendungan Concrete Face Rockfill Dam (Cfrd). Konsultan Supervisi Bendungan Karalloe.
- Simanjuntak, T.O. (1986). Struktur Duplet (Dwi Unsur) Sesar sungkup, Sesar jurus mendatar di lengan utara Sulawesi, PT XV IAGI.
- Widagdo, A dan Setijadi, R (2015). Kontrol Struktur Pada Longsor di Daerah Sampang-Karangobar Kabupaten Banjarnegara Jawa Tengah. *Dinamika Rekayasa*.11(2):63
- Zainuri, A., & Sota, I. (2017). Identifikasi Daya Dukung Batuan untuk Rencana Lokasi Tempat Pembuangan Sampah di Desa Tulaa, Bone Bolango. *Jurnal Fisika Flux: Jurnal Ilmiah Fisika FMIPA Universitas Lambung Mangkurat*, 8(2), 126-134.