



Kajian Geologi Dalam Perencanaan Bendungan: Studi Kasus Bendungan Kerekeh

Ahmad E. P. Hanif¹, Silviana Silviana^{1,2,*}

¹ Program Studi Program Insinyur, Fakultas Teknik Universitas Diponegoro,

² Departemen Teknik Kimia Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro,
Jl. Prof. Soedarto, SH, Kampus UNDIP Tembalang, Semarang, Indonesia 50275

^{*)}Corresponding author: silviana@lecturer.undip.ac.id

(Received: January 03, 2023 ; Accepted: February 02, 2023)

Abstract

Geological Studies in Dam Planning : Kerekeh Dam Study Case. Sumbawa River Region is one of water deficit river region due to dry climate and scant rainfall annually. Kerekeh Dam is planned to reduce flooding, develop irrigation and raw water supply in Sumbawa Regency. The research objectives were to identify the lithology, geotechnical condition, the effect of Geological Structure, and the Engineering Geological Conditions of the Kerekeh Dam reservoir area. To obtain technical data of geological conditions at the location of the Kerekeh Dam plan, geological mapping, core drilling, grouting tests, sampling and laboratory testing were carried out. There are several types of lithology or rock units in Kerekeh Dam, namely, Intercalation of sandstones, siltstone and claystone unit, Volcanic Breccia Unit, Andesite Unit, Colluvial Deposits, Terrace Deposits, and River Deposits. There are several geological structure at Kerekeh Dam, they are shear joint and tensile joint, drag folds, and minor faults. Geological structure presence causes secondary permeability and reduces the stability of the rock mass at the foundation of the Kerekeh Dam. Kerekeh Dam foundation on the riverbed to the right abutment is planned to rest on Intercalation of sandstone, siltstone and claystone unit which is Miocene sedimentary rock with CM classification and on the left abutment will rest on breccia which is a Quaternary volcanic rock with CL classification. In the dam reservoir area there were no indication of large-scale landslides. But, the potential for large sediment supply comes from the Kerekeh dam catchment area which is slopes of a volcano.

Keywords: Dam, Engineering Geology, Foundation, Lithology, Geological Structures

Abstrak

Wilayah Sungai Sumbawa merupakan salah satu wilayah sungai yang kekurangan sumber air akibat memiliki iklim kering dan curah hujannya rendah setiap tahunnya. Bendungan Kerekeh direncanakan untuk mereduksi banjir, pengembangan irigasi dan air baku di Kabupaten Sumbawa. Tujuan penelitian adalah mengidentifikasi Litologi, Kondisi Batuan Pondasi, Pengaruh Struktur Geologi, dan Kondisi Geologi Teknik Daerah Genangan Rencana Bendungan Kerekeh. Untuk mendapatkan data teknis mengenai kondisi geologi pada lokasi rencana Bendungan Kerekeh maka dilakukan pemetaan geologi, pengeboran inti, grouting test, pengambilan sampel dan pengujian laboratorium. Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh tersusun atas beberapa macam litologi atau satuan batuan yaitu, Satuan perselingan batupasir, batulanau dan batulempung, Satuan Breksi Vulkanik, Satuan Andesit, Endapan Koluviyal, Endapan teras, dan Endapan Sungai. Struktur Geologi Pada Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh adalah kekar gerus dan kekar Tarik, Lipatan, dan Sesar minor. Keberadaan struktur menyebabkan permeabilitas sekunder dan mengurangi stabilitas massa batuan pondasi rencana bendungan Kerekeh. Batuan Pondasi Rencana As Tubuh Bendungan Kerekeh pada palung sungai hingga sandaran kanan bendungan direncanakan akan bertumpu pada satuan perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung merupakan Batuan sedimen Miosen dengan klasifikasi CM dan pada sandaran kiri bendungan akan bertumpu pada batu breksi merupakan Batuan vulkanik kuartar dengan klasifikasi CL. Di daerah area tapak bendungan dan genangan tidak ditemukan tanda-tanda gerakan tanah/longsoran berskala besar. Potensi suplai sedimen yang besar berasal dari daerah tangkapan bendungan kerekeh yang merupakan lereng gunung api.

Kata kunci: Bendungan, Geologi Teknik, Pondasi Bendungan, Litologi, Struktur Geologi

How to Cite This Article: Hanif, A.E.P and S Silviana, (2023), Kajian Geologi Dalam Perencanaan Bendungan: Studi Kasus Bendungan Kerekeh, JPII 1 (3), 79-87

PENDAHULUAN

Wilayah Sungai Sumbawa merupakan salah satu wilayah sungai yang kekurangan sumber air akibat memiliki iklim kering dan curah hujannya rendah setiap tahunnya[1]. Pada musim kemarau, kekeringan seringkali melanda beberapa daerah di Wilayah sungai Sumbawa, bahkan di Kabupaten Bima kekeringan terjadi setiap tahunnya[2]. Pada sisi lain pada saat musim penghujan seringkali terjadi banjir. Infrastruktur yang lazim dibangun untuk mengatasi permasalahan ini adalah bendungan. Salah satu rencana Bendungan yang akan dibangun pada Wilayah Sungai Sumbawa adalah Bendungan Kerekeh yang terletak di Desa Kerekeh, Kecamatan Unter Iwes, Kabupaten Sumbawa.

Kualitas perencanaan bendungan sangat berpengaruh terhadap proses pembangunan Bendungan. Salah satu faktor yang paling berpengaruh adalah faktor geologi. Kondisi geologi di lokasi rencana akan sangat menentukan bagaimana bendungan akan dibangun, mulai dari lokasi as, tipe konstruksinya, dimensinya, kedalaman pondasi, dsb. Namun, yang terpenting adalah karena faktor geologi memiliki pengaruh yang sangat besar terhadap keamanan bendungan.

Bendungan adalah bangunan yang berupa urukan tanah, urukan batu, dan beton, yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk [4].

Bendungan diklasifikasikan menjadi beberapa jenis. Bendungan umumnya diklasifikasikan berdasarkan material dan bentuknya.[7] Tipe yang umum antara lain timbunan tanah homogen atau berzonasi, timbunan batu dengan inti atau concrete face, dan beton yang tergantung pada tahanan gravitasi, busur, atau buttress.

Hal-hal yang harus diperhatikan pada bidang Geologi ketika merencanakan bendungan antara lain : 1) Peta Geologi terdahulu (Regional / Detail), 2) Pemetaan Geologi, 3) Pemboran Inti, 4) Karstifikasi, 5) Analisis Kestabilan Lereng, 6) Penyelidikan Hidrogeologi, 7) Penyelidikan Geofisika, 8) Penyelidikan Seismik, 9) Burrow Area / Sumber Material. (10)

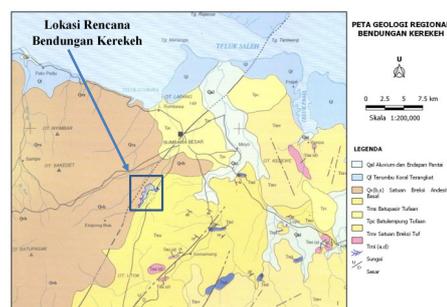
Jika salah satu struktur berikut; Perlapisan, Foliasi, Belahan, atau Lineasi, berkembang secara seragam pada tubuh batuan atau tanah, akan menyebabkan material tersebut menjadi anisotropik terhadap sifat teknisnya – kekuatan, kekakuan, dan juga permeabilitasnya [5]. Karakteristik ini menjadi penting pada perencanaan bendungan karena umumnya sifat mekanik batuan dari hasil laboratorium dianggap merepresentasikan kondisi di lapangan. Namun pada kasus material anisotropik seperti di atas nilai tersebut bisa jauh berbeda ketika arah dari struktur batuan juga berbeda.

Keberadaan diskontinuitas pada batuan juga akan mempengaruhi kekuatannya atau parameter teknisnya. Jenis diskontinuitas yang umum antara lain yaitu kekar, patahan (berupa zona gerusan atau zona hancuran), urat atau lapisan tanah pengisi, zona lapukan, dll [5].

Metode seismik refraksi dapat digunakan pada lokasi rencana bendungan untuk;

- menyelidiki zona kecepatan rendah yang berpotensi rawan terhadap kebocoran dan untuk mengevaluasi sifat dinamik dari batuan di bawah permukaan[11];
- mendeteksi keberadaan rongga atau gua, zona rekahan, dan batas antara zona jenuh air dengan zona tidak jenuh air pada batuan kristalin yang berhubungan dengan permeabilitas dan stabilitas bendungan [12],
- Struktur geologi bawah permukaan [13]
- Litologi (batuan) bawah permukaan[14]
- permeabilitas tinggi bawah permukaan[15]

Survey dengan metode seismik refraksi dilakukan berdasarkan pengukuran dari waktu tempuh gelombang seismic yang direfraksikan pada permukaan (interface) antara lapisan batuan di bawah permukaan yang memiliki nilai cepat rambat gelombang yang berbeda[13]. Sumber getaran berada di permukaan, bisa berasal dari ledakan (dinamit), palu, atau sumber getar lainnya.



Gambar 2. Peta Geologi Regional Bendungan Kerekeh

Lokasi bendungan kerekeh secara regional terletak pada Fisiografi Busur Vulkanik (Van Bemelen, 1949). Berdasarkan peta geologi Lembar Sumbawa skala 1:250.000 lokasi bendungan kerekeh tersusun atas beberapa satuan stratigrafi yaitu : Satuan Batupasir Tufaan (Tms) dan Satuan Breksi Andesit-Basal (Qvb)[17].

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi Litologi Pada Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh; Menganalisis Kondisi Batuan Pondasi Rencana As Tubuh Bendungan Kerekeh; Menganalisis Pengaruh Struktur Geologi Pada Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh; Menganalisis Kondisi Geologi Teknik Daerah Genangan Rencana Bendungan Kerekeh.

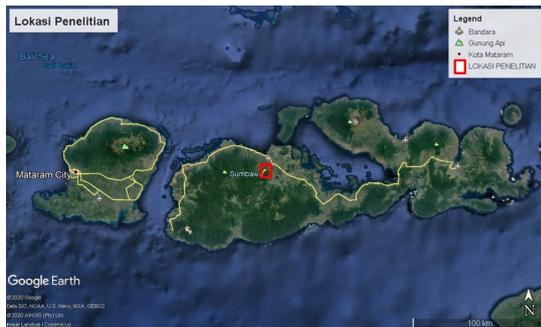
METODE PENELITIAN

Proses penelitian dilakukan dengan survey awal / identifikasi permasalahan pada lokasi studi, dilanjutkan dengan studi pustaka untuk mencari referensi dan juga acuan penelitian. Kemudian dilanjutkan dengan pengambilan data primer dan sekunder untuk melengkapi data yang diperlukan pada tahap analisis. Setelah lengkap kemudian dilakukan analisis data dan hasilnya disimpulkan terhadap kriteria perencanaan bendungan apakah sudah sesuai atau perlu ada studi tambahan atau langkah-langkah yang perlu diambil kedepannya.

Secara administratif penelitian dilaksanakan di

Desa Krekeh, Kecamatan Unter Iwes, Kabupaten Sumbawa, Provinsi Nusa Tenggara Barat. Secara geografis lokasi penelitian berada diantara 8°32'49.29" sampai 8°35'45.76" Lintang Selatan dan 117°22'5.39" sampai 117°24'33.70" Bujur Timur.

Data : Untuk mengetahui kondisi batuan pada lokasi bendungan kerekeh maka diperlukan beberapa data penyelidikan geologi. Pada penelitian kali ini data yang digunakan adalah sebagai berikut : a. Pemetaan Geologi Permukaan, b. Pemboran Inti, c. Pengujian Standard Penetration Test (SPT), d. Pengujian Permeabilitas, e. Pengambilan contoh batuan pondasi, f. Pengujian Laboratorium batuan pondasi, meliputi sifat-sifat fisik dan mekanik, g. Seismik refraksi, h. Grouting test.



Gambar 2. Lokasi Penelitian

Pengolahan Dan Analisis Data :

Pembuatan Peta – Peta Tematik dan Penampangnya. Hasil penyelidikan dirangkum dan ditampilkan dalam bentuk peta-peta tematik sesuai dengan kebutuhannya. Salah satu peta yang harus dibuat adalah peta geologi dan peta geologi Teknik. Peta geologi dibuat berdasarkan seluruh data geologi permukaan. Sebaran stasiun pengatan dan litologinya dijadikan acuan sebagai interpretasi penyebaran litologi di permukaan dan batas-batasnya, Indikasi-indikasi keberadaan struktur pada setiap stasiun juga dijadikan dasar sebagai interpretasi keberadaan struktur mayor pada lokasi penelitian.

Pembuatan Penampang zonasi permeabilitas. Penampang zonasi permeabilitas dibuat berdasarkan data hasil pengeboran inti. Penampang dibuat berdasarkan kebutuhan pada lokasi rencana bendungan. Pada bagian rencana as bendungan, penampang dibuat sepanjang rencana as tersebut. Penampang melintang juga dibuat untuk setiap bagian penting atau jika terdapat bangunan pelengkap. Data yang bisa digunakan untuk membuat penampang permeabilitas adalah data hasil pengujian permeabilitas menggunakan packer atau lugeon test. Data permeabilitas yang diambil menggunakan metode falling head dan constant head test tidak dimasukkan kedalam penampang permeabilitas.

Interpretasi Penampang Seismik 2D. Hasil pengujian seismik refraksi adalah penampang 2D dengan nilai cepat rambat rata-rata gelombang pada batuan. Berdasarkan nilainya dan juga perubahan nilainya lapisan batuan dapat dikenali, dan yang lebih penting adalah indikasi keberadaan struktur geologi dapat diinterpretasikan. Zona lapukan batuan pada umumnya memiliki cepat rambat gelombang yang lebih lambat. Indikasi keberadaan bidang-bidang per-

lapisan ataupun struktur geologi ditandai dan dijelaskan interpretasinya.

Interpretasi hasil grouting test. Berdasarkan hasil uji grouting dan juga hasil uji permeabilitas pada lubang grouting, maka ditentukan efektifitas grouting untuk setiap selang jarak dan juga tahapan grouting. Jika terdapat hasil yang tidak efektif maka harus dijelaskan penyebabnya dan solusinya. Misalnya pada grouting tahap akhir tidak efektif karena grout takenya sangat kecil, diakibatkan oleh permeabilitas batuan yang memang sudah kecil, maka disimpulkan pada tahap tersebut grouting tidak efektif dan tidak dibutuhkan.

Sifat Geoteknik Batuan Pondasi As Bendungan. Klasifikasi kelas massa batuan dapat dilakukan untuk merangkum data geologi dan geoteknik. Terdapat dua system klasifikasi kelas massa batuan empiris, yaitu metode Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski 1989) dan Geological Strength Index (GSI) (Hoek 1994; Hoek and Brown 1997), yang keduanya sudah sering digunakan untuk merangkum data geologi dan geoteknik, sebagai perangkat analisis untuk ahli desain bendungan selama pembangunan.

Pada lokasi dengan hasil parameter yang tidak memenuhi persyaratan maka perlu dianalisa apa yang perlu dilakukan. Jika memang sifat materialnya sangat buruk dan membahayakan kestabilan bendungan, maka kelompok batuan tersebut harus dikupas/digali. Jika masih bisa dilakukan perbaikan, maka perlu direkomendasikan perbaikan yang perlu dilakukan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Geomorfologi

Lokasi penelitian terletak pada elevasi antara +75 hingga +275 meter di atas permukaan laut. Proses geomorfologi yang dominan pada daerah penelitian antara lain berupa proses vulkanisme, proses fluvial dan proses tektonik. Ketiga proses ini menghasilkan bentuk lahan yang khas. Pada sebelah kiri (barat) daerah penelitian terdiri dari satuan perbukitan vulkanik yang merupakan bagian distal dari geomorfologi gunung api. Pada bagian tengah didominasi oleh proses fluvial yang dihasilkan dari aktivitas sungai Brang Batulanteh. Pada bagian kanan (timur) didominasi oleh proses tektonik yang menghasilkan perbukitan sedimen structural. Secara lebih detail, satuan batuan pada lokasi penelitian dapat dibagi menjadi beberapa satuan geomorfologi yaitu :

1. Satuan Perbukitan Vulkanik, Satuan ini terletak pada sebelah barat daerah penelitian. Satuan ini dibagi lagi menjadi 3 unit yaitu Satuan Perbukitan Vulkanik 1 yang merupakan bagian dari Gunung Api Olat Sakedet, Satuan Perbukitan Vulkanik 2 yang merupakan bagian dari Gunung Api Olat Batupasak, dan Satuan Perbukitan Vulkanik 3 yang merupakan bagian distal dari Gunung api Olat Batupasak. Satuan ini memiliki karakteristik berupa perbukitan dan lembah yang merupakan bagian dari lereng gunung api, yang tersusun oleh material vulkanik berumur kuartar. Tipe pengaliran pada satuan ini adalah radial. Dengan

- kemiringan lereng sangat curam – agak curam.
2. Satuan Perbukitan Sedimen Struktural, Satuan ini terletak pada sebelah timur daerah penelitian. Dengan karakteristik berupa perbukitan yang tersusun oleh batuan sedimen berumur tersier yang dikontrol oleh struktur berupa lipatan, patahan dan kekar. Dengan pola pengaliran berupa sub-dentritik. Kemiringan lereng pada satuan ini mulai dari agak curam – sangat curam.
 3. Satuan Pedataran Aluvial Satuan ini terbagi menjadi 2 unit yaitu, Satuan Pedataran Aluvial 1 yang merupakan hasil aktivitas Sungai Brang Batulanteh dan Satuan Pedataran Aluvial 2 yang merupakan hasil Aktivitas Sungai Brang Moyo. Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh terletak pada sungai Brang Batulanteh. Satuan ini memiliki karakteristik berupa pedataran yang tersusun atas endapan fluvial yang terletak di kanan-kiri sungai. Memiliki pola pengaliran braided - meandering.

Litologi dan Stratigrafi

Berdasarkan hasil survey geologi permukaan yang telah dilakukan di area tapak bendungan, kondisi geologi dan geologi Teknik daerah tapak bendungan disusun oleh Batuan dari yang berumur paling tua hingga paling muda adalah sebagai berikut :

1. Satuan Perselingan Batu pasir, Batu lanau dan Batu lempung (Formasi Batu pasir Tufaan);
2. Satuan Batu Andesit (Formasi Satuan Batuan Terobosan);
3. Satuan Breksi Vulkanik;
4. Endapan Kolovial.;
5. Endapan Teras;
6. Endapan Sungai.

Satuan perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung terdiri dari perselingan antara batu pasir, batu lanau dan batu lempung.



Gambar 3. Singkapan perselingan batupasir, batulanau dan batulempung.

Batupasir : berwarna abu-abu sampai abu-abu kehijauan atau kehitaman, tingkat pelapukan bervariasi mulai dari lapuk kuat hingga segar, umumnya mengalami pelapukan ringan. Umumnya bersifat kompak dan keras karena terkompaksi dengan baik serta kemungkinan telah mengalami sedikit ubahan dan menjadi meta sedimen. Besar butir bervariasi dari pasir kerikil hingga pasir sangat halus. Pemilahannya bervariasi mulai dari baik hingga sangat buruk. Struktur sedimen sangat beragam, umumnya merupakan bagian dari bouma sequence yang merupakan ciri khas endapan turbidit. Beberapa struktur sedimen yang dijumpai yaitu : perlapisan, laminasi, graded bedding, bioturbasi (boring), dll.

Batulanau : berwarna abu-abu sampai abu-abu kehijauan atau kehitaman, tingkat pelapukan bervariasi mulai dari lapuk kuat hingga segar, umumnya mengalami pelapukan ringan dengan pecahan botroydal berukuran sekitar 1 – 5 cm. Umumnya bersifat kompak dan keras karena terkompaksi dengan baik serta kemungkinan telah mengalami sedikit ubahan dan menjadi meta sedimen. Kebanyakan dijumpai sebagai selingan antara batupasir dengan batulempung. Struktur sedimen yang dijumpai berupa perlapisan, laminasi dan graded bedding.



Gambar 4. Struktur sedimen pada batupasir berupa graded bedding (kiri) dan bioturbasi (kanan)

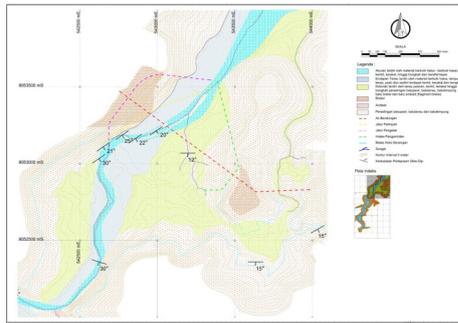
Batu lempung : berwarna abu-abu sampai abu-abu kehijauan atau kehitaman, tingkat pelapukan bervariasi mulai dari lapuk kuat hingga segar, umumnya mengalami pelapukan ringan dengan pecahan botroydal berukuran sekitar 1 – 5 cm. Umumnya bersifat kompak dan keras karena terkompaksi dengan baik serta kemungkinan telah mengalami sedikit ubahan dan menjadi meta sedimen. Struktur sedimen sangat beragam. Beberapa struktur sedimen yang dijumpai yaitu : perlapisan, flame dan load structure, bioturbasi (boring), dll.

Pada beberapa bagian Satuan Perselingan Batupasir, Batulanau dan Batulempung mengalami slumping. Sehingga menimbulkan bongkah-bongkah batuan dengan strike dip yang tidak beraturan dan juga nampak terdeformasi.

Satuan batuan Perselingan Batupasir, Batulanau dan Batulempung merupakan bagian dari Satuan Batupasir Tufaan (Tms) pada peta geologi regional sumbawa dan merupakan satuan batuan tertua pada lokasi penelitian dengan umur Miosen Awal – Tengah. Terdapat beberapa struktur geologi yang terdapat pada satuan ini yaitu berupa kekar, patahan dan lipatan. Kekar yang terdapat pada satuan ini berupa kekar gerus dan kekar tarik. Patahan yang dijumpai pada satuan Perselingan Batupasir, Batulanau dan Batulempung umumnya merupakan patahan minor.

Satuan Batu Andesit ini terdiri dari batu andesit berwarna abu-abu, lapuk ringan-sedang, tekstur porfiritik, massa dasar afanitik berwarna abu-abu, fenokris berupa plagioklas, amphibole, dan muskovit, kompak dan setempat mengandung pirit, terkekarkan dan terdapat slicken side. Satuan ini berumur Miosen Tengah – Miosen akhir dan menerobos Batuan berumur Miosen Tengah – Miosen Awal. Satuan Batuan

ini menjadi sill / dike.



Gambar 5 Peta Geologi Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh

Satuan Breksi Vulkanik ini merupakan hasil endapan gunung api di sebelah barat lokasi bendungan kerekeh. Tersusun atas breksi vulkanik berwarna coklat, lapuk sedang – lapuk kuat, terdiri dari matriks dan komponen, matriks supported, matriks berupa tuff, butiran mineral dan batuan, komponen berupa batuan beku andesitis, berukuran kerikil-bongkah, berbentuk subangular -subrounded, kemas terbuka, permeabilitas sedang, porositas sedang, agak keras – agak lunak, sementasi sedang-buruk, kurang kompak.

Endapan Kolovial merupakan hasil endapan longoran dari bukit tumpuan kanan dan kiri bendungan dan teridiri dari campuran bolder, gravel, pasir tuf, lanau dan lempung, bersifat urai. Jenis Batuan penyusun endapan kolovial ini terdiri dari batu pasir, batu lanau, batu lempung dan boulder andesit fragment dari batu breksi. Satuan ini tersebar luas di kaki bukit sandaran kanan bendungan.

Endapan Teras merupakan hasil endapan banjir Sungai Brang Batulanteh dan terdiri dari campuran material halus pasir, lempung dan lanau bersifat urai -padat. Satuan ini tersebar di teras-teras Sungai Brang Batulanteh dan banyak dipergunakan oleh penduduk setempat sebagai area persawahan.

Endapan Aluvial merupakan hasil endapan Sungai Brang Batulanteh hingga saat sekarang, umumnya terdiri dari campuran boulder, kerakal, kerikil, pasir dan lumpur serta banyak dijumpai bongkah berukuran 20 - 25 cm, bersifat urai. Jenis Batuan penyusun alluvial ini terdiri dari batu pasir, batu lanau, batu lempung, andesit dan basal.

Struktur Geologi

Terdapat beberapa struktur geologi yang terdapat pada lokasi penelitian yaitu berupa kekar, patahan dan lipatan. Kekar yang dijumpai berupa kekar gerus dan kekar tarik. Kekar gerus umumnya banyak dijumpai berpasangan dengan intersitas yang cukup tinggi (jarak antar kekar hingga kurang dari 10cm). Kekar tarik umumnya bersifat terbuka.

Patahan yang dijumpai umumnya merupakan patahan minor. Patahan tersebut ditemukan dari beberapa indikasi antara lain : Lipatan Tarik (drag fold), Offset : baik berupa ofset litologi maupun ofset dari kekar, dan Slicken side.



Gambar 6. Kekar tarik dan kekar gerus pada satuan perselingan batupasir, batulanau dan batu-lempung.

Geologi Teknik

Geologi Teknik Batuan Pondasi As Bendungan

Sesuai dengan hasil pemetaan geologi dan pembaran inti, geologi as bendungan dari tua ke muda terdiri dari per lapisan batu pasir batu lanau batu lempung, batu pasir tufaan, batu breksi vulkanik, residual soil, endapan teras dan endapan sungai sekarang seperti yang ditunjukkan pada peta geologi daerah genangan.

Per lapisan batu pasir, batu lanau dan batu lempung merupakan Batuan dasar pada as bendungan pada palung sungai dan sandaran kanan, umumnya berwarna coklat kekuningan dalam kondisi lapuk sedang klasifikasi Batuan CL, warna abu-abu dalam kondisi ringan ~ segar, pada kedalaman 3,00 ~ 80,00 meter (SBH-2) dan 16,50 ~ 60,00 meter (SBH-3), termasuk dalam klasifikasi CM ~ CH.



Gambar 7. Offset yang ditemukan pada kekar gerus

Batu pasir tufaan, warna putih sampai putih kekuningan, dengan kondisi lapuk kuat ~ lapuk sedang klasifikasi Batuan CL, pada kedalaman 4,00 ~ 16,50 meter (SBH-3) dan 81,00 ~ 90,00 meter (SBH-1). Breksi vulkanik, terdapat di tebing sandaran kiri, berwarna abu-abu sampai kuning kecoklatan, berupa fragmen andesit, matrik pasir vulkanik, kondisi lapuk kuat sampai lapuk sedang, berukuran medium dan kompak (SBH-1). Terdapat di kedalaman 0,20 sampai 81,00 meter, klasifikasi Batuan D ~ CL.

Residual soil merupakan material hasil rombakan akibat pelapukan lanjut berupa lempung lanauan mengandung gravel dan kerakal, warna coklat kemerahan lunak-stif, plastisitas rendah-sedang, dengan ketebalan berkisar antar 0,20 meter (SBH-1) hingga 4,00 meter (SBH-3).

Endapan teras, tersebar sepanjang dataran ban-

jir lembah sungai sebelah kanan mempunyai ketebalan rata-rata 7,00 meter (PH). Endapan teras terdiri dari campuran boulder andesit, kerakal, kerikil, pasir dan lanau. Umumnya tidak terkonsolidasi, diendapkan secara tidak selaras diatas perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung.

Endapan sungai terdapat di sepanjang alur sungai, merupakan hasil endapan sungai saat sekarang, umumnya terdiri dari boulder, kerakal, kerikil, pasir dan lumpur, mempunyai ketebalan sekitar 2,50 m (SBH-2).

Berdasarkan hasil pemboran inti dan pengujian daya dukung pondasi, pondasi tapak bendungan berupa perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung dengan sifat Batuan agak keras, dengan kondisi umum relatif massif dengan klasifikasi Batuan CM. Rencana pondasi bendungan Kerekeh ditentukan berdasarkan daya dukung Batuan berupa klasifikasi Batuan untuk desain bendungan dengan mempergunakan aplikasi klasifikasi Batuan oleh Kikuchi dan Saito (1982) yang disesuaikan dengan kondisi Batuan dilapangan seperti berikut :

Kelas D : kekerasannya Urai/ lunak-liat, Penggalan mudah dengan tongkat. Mudah ditekan dengan palu. Dapat digores dengan kuku. Kondisi pemboran Material lempung pasiran, plastisitas sedang - tinggi, residual soil, material bersifat lepas (Aluvial sungai). Tipe batuan Endapan sungai, endapan teras, koluvial dan residual soil.

Kelas CL : kekerasannya Padat/ liat-sangat liat, Penggalan hanya kedalaman terbatas dengan tongkat. Tersebar jika dipukul dengan palu. Kondisi pemboran Fragmen Batuan keras berupa gravelan dengan material lapukan. Tipe Batuan : Batu pasir tufaan dengan kondisi lapuk kuat ~ lapuk sedang dan batu breksi vulkanik.

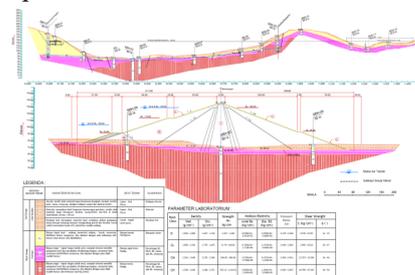
Kelas CM : kekerasan Sangat padat/ Batuan Agak Keras, Tergores dengan tongkat. Hancur berkeping dengan pukulan palu dan tidak berbunyi. Kondisi Pemboran massif, nampak mineral memiliki pelapukan sedang dan perubahan di beberapa bagian, jika dipukul dengan palu tidak mudah hancur. Tipe batuan : Perselingan batu pasir, batu lanau, batu lempung, dan batu pasir tufaan dengan kondisi agak lapuk ~ segar.

Kelas CH : Batuan Keras, Tergores dengan tongkat. Hancur berkeping dengan pukulan palu dan berbunyi. Kondisi Pemboran massif, nampak mineral memiliki pelapukan kecil, jika dipukul dengan palu tidak mudah hancur dan berbunyi nyaring (clear). Tipe Batuan : Perlapisan batu pasir, batu lanau, dan batu lempung, dengan kondisi agak lapuk ~ segar

Pondasi palung sungai hingga sandaran kanan bendungan direncanakan akan bertumpu pada perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung merupakan Batuan sedimen Miosen dengan klasifikasi CM dan pada sandaran kiri bendungan akan bertumpu pada batu breksi merupakan Batuan vulkanik kuartar dengan klasifikasi CL. Dimana Batuan klas D harus dibuang, Batuan klas CL dapat berfungsi sebagai pondasi bendungan urugan dan sebagai dasar pondasi concrete (beton).

Pada tumpuan kiri galian harus dibuat sudut lereng 45 derajat dengan memotong tebing yang

relatif tegak dan sebagian lagi membuang batu breksi dengan kondisi lapuk kuat ~ lapuk sedang sedalam 40 meter yang berfungsi juga sebagai pondasi spillway (pelimpah), di alur sungai galian harus dilakukan sedalam 3 meter untuk membuang endapan sungai , di dataran banjir galian dilakukan sedalam 7 meter untuk membuang endapan teras dan di tumpuan kanan galian harus dilakukan sedalam 3 ~ 13 meter untuk membuang lapisan permukaan dan perataan permukaan tapak bendungan dan sebagian lagi membuang koluvial dan batu pasir tufaan dengan kondisi lapuk.



Gambar 8. Penampang Geologi Teknik Pondasi Bendungan Kerekeh

Penggalian pondasi dapat dilakukan dengan ekskavator karena Batuannya relatif mempunyai kekuatan rendah. Penggalian harus hati-hati supaya didapat permukaan pondasi yang baik. Pondasi yang tidak rata permukaannya harus dilakukan dental concrete dan celah atau rekah terbuka harus di slush grouting. Daya dukung Batuan untuk beban timbunan cukup.

Tabel 1. Hubungan klasifikasi batuan dengan kuat tekan

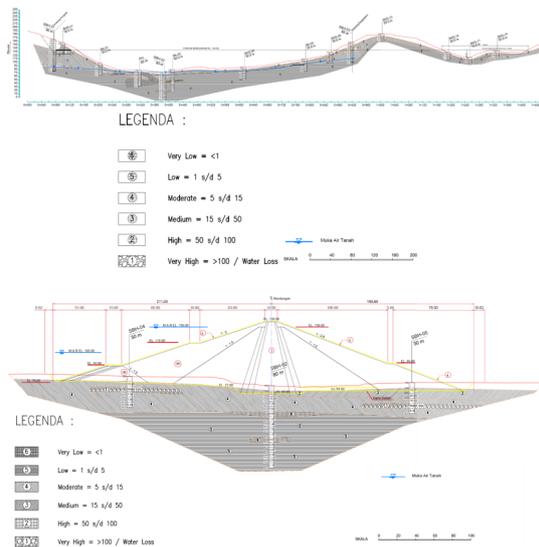
Klasifikasi	Kondisi Batuan dan pelapukan	Compressive strength (kgf/cm ²) and degree of consolidation	Kondisi intibor
D	Batuan lemah, lapuk sempurna	Weak to poorly consolidated, qu 1,1 kg/cm ²	Material lempung pasiran, plastisitas sedang - tinggi, residual soil, material bersifat lepas (Aluvial sungai)
CL	Batuan lemah, lapuk tinggi ~ lapuk sedang	Un-Semi consolidated, qu 71,7 ~ 149,6 kg/cm ²	Fragmen Batuan keras berupa gravelan dengan material lapukan.
CM	Batuan agak keras, lapuk ringan	Consolidated, qu 284,0 ~ 384,8 kg/cm ²	masif, nampak mineral memiliki pelapukan sedang dan perubahan di beberapa bagian, jika dipukul dengan palu tidak mudah hancur.
CH	Batuan keras, segar	Consolidated, qu 473,1 ~ 1133,9 kg/cm ²	masif, nampak mineral memiliki pelapukan kecil, jika dipukul dengan palu tidak mudah hancur dan berbunyi nyaring (clear).

Permeabilitas Batuan Pondasi Bendungan

Uji permeabilitas terhadap perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung di sepanjang as bendungan menunjukkan bahwa nilai $Lu > 5$ dijumpai mulai dari permukaan tanah setempat sampai dengan kedalaman 25 m (SBH-2). Pada bukit tumpuan kiri dan kanan yang diwakili oleh bor SBH-1 dan SBH-3 menunjukkan bahwa sampai dengan kedalaman > 50 m nilai $Lu > 5$. Uji permeabilitas terhadap alluvial Sungai Brang Batulanteh memberikan nilai $Lu = >100$.

Tabel 2. Zonasi Permeabilitas Batuan Pondasi Bendungan Kerekeh

Lu (liter/m/menit)	zona	k (cm/det)
> 100	1	$> 1 \times 10^{-3}$
50 - 100	2	$6 \times 10^{-4} - 2 \times 10^{-3}$
15 - 50	3	$2 \times 10^{-4} - 6 \times 10^{-4}$
5 - 15	4	$6 \times 10^{-5} - 2 \times 10^{-4}$
1 - 5	5	$1 \times 10^{-5} - 6 \times 10^{-5}$
< 1	6	$< 1 \times 10^{-5}$



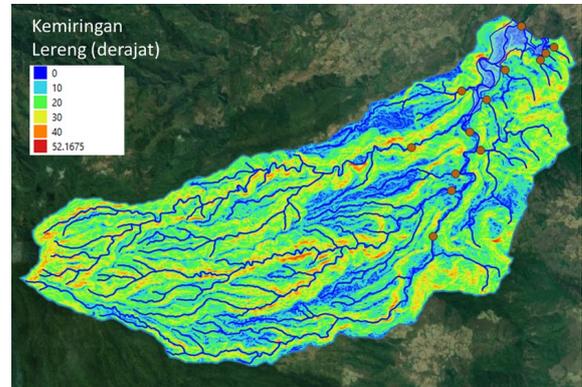
Gambar 9. Zonasi permeabilitas batuan pondasi bendungan berdasarkan nilai lugeon.

Selanjutnya berdasarkan klasifikasi tersebut telah dibuat profil permeabilitas dan lugeon memanjang as bendungan dan profil permeabilitas dan lugeon melintang as bendungan di sepanjang Sungai Brang Batulanteh. Dari profil tersebut diketahui bahwa Batuan pondasi bendungan termasuk di dalam zona 3 - 4 sehingga berpotensi bocor dengan debit relatif besar serta dapat membahayakan konstruksi bendungan. Untuk mencegah bahaya tersebut maka endapan aluvial harus dikupas seluruhnya dan perlu diperbaiki dengan injeksi semen bertekanan (grouting tirai). Disamping itu, perlu diadakan grouting konsolidasi untuk mengikat fragmen-fragmen batuan di

sepanjang jalur tapak bendungan.

Geologi Teknik Daerah Genangan

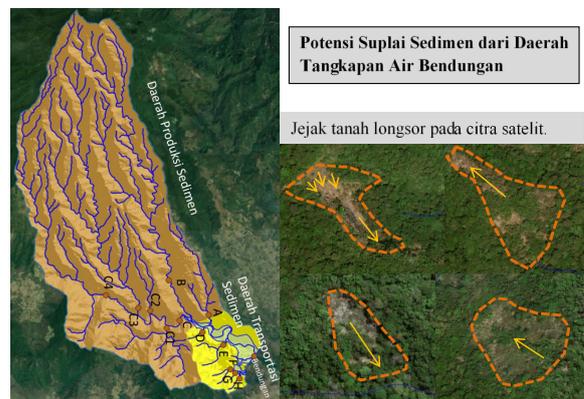
Dalam pemetaan geologi di daerah area tapak bendungan dan bangunan pelengkapinya tidak ditemukan tanda-tanda gerakan tanah/longsoran berskala besar. Ini dapat dipahami karena Batuannya terdiri dari batu pasir, batu lanau dan batu lempung kompak dan kemiringan topografinya dikontrol oleh kemiringan lapisan batu pasir lanauan tersebut.



Gambar 10. Kemiringan Lereng Pada Lokasi Bendungan Kerekeh dan daerah tangkapan airnya

Pada Daerah Genangan hanya terdapat potensi untuk terjadi gerakan tanah lokal skala kecil. Potensi suplai sedimen yang besar berasal dari daerah tangkapan bendungan kerekeh yang merupakan lereng gunung api.

Sumber Sedimen berasal dari : 1) Erosi Lahan : Kebun, pengolahan lahan miring dan 2) Material Vulkanik dari Olat Batupasak (letusan lama) ; tanah longsor, erosi tebing, lereng, dasar sungai, dsb.

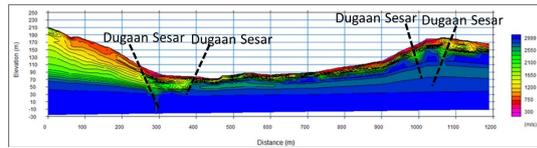


Gambar 11. Potensi Suplai Sedimen Bendungan Kerekeh

Hasil Survey Seismik Refraksi

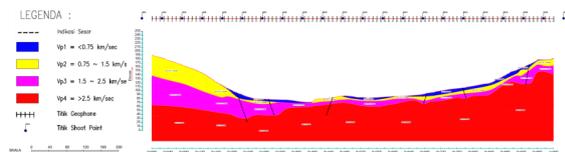
Hasil penyelidikan ini ditampilkan pada gambar di bawah ini. Dari profil seismik tersebut dapat dilihat bahwa kondisi batuan pondasi bendungan Kerekeh teradapat zona dengan cepat rambat gelombang rendah. Zona ini merepresentasikan beberapa hal diantaranya yaitu, tanah lapukan atau zona pelapukan kuat, batuan lepas

(endapan sungai, dll), batuan yang relatif lunak, dan zona kekar.



Gambar 12. Penampang cepat rambat gelombang batuan hasil penyelidikan seismic refraksi.

Kekar yang berkembang berupa shear fracture yang merupakan indikasi adanya perkembangan sesar di daerah tersebut. Zona shear fracture terletak di sisi palung sungai dan tumpuan kanan. Sesar minor kemungkinan berkembang pada zona kekar yang menerus ke bawah permukaan (sesuai tanda). Untuk mempermudah penyajian dilakukan pengelompokan cepat rambat gelombang dalam batuan



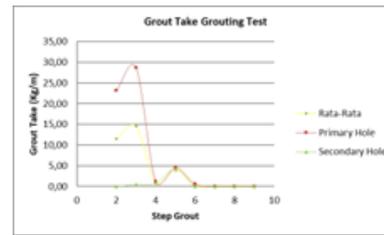
Gambar 13. Klasifikasi batuan berdasarkan cepat rambat gelombangnya

Berdasarkan hasil klasifikasi batuan berdasarkan cepat rambat gelombangnya dapat dilihat bahwa pada tumpuan kiri cenderung terdiri dari batuan dengan cepat rambat gelombang yang lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa batuan pada tumpuan kiri relatif lebih lemah. Hal ini pun sesuai dengan hasil pengeboran inti yang menunjukkan bahwa pada tumpuan kiri litologinya merupakan breksi vulkanik yang kurang kompak dan agak lunak dengan tingkat pelapukan sedang – lapuk kuat.

Batuan dengan warna biru mewakili tanah lapukan / top soil dan juga batuan lepas atau batuan dengan tingkat pelapukan yang kuat. Sedangkan batuan dengan warna kuning pada tumpuan kiri menunjukkan breksi dengan tingkat pelapukan yang kuat dan cenderung merupakan batuan yang lemah. Sehingga kedua lapisan tersebut harus dihilangkan/dikupas dengan kedalamannya sesuai dengan batas warna dan menyesuaikan / dikoreksi dengan hasil pengeboran inti dan juga hasil pengujian laboratorium.

Grouting Test

Hasil injeksi semen/grout take menunjukkan bahwa semen rerata yang masuk per meter pada lubang primer spasing 3,00 meter adalah 11,65 kg/m, sedangkan pada lubang sekunder dengan spasing 1,50 m adalah 1,091 kg/m.



Gambar 15. grout take lubang primer dan sekunder

Sehingga dapat dikatakan grouting test yang dilaksanakan pada spasing lobang bor 3 m menunjukkan injeksi semen yang masuk cukup besar pada stage 2 dan 3, hal ini disebabkan batuan di lapisan permukaan merupakan batuan dengan kondisi spasi kekar yang rapat. Sedangkan stage berikutnya injeksi semen relatif kecil karena batuan di lokasi ini relatif massif dan kondisi spasi kekar yang jarang. Untuk spasing 1,5 m grouting test rata-rata setiap stage injeksi semen/grout take relatif lebih kecil dibandingkan spasing grouting 3 m, hal tersebut disebabkan jaraknya lebih pendek.

Hasil lugeon test sebelum grouting dan sesudah grouting untuk lobang primer dari hasil uji kelulusan air bertekanan dengan jarak lubang kelompok primer 3,00 meter menunjukkan efektivitas lugeon rerata = 92,02% atau lugeon value rerata = 0,54. Sedangkan untuk lobang sekunder dengan spasing lobang bor 1,5 m, pada step 1 sampai step 2 terlihat grouting test memiliki efektifitas baik (68,66% – 79,09%), hal ini terlihat dari hasil lugeon test, terlihat penurunan nilai lugeon yang tidak terlalu signifikan untuk mencapai nilai $Lu < 1$.

Tabel 2. Hasil Uji lugeon test sebelum dan sesudah Grouting Test

Geologi	Step/ Kedalaman	Sebelum Grouting		Sesudah Grouting		Efektifitas (%)
		P (kg/cm ²)	Lugeon	P (kg/cm ²)	Lugeon	
Batupasir, Batulanau & Batulempung	2(5-10 m)	2,00	1,10	2,00	0,23	79,09
	3(10-15 m)	2,00	1,34	2,50	0,42	68,66
	4(15-20 m)	3,00	16,41	3,00	1,51	90,80
	5(20-25m)	3,00	32,90	3,50	0,08	99,76
	6(25-30 m)	3,00	1,12	4,00	0,08	92,86
	7(30-35 m)	3,00	1,05	4,50	0,06	94,29
	8(35-40 m)	4,00	0,18	5,00	0,18	0,00
	9(40-45 m)	5,00	0,26	5,00	0,33	-26,92
	Rerata			6,795		0,361

KESIMPULAN

1. Lokasi Rencana Bendungan Kerekeh tersusun atas enam macam litologi atau satuan batuan yaitu, (1) Satuan perselingan batupasir, batulanau dan batulempung, (2) Satuan Breksi Vulkanik, (3) Satuan Andesit, (4) Endapan Koluviial, (5) Endapan teras, dan (6) Endapan Sungai.
2. Struktur geologi sangat berpengaruh terhadap kondisi batuan pondasi bendungan kerekeh antara lain memperbesar permeabilitas batuan. menyebabkan daya dukung massa batuan pondasi lebih kecil dan lebih rentan terhadap pengaruh gempa.
3. Batuan Pondasi Rencana As Tubuh Bendungan Kerekeh terletak pada satuan perselingan batu pasir, batu lanau dan batu lempung dengan klasifikasi kelas massa batuan CM secara kriteria memiliki kondisi yang baik untuk pondasi ben-

dungan dan pada tumpuan kiri bendungan terdapat batu breksi dengan klasifikasi kelas massa batuan D-CL. Dimana Batuan kelas D secara kriteria tidak baik untuk pondasi bendungan dan harus dibuang hingga mencapai batuan kelas CL yang kondisinya lebih baik dan dapat berfungsi sebagai pondasi bendungan urugan.

4. Pada Daerah Genangan tidak ditemukan tanda-tanda gerakan tanah/longsoran berskala besar, hanya terdapat potensi untuk terjadi gerakan tanah lokal skala kecil. Potensi suplai sedimen yang besar berasal dari daerah tangkapan bendungan kerekeh yang merupakan lereng gunung api.

DAFTAR PUSTAKA

- Sipayung SB, Nurlatifah A, Maryadi E, Susanti I, Siswanto B, Latifah H, et al. Proyeksi Neraca Air di Wilayah Nusa Tenggara Barat (NTB) Berdasarkan Luaran Model COnformal Cubic Atmospheric Model (CCAM). *Jurnal Sains Dirgantara*. 2019 Juni; 16(02): p. 79-90.
- Faizah N, Buchori I. Model Pemetaan Resiko Kekeringan di Kabupaten Bima, Nusa Tenggara Barat. *Jurnal Pembangunan Wilayah dan Kota*. 2019 Mei; 15(No. 2): p. 138-150.
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Peraturan Menteri PUPR No 27/PRT/M2015 Tentang Bendungan Jakarta Selatan: Menteri Hukum dan Hak Asasi Manusia; 2015.
- Best E. Dams ; In : *Encyclopedia of Hydrology and Lakes*. *Encyclopedia of Earth Science* Dordrecht: Springer; 1998.
- Jackson DC, Brown JG. *Dam: Encyclopædia Britannica*; 2020.
- Jansen RB, editor. *Advanced Dam Engineering For Design, Construction, And Rehabilitation*. 1st ed. New York: Van Nostrand Reinhold; 1988.
- Wahlstrom EE. *Developments in Geotechnical Engineering 6 ; Dams, Dam Foundations and Reservoir Sites* Amsterdam: Elsevier Scientific Publishing Company; 1974.
- Sosrodarsono S, Takeda K, editors. *Bendungan Type Urugan*. Kedua ed. Jakarta: P.T. Pradnya Paramita; 1981.
- Sissakian VK, Adamo N, Al-Anshari N. *The Role of Geological Investigations for Dam Siting: Mosul Dam a Case Study* Berlin: Springer; 2020.
- Fell R. *Geotechnical Engineering of Dams*. 2nd ed. Leiden: CRC Press/Balkema; 2014.
- Karganbafghi F, Ghalamzan F. Application of seismic refraction and tomography methods to the assessment of the Sivaki dam site. *International Journal of Engineering & Technology*. 2018; 7: p. 1337-1345.
- Netto LG, Gandolfo OCB, Filho WM, Dourado JC. Non-Destructive Investigation on Small Earth Dams Using Geophysical Methods : Seismic Surface Wave Multichannel Analysis (MASW) and S-Wave Refraction Seismic Methods. *Brazilian Journal of Geophysics*. 2020; 38(1).
- Allo OJ, Ayolabi EA, Oladele S. Investigation of near-surface structures using seismic refraction and multi-channel analysis of surface waves methods—a case study of the University of Lagos main campus. *Arabian Journal of Geosciences*. 2019 April;(12).
- Sabiq H, Rasimeng S, Karyanto. Penentuan Litologi Lapisan Bawah Permukaan Berdasarkan Tomografi Seismik Refraksi Untuk Geoteknik Bendungan Air Daerah "X". *Jurnal Geofisika Eksplorasi*. 2018; 4(3).
- Osazuwa IB, Chinedu AD. Seismic refraction tomography imaging of high-permeability zones beneath an earthen dam, in Zaria area, Nigeria. *Journal of Applied Geophysics*. 2008 August;(66): p. 44–58.
- Bemmelen RWV. *The Geology Of Indonesia Vol. IA General Geology Of Indonesia and Adjacent Archipelagoes* The Hague: Government Printing Office; 1948.
- Sudradjat A, Mangga SA, Suwarna N. *Peta Geologi Lembar Sumbawa, Nusatenggara Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi*; 1998.
- Nezhad HZ, Ajalloeian R, Azimian A. Evaluation of Geological and Engineering Geological Properties of Cheshmeh-Asheq Dam Site: *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*; 2012.