

**SKRIPSI**

**SIFAT KETEKNIKAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN  
BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN  
POLONGBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR  
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh**

**ANDI MUHAMMAD YUSRIL**

**D61116009**



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
MAKASSAR  
2022**

**LEMBAR PENGESAHAN TUGAS AKHIR**  
**SIFAT KETEKNIKAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN**  
**BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN**  
**POLONGBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR**  
**PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh :

**ANDI MUHAMMAD YUSRIL**  
**D61116009**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Juni 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

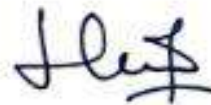
Menyetujui,

Pembimbing Utama

Pembimbing Pendamping




Dr. Sultan, S.T., M.T.  
NIP. 19700705 199702 1 002



Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.  
NIP. 19771214 200501 1 002

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



  
Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng.  
NIP. 19700705 199702 1 002

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Andi Muhammad Yusril  
NIM : D61116009  
Program studi : Teknik Geologi  
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya yang berjudul:

**“SIFAT KETEKNIKAN BATUAN BAWAH PERMUKAAN  
BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN  
POLONGBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR  
PROVINSI SULAWESI SELATAN”**

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambil alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan skripsi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 21 Juni 2022

Yang Menyatakan



Andi Muhammad Yusril

## SARI

Bendungan Pamukkulu sedang dibangun di daerah Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi bendungan masuk dalam Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv) yang disusun oleh litologi lava dan breksi serta retas-retas basal. Kondisi batuan penyusun batuan vulkanik ini memiliki karakteristik geoteknik yang kurang baik seperti pelapukan, pengaruh air tanah berdasarkan permeabilitas batuan dan kekar. Berdasarkan kondisi geoteknik tersebut, maka diperlukan penyelidikan lebih lanjut untuk mengetahui sifat keteknikan batuan bawah permukaan fondasi bendungan. Metode penelitian yang digunakan adalah metode pengeboran inti dan pengambilan sampel batuan untuk pengujian laboratorium dalam menganalisis kondisi geologi teknik batuan bawah permukaan area *as dam* dan *as plinth*.

Berdasarkan penyelidikan geologi teknik, batuan bawah permukaan area bendungan disusun oleh litologi breksi vulkanik dan basalt dengan kelas batuan berkisar dari D hingga CH. Berdasarkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD), kualitas batuan bawah permukaan berkisar antara kualitas batuan sangat jelek hingga baik yang selaras dengan kondisi kelas batuan dan kekar pada batuan. Nilai *lugeon* batuan *as dam* memiliki rentang 0.93 hingga 2.42 sementara nilai *lugeon* batuan area *as plinth* dominan lebih dari 3. Batuan utuh memiliki nilai *uniaxial compressive strength* (UCS) sebesar 79,05 MPa untuk batuan basalt dan sebesar 51,91 MPa untuk batuan breksi vulkanik. Rekomendasi dalam pembangunan bendungan yaitu perlu dilakukan penggalian hingga kedalaman batuan dengan kelas batuan CH serta kualitas batuan sedang hingga sangat jelek berdasarkan RQD, pada area *plinth* perlu dilakukan *grouting*, serta kuat tekan beton pada perbaikan *plinth* harus sama atau lebih dari kuat tekan batuan

**Kata Kunci:** Bendungan Pamukkulu, Geologi Teknik, Pengeboran Inti, *Lugeon Test*

## ABSTRACT

*Pamukkulu Dam is being built in the Kale Ko'mara Village area, North Polombangkeng District, Takalar Regency, South Sulawesi Province. Location of the dam is included in the Baturape-Cindako Volcanic Rock Formation (Tpbv) which is composed of lava and breccia and basalt dykes. The condition of the rocks that make up volcanic rocks has unfavorable geotechnical characteristics such as weathering, the influence of groundwater based on rock permeability and joints. Based on these geotechnical conditions, further investigation is needed to determine the engineering properties of the subsurface rock of the dam foundation. The research method used is the core drilling method and rock sampling for laboratory testing in analyzing the engineering geological conditions of the subsurface rock areas of as dam and as plinth.*

*Based on engineering geological investigations, the subsurface rock of the dam area is composed of volcanic breccia and basalt lithology with rock classes ranging from D to CH. Based on the Rock Quality Designation (RQD) value, the quality of the subsurface rock ranges from very poor to good rock quality which is in line with the rock class and joint conditions in the rock. The lugeon value of as dam rock has a range of 0.93 to 2.42, while the lugeon value of rock in the as plinth area is dominantly more than 3. Intact rock has a uniaxial compressive strength (UCS) value of 79.05 MPa for basalt and 51.91 MPa for volcanic breccia. Recommendations in the construction of dams are that it is necessary to excavate to a depth of rock with rock class CH and the rock quality is moderate to very poor based on the RQD, need to do grout on the plinth area, and the compressive strength of the concrete in the repair of the plinth must be equal to or more than the compressive strength of the rock.*

**Keywords:** *Pamukkulu Dam, Engineering Geology, Core Drilling, Lugeon Test*

## KATA PENGANTAR

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *subhanahu wata'ala* atas segala berkah dan rahmat serta atas seizin-Nya sehingga penyusunan Skripsi dengan judul “**Sifat Keteknikan Batuan Bawah Permukaan Bendungan Pamukkulu Kecamatan Polongbangkeng Utara Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan**” ini dapat diselesaikan dengan sebaik-baiknya. Shalawat dan salam juga senantiasa tercurahkan kepada Rasulullah *shallallahu 'alaihi wasallam* yang telah menjadi teladan terbaik bagi umat manusia.

Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai suatu langkah untuk menyelesaikan strata satu pada Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Penyusunan laporan tugas akhir ini tidak lepas dari bantuan berbagai pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu penulis. Oleh karena itu, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dr. Ir. Sultan, M.T sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dengan ikhlas dan sabar selama penyusunan laporan.
2. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M. Eng. sebagai dosen pembimbing sekaligus Ketua Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan arahan dan bimbingan kepada penulis dengan ikhlas dan sabar selama penyusunan laporan.

3. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T dan Bapak Prof. Dr. Eng. Asri Jaya HS, S.T, M.T. sebagai dosen penguji yang telah memberikan banyak masukan kepada penulis dengan baik.
4. Bapak dan Ibu dosen Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin atas bimbingannya selama ini.
5. Bapak dan Ibu staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.
6. Bapak Muhamad Ichwanto, S.T., Kak William Triputra, S.T. dan staf, karyawan PT. Wijaya Karya - PT. DMT, KSO, yang telah memberikan bimbingan, arahan, ilmu pengetahuan dan kerjasamanya kepada penulis selama melaksanakan pengambilan data.
7. Rekan-rekan Jurassic, mahasiswa Teknik Geologi Angkatan 2016 atas kebersamaannya saat proses pengambilan data hingga penyusunan laporan.
8. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.
9. Kedua orang tua tercinta beserta kakak dan adik yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik moril maupun materil.
10. Seluruh pihak yang tidak dapat penulis sampaikan yang juga telah banyak membantu dan mendoakan.

Penulis menyadari banyaknya ketidaksempurnaan yang terdapat pada tulisan ini. Olehnya itu, penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang

membangun dari berbagai pihak. Akhir kata semoga pada tulisan ini terdapat keberkahan dan dapat bernilai positif bagi para pembaca maupun penulis.

Makassar, Juni 2022

Penulis



## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b> .....	<b>i</b>
<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>iii</b>
<b>SARI</b> .....	<b>iv</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>ix</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiv</b>
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	2
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian .....	3
1.5 Manfaat Penelitian .....	3
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian .....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>5</b>
2.1 Geologi Teknik.....	5
2.2 Fondasi Bendungan.....	6
2.3 Geologi Teknik dalam Pembangunan Bendungan .....	8
2.3.1 Klasifikasi Kelas Batuan oleh CRIEPI (1992).....	10
2.3.2 <i>Rock Quality Designation</i> (RQD) .....	11
2.3.3 Pengujian Permeabilitas Batuan.....	12
2.3.3.1 Permeabilitas Batuan .....	12
2.3.3.2 <i>Lugeon Test</i> .....	14
2.3.4 Kuat Tekan Batuan.....	18
2.4 Geologi Daerah Penelitian.....	19
2.4.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	19

2.4.2	Stratigrafi Daerah Penelitian .....	20
2.4.3	Struktur Geologi Daerah Penelitian .....	21
2.5	Karakteristik Geoteknik Batuan Vulkanik .....	22
2.6	Perlakuan Terhadap Kondisi Batuan Fondasi Bendungan .....	22
2.6.1	Perlakuan Terhadap Kelas Batuan .....	23
2.6.2	Perlakuan Terhadap Permeabilitas Batuan .....	23
2.6.3	Perlakuan Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan) .....	25
<b>BAB III</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>26</b>
3.1	Metode Penelitian.....	26
3.2	Tahapan Penelitian.....	27
3.2.1	Tahap Persiapan .....	27
3.2.2	Tahap Pengambilan Data .....	27
3.2.2.1	Pengeboran Inti .....	28
3.2.2.2	Pengambilan Sampel.....	32
3.2.3	Tahap Analisis Laboratorium .....	33
3.2.4	Tahap Pengolahan Data dan Analisis Data .....	35
3.2.5	Tahap Penyusunan Laporan .....	36
<b>BAB IV</b>	<b>HASIL DAN PEMBAHASAN .....</b>	<b>38</b>
4.1	Geologi Daerah Penelitian.....	38
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian.....	38
4.1.2	Stratigrafi Daerah Penelitian .....	41
4.1.3	Struktur Geologi Daerah Penelitian .....	43
4.2	Lapisan Batuan Bawah Permukaan.....	44
4.2.1	Lapisan Batuan Area <i>As Dam</i> .....	49
4.2.2	Lapisan Batuan Area <i>As Plinth</i> .....	50
4.3	Zonasi Kelas Batuan .....	52
4.3.1	Zonasi Kelas Batuan Area <i>As Dam</i> .....	53
4.3.2	Zonasi Kelas Batuan Area <i>As Plinth</i> .....	56
4.4	Kualitas Batuan Bawah Permukaan.....	63
4.4.1	Kualitas Kelas Batuan Area <i>As Dam</i> .....	65

4.4.2	Kualitas Kelas Batuan Area <i>As Plinth</i> .....	66
4.5	Kuat Tekan Batuan.....	67
4.5.1	Kuat Tekan Batuan Basalt .....	67
4.5.2	Kuat Tekan Batuan Breksi.....	69
4.6	Permeabilitas Batuan .....	70
4.6.1	Permeabilitas Batuan <i>As Dam</i> .....	70
4.6.2	Permeabilitas Batuan <i>As Plinth</i> .....	71
4.7	Rekomendasi dalam Pembangunan Bendungan .....	73
4.7.1	Permeabilitas Batuan <i>As Dam</i> .....	73
4.7.2	Permeabilitas Batuan <i>As Plinth</i> .....	73
4.7.3	Permeabilitas Batuan <i>As Dam</i> .....	74
4.7.4	Permeabilitas Batuan <i>As Plinth</i> .....	74
<b>BAB V</b>	<b>PENUTUP</b> .....	<b>77</b>
5.1	Kesimpulan.....	77
5.2	Saran .....	78

## DAFTAR PUSTAKA

## LAMPIRAN

- Peta Geologi Area Bendungan
- Peta Titik Bor
- Log Bor dan Foto *Core Box*
- Penampang Geologi *As Dam*
- Penampang Kelas Batuan *As Dam*
- Penampang Geologi *As Plinth*
- Penampang Kelas Batuan *As Plinth*
- Hasil Pengujian Kuat Tekan Batuan
- Analisis *Lugeon Test*

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar 1.1</b>	Peta tunjuk lokasi pembangunan Bendungan Pamukkulu .....	4
<b>Gambar 2.1</b>	Bagian fondasi bendungan UBM (Departemen PU, 2011).....	7
<b>Gambar 2.2</b>	Prosedur pengukuran dan perhitungan RQD (Deere dan Deere, 1988).....	11
<b>Gambar 2.3</b>	Jenis-jenis alat <i>packer test</i> .....	15
<b>Gambar 2.4</b>	Peta geologi regional area bendungan (Sukamto, 1982).....	21
<b>Gambar 2.5</b>	Sistem Pencegahan Kebocoran pada Bendungan Urugan.....	24
<b>Gambar 3.1</b>	Kegiatan pengeboran inti pada area bendungan .....	29
<b>Gambar 3.2</b>	Penentuan kelas batuan inti bor .....	30
<b>Gambar 3.3</b>	Perhitungan RQD pada inti bor .....	30
<b>Gambar 3.4</b>	Pekerjaan <i>lugeon test</i> .....	31
<b>Gambar 3.5</b>	Peralatan <i>lugeon test</i> .....	32
<b>Gambar 3.6</b>	Pengambilan sampel batuan untuk diuji di laboratorium.....	33
<b>Gambar 3.7</b>	Penempatan sampel pada uji kuat tekan uniaksial.....	34
<b>Gambar 3.8</b>	Diagram alir penelitian .....	37
<b>Gambar 4.1</b>	Kenampakan bentangalam perbukitan dengan arah foto N 72°E .....	38
<b>Gambar 4.2</b>	Singkapan batuan yang mengalami pelapukan fisika yang menyebabkan pecahan batuan lepas dari batuan asalnya .....	39

<b>Gambar 4.3</b>	Kenampakan pelapukan kimiawi berupa <i>spheroidal weathering</i> pada batuan.....	40
<b>Gambar 4.4</b>	Kenampakan soil dengan ketebalan sekitar 10 meter.....	40
<b>Gambar 4.5</b>	Kenampakan sungai Pamukkulu dengan penampang sungai berbentuk “U” dengan erosi dominan secara lateral .....	41
<b>Gambar 4.6</b>	Singkapan Breksi Vulkanik pada STA 0+250 <i>As Dam</i> .....	42
<b>Gambar 4.7</b>	Singkapan Basal pada STA 0+250 <i>As Dam</i> .....	42
<b>Gambar 4.8</b>	Kenampakan singkapan basalt yang mengintrusi breksi vulkanik pada STA 0+500 .....	42
<b>Gambar 4.9</b>	Kekar non-sistematis pada litologi breksi vulkanik .....	42
<b>Gambar 4.10</b>	Distribusi titik bor pada rencana pembangunan bendungan Pamukkulu.....	45
<b>Gambar 4.11</b>	Kenampakan sampel batuan basal dari hasil pengeboran pada titik bor BW-10 dengan kedalaman 25 - 30 m.....	46
<b>Gambar 4.12</b>	Kenampakan petrografis pada sayatan PL-26, yang memperlihatkan kandungan mineral berupa Kuarza (Qz), Plagioklas (Plg), Olivin (Ol), Massa Dasar (Md), dan Mineral Opaq (Op) .....	46
<b>Gambar 4.13</b>	Kenampakan sampel batuan breksi vulkanik dari hasil pengeboran pada titik bor BW-11 pada kedalaman 5-9 meter .....	47
<b>Gambar 4.14</b>	Kenampakan petrografis pada sayatan BW-11, yang memperlihatkan kandungan mineral berupa Plagioklas (Plg), Kuarza (Qz), Piroksin (Pr), Opaq (Op) dan Massa Dasar (Md) .....	48

<b>Gambar 4.15</b> Lapisan batuan dari titik bor penelitian dengan titik bor sebelumnya (perencanaan) area <i>as dam</i> .....	49
<b>Gambar 4.16</b> Penampang geologi <i>as dam</i> .....	50
<b>Gambar 4.17</b> Lapisan batuan dari titik bor penelitian dengan titik bor sebelumnya (perencanaan) area <i>as plinth</i> .....	51
<b>Gambar 4.18</b> Penampang geologi <i>as plinth</i> .....	51
<b>Gambar 4.19</b> Log hasil pengeboran BW-10 .....	54
<b>Gambar 4.20</b> Log hasil pengeboran BW-11 .....	55
<b>Gambar 4.21</b> Penampang kelas batuan <i>as dam</i> .....	55
<b>Gambar 4.22</b> Log hasil pengeboran PL-21 .....	57
<b>Gambar 4.23</b> Log hasil pengeboran PL-25 .....	58
<b>Gambar 4.24</b> Log hasil pengeboran PL-26 .....	59
<b>Gambar 4.25</b> Log hasil pengeboran PL-46 .....	60
<b>Gambar 4.26</b> Log hasil pengeboran PL-52 .....	61
<b>Gambar 4.27</b> Log hasil pengeboran PL-60 .....	62
<b>Gambar 4.28</b> Penampang kelas batuan <i>as plinth</i> .....	63
<b>Gambar 4.29</b> Log hasil perhitungan RQD area <i>as dam</i> .....	65
<b>Gambar 4.30</b> Log hasil perhitungan RQD area <i>as plinth</i> .....	66
<b>Gambar 4.31</b> Kurva <i>stress-strain</i> pada uji UCS pada batuan basalt .....	68
<b>Gambar 4.32</b> Kurva <i>stress-strain</i> pada uji UCS pada batuan breksi vulkanik .....	69

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel 2.1</b>	Klasifikasi massa batuan oleh CRIEPI (1992).....	10
<b>Tabel 2.2</b>	Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan nilai RQD (Deere dan Deere, 1988).....	12
<b>Tabel 2.3</b>	Penentuan jenis aliran dan nilai <i>lugeon</i> .....	17
<b>Tabel 2.4</b>	Hubungan nilai <i>lugeon</i> dan keperluan <i>grouting</i> (Ditjen SDA, 2005).....	18
<b>Tabel 2.5</b>	Kekuatan material batuan utuh (Bienawski, 1989) .....	19
<b>Tabel 4.1</b>	Distribusi titik pengeboran inti .....	44
<b>Tabel 4.2</b>	Tabel kedalaman lapisan batuan pada titik pengeboran inti .....	48
<b>Tabel 4.3</b>	Rangkuman kelas batuan pada titik pengeboran inti .....	53
<b>Tabel 4.4</b>	Hasil perhitungan RQD pada titik pengeboran inti .....	64
<b>Tabel 4.5</b>	Hasil pengujian nilai kuat tekan batuan uniaksial .....	67
<b>Tabel 4.6</b>	Hasil perhitungan UCS pada batuan basalt .....	68
<b>Tabel 4.7</b>	Hasil perhitungan UCS pada batuan breksi vulkanik .....	69
<b>Tabel 4.8</b>	Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor BW-10 .....	70
<b>Tabel 4.9</b>	Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor BW-11 .....	70
<b>Tabel 4.10</b>	Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-21 .....	71
<b>Tabel 4.11</b>	Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-25 .....	71
<b>Tabel 4.12</b>	Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-26 .....	71

<b>Tabel 4.13</b> Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-46 .....	72
<b>Tabel 4.14</b> Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-52 .....	72
<b>Tabel 4.15</b> Hasil <i>lugeon test</i> pada titik bor PL-60 .....	72
<b>Tabel 4.16</b> Rekomendasi dalam pembangunan bendungan Pamukkulu berdasarkan hasil penelitian .....	75



# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam rangka peningkatan kesejahteraan masyarakat di Indonesia khususnya di Sulawesi Selatan, pemerintah melakukan berbagai upaya untuk menghadirkan berbagai macam infrastruktur. Saat ini, percepatan pekerjaan infrastruktur irigasi pertanian yang dianggap strategis dan memiliki urgensi tinggi dilakukan untuk dapat direalisasikan dalam kurun waktu yang singkat. Salah satu infrastruktur yang dihadirkan untuk masyarakat Sulawesi Selatan adalah Bendungan Pamukkulu yang berlokasi di Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan.

Bendungan termasuk ke dalam *heavy construction* sehingga menyimpan potensi bahaya yang besar dan memiliki resiko kerusakan fisik serta kegagalan fungsi. Salah satu hal yang harus diperhatikan dalam pembangunan bendungan adalah pondasi yang harus bertumpu pada batuan yang mempunyai daya dukung yang baik dan kuat. Bendungan Pamukkulu merupakan bendungan yang akan dibangun dengan tipe CFRD (*Concrete Face Rockfill Dam*) atau tipe Urugan Batu Membran Beton

Bendungan Pamukkulu dikerjakan oleh PT. Wijaya Karya – PT. Daya Mulia Turangga (DMT) dan PT. Nindya Karya. Berdasarkan lokasinya, bendungan ini pada Geologi Regional Lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai, Sulawesi termasuk dalam Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv) yang disusun oleh litologi lava dan breksi serta retas-retas basal (Sukamto, 1982).

Batuan vulkanik memiliki karakteristik geoteknik yang kurang baik, yang disebabkan oleh perbedaan pelapukan, pengaruh air tanah berdasarkan permeabilitas batuan, dan kekar sistematis yang dihasilkan oleh pendinginan dan kontraksi lava (Kim dkk, 2015). Kondisi batuan vulkanik yang memiliki karakteristik geologi teknik tersebut berpotensi menyebabkan masalah kestabilan dan ketahanan terhadap bangunan yang dibangun di atasnya.

Berdasarkan kondisi daerah pembangunan bendungan Pamukkulu yang disusun oleh batuan vulkanik, maka diperlukan penyelidikan lebih lanjut berupa studi sifat keteknikan batuan untuk mengetahui kondisi geologi teknik bawah permukaan sehingga dapat ditentukan langkah-langkah teknis dalam pembangunan bendungan selanjutnya.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Adapun rumusan masalah dari penelitian ini adalah:

1. Bagaimana kelas batuan bawah permukaan berdasarkan klasifikasi CRIEPI pada area bendungan?
2. Bagaimana kualitas batuan bawah permukaan berdasarkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) pada area bendungan?
3. Bagaimana permeabilitas batuan bawah permukaan berdasarkan nilai *lugeon* pada area bendungan?
4. Bagaimana kuat tekan batuan bawah permukaan pada area bendungan?
5. Bagaimana rekomendasi dalam pembangunan bendungan terkait kondisi geologi teknik batuan bawah permukaan area bendungan?

### 1.3 Batasan Masalah

Penulis membatasi masalah yang akan dibahas pada penelitian ini yaitu memfokuskan permasalahan pada sifat keteknikan batuan bawah permukaan berupa kelas batuan, klasifikasi massa batuan, dan permeabilitas batuan dengan metode pengambilan data berupa pengeboran inti pada area *as dam* dan *as plinth* Bendungan Pamukkulu, Desa Kale Ko'mara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan.

### 1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mengetahui kelas batuan bawah permukaan berdasarkan klasifikasi CRIEPI pada area bendungan
2. Mengetahui kualitas batuan bawah permukaan berdasarkan nilai *Rock Quality Designation* (RQD) pada area bendungan
3. Mengetahui permeabilitas batuan bawah permukaan berdasarkan nilai *lugeon* pada area bendungan.
4. Mengetahui kuat tekan batuan bawah permukaan pada area bendungan
5. Mengetahui rekomendasi dalam pembangunan bendungan terkait kondisi geologi teknik batuan bawah permukaan area bendungan

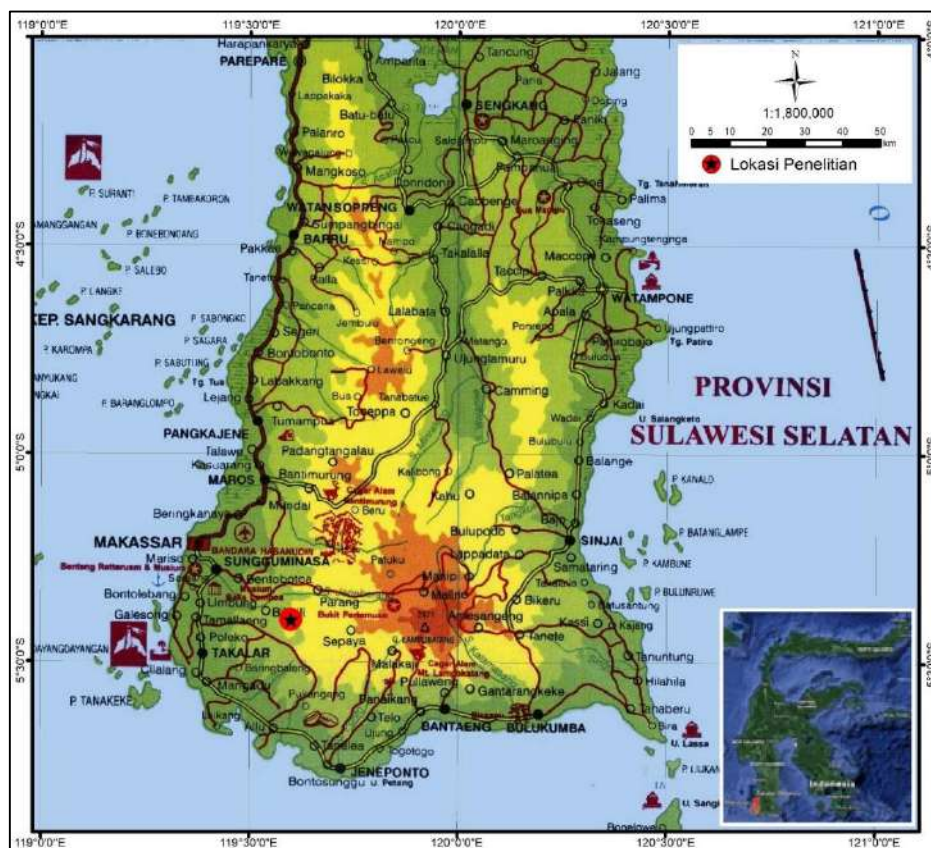
### 1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan data mengenai kondisi geologi teknik bawah permukaan area bendungan yang dapat dijadikan sebagai pertimbangan dalam pelaksanaan pembangunan maupun rekayasa geoteknik

bendungan Pamukkulu serta dapat sebagai acuan untuk penelitian yang akan datang.

## 1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah Penelitian

Lokasi penelitian secara administratif terletak pada Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Jarak dari kota Makassar sekitar 50 kilometer ke arah selatan, dengan waktu tempuh dengan menggunakan kendaraan roda empat sekitar 2 jam perjalanan. Secara geografis terletak pada koordinat  $119^{\circ}34'45,3''$ - $119^{\circ}38'33,9''$  BT dan  $5^{\circ}23'23,6''$ - $5^{\circ}25'56,8''$  LS. Lokasi bendungan terletak pada daerah aliran Sungai Pamukkulu (Pappa) yang mengalir dari hulu Gunung Bawakaraeng di sebelah Timur.



**Gambar 1.1** Peta tunjuk lokasi pembangunan Bendungan Pamukkulu

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Geologi Teknik**

Dalam menunjang suatu pembangunan infrastruktur diperlukan berbagai data dan informasi, salah satunya adalah data geologi teknik. Data geologi teknik memberikan informasi mengenai kekuatan serta karakteristik lapisan tanah/batuan yang berguna dalam perencanaan dan penataan ruang (Syarief, 2016).

Geologi teknik adalah aplikasi geologi untuk kepentingan keteknikan, yang menjamin pengaruh faktor-faktor geologi terhadap lokasi, desain, konstruksi, pelaksanaan pembangunan (*operation*) dan pemeliharaan hasil kerja keteknikan atau *engineering works* (American Geological Institute dalam Attewell & Farmer, 1976).

Data dan informasi geologi teknik tersebut dapat diperoleh dengan cara melakukan pemetaan maupun penyelidikan geologi teknik. Pemetaan dan penyelidikan geologi teknik bertujuan untuk mengumpulkan berbagai data dan informasi geologi teknik permukaan dan bawah permukaan yang mencakup: sebaran serta sifat fisik tanah/batuan, kondisi air tanah, morfologi dan bahaya beraspek geologi (Syarief, 2016).

Metode yang digunakan dalam melakukan pemetaan dan penyelidikan geologi teknik adalah metoda kualitatif dan kuantitatif. Metode kualitatif yaitu melaksanakan pengamatan lapangan, pengukuran struktur, deskripsi sifat fisik dan keteknikan tanah/batuan, kondisi keairan, dan menginventarisasi kebencanaan

geologi yang ada. Metoda kuantitatif yaitu melakukan perhitungan dan analisis seperti daya dukung, kemantapan lereng, kompresibilitas dan perosokan tanah (Syarief, 2016).

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. Adapun bendung adalah bangunan air yang dibangun melintang sungai atau sudetan yang sengaja dibuat untuk meninggikan elevasi muka air untuk mendapatkan tinggi terjun, sehingga air dapat disadap dan dialirkan secara gravitasi ke daerah yang membutuhkan.

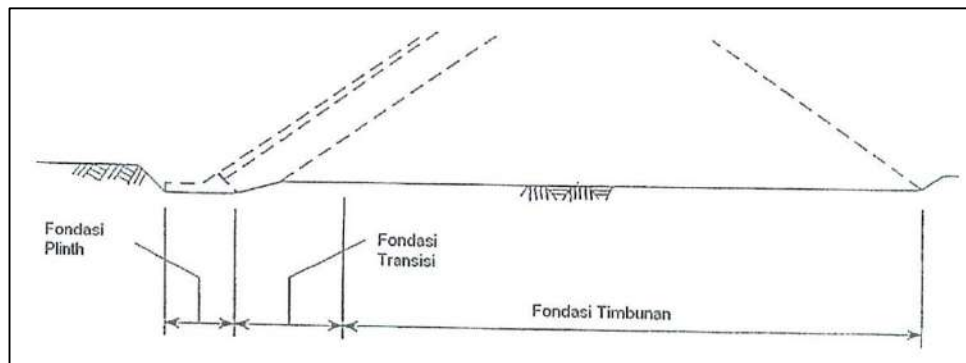
## **2.2 Fondasi Bendungan**

Fondasi suatu bendungan menurut (Sosrodarsono, 1993) harus memenuhi tiga syarat penting sebagai berikut:

- 1) Mempunyai daya dukung yang cukup sehingga mampu menahan beban tubuh bendungan pada berbagai kondisi.
- 2) Mampu menghambat aliran rembesan/cukup kedap air
- 3) Mempunyai ketahanan terhadap erosi internal, aliran buluh, *boiling*

Fondasi bendungan urukan batu membran (UBM) pada prinsipnya harus mampu mendukung struktur bendungan terhadap segala kondisi pembebanan dan aman terhadap rembesan. Fondasi UBM dapat dibagi 3 bagian utama, yakni:

- Fondasi plin
- Fondasi bagian transisi
- Fondasi timbunan



**Gambar 2.1** Bagian fondasi bendungan UBM (Departemen PU, 2011)

Kriteria dan sifat batuan fondasi yang harus dipertimbangkan dalam desain adalah:

### 1. Kekuatan

Bila urugan batu terletak pada batuan yang keras, kuat geser fondasi tidak mengontrol stabilitas lereng timbunan. Namun demikian, pertimbangan stabilitas diperlukan, bila:

- Masih ada lapisan aluvial atau material yang mudah terlapuk di bawah timbunan
- Bila ditemui adanya sisipan lemah (*weak seams*) pada batuan yang keras.

Bila terdapat hal-hal seperti di atas, kemiringan timbunan/urugan perlu diperlandai atau dilakukan perbaikan fondasi terlebih dahulu. Struktur plin sebaiknya diletakkan pada fondasi batuan yang mempunyai kekuatan yang lebih baik dari fondasi urugan batu (Departemen PU, 2011).

### 2. Kompresibilitas

Hal penting sehubungan dengan sifat kompresibilitas dari fondasi timbunan dan fondasi transisi adalah tidak mengakibatkan terjadinya retakan atau rusaknya lapisan membran beton lereng hulu. Pada fondasi plin, kompresibilitas harus cukup

rendah supaya tidak menyebabkan terjadinya retakan akibat beban air waduk (Departemen PU, 2011).

### **3. Erodibilitas**

Erodibilitas yang dapat terjadi pada bagian fondasi timbunan juga harus dipertimbangkan dalam desain. Gambaran batuan yang ideal adalah batuan yang tidak mudah tererosi dengan sisipan dan kekar yang lapisan pengisinya juga tidak mudah tererosi (Departemen PU, 2011).

### **4. Permeabilitas**

Fondasi plin harus mempunyai permeabilitas yang rendah atau mudah di-*grouting*, sebagai upaya perbaikan fondasi plin (Departemen PU, 2011).

## **2.3 Geologi Teknik dalam Pembangunan Bendungan**

Penyelidikan geologi dan geologi teknik yang dilakukan pada pembangunan bendungan adalah untuk mengetahui keadaan geologi antara lain penyebaran tanah/batuan, struktur geologi, proses alam yang terjadi, susunan perlapisan batuan (stratigrafi), struktur geologi serta sifat-sifat fisik batuan untuk keperluan perencanaan teknik sipil (Departemen PU, 2011).

Kegiatan penyelidikan yang perlu dilakukan adalah investigasi geologi permukaan dan investigasi geologi bawah permukaan untuk memperoleh data mengenai: kualitas, jumlah, penyebaran, ketebalan endapan, jenis sifat, derajat pelapukan, pola dan bidang diskontinuitas, dan lain sebagainya. Investigasi bawah permukaan diperlukan untuk mengetahui secara langsung kondisi di bawah permukaan. Metode yang lazim digunakan adalah pengeboran inti dan survey



seismik untuk lokasi material batu, pemboran mesin auger serta percobaan galian terowongan (Departemen PU, 2011).

Investigasi geoteknik dalam pembangunan bendungan terdiri dari investigasi pendahuluan dan investigasi rinci. Penyelidikan geoteknik rinci mutlak dilakukan untuk pekerjaan desain dan konstruksi. Penyelidikan dilakukan terutama pada lokasi-lokasi penting dari bendungan urugan batu membran, yakni:

- a) Lokasi plin,
- b) Fondasi urugan dan
- c) Sumber-sumber material urugan

Pertimbangan atau saran dari ahli geoteknik dan geologi terutama diperlukan sebelum tahapan konstruksi bendungan terhadap kondisi yang ada dari fondasi, ebatmen, dan terowongan pengelak atau penggalian (misal fondasi pelimpah). Hal ini diperlukan untuk evaluasi apakah tahapan konstruksi telah sesuai dengan kondisi dan asumsi desain dan spesifikasi yang telah ditentukan. Jika terdapat kondisi luar biasa yang dapat mempengaruhi konstruksi, diperlukan penyelidikan lapangan lebih terperinci, dan modifikasi untuk perbaikan desain (Firmanda, 2011).

Untuk mengetahui informasi geoteknik secara khusus pada lokasi-lokasi fondasi yang diperlukan dalam desain bendungan Pamukkulu, dilakukan penyelidikan geologi teknik sebagai berikut:

1. Penentuan kelas batuan berdasarkan CRIEPI (1992)
2. Perhitungan nilai *Rock Quality Designation* (RQD)
3. Pengujian permeabilitas batuan dengan metode *Lugeon test*

4. Pengujian kuat tekan batuan melalui uji *Uniaxial Compressive Strength* (UCS)

### 2.3.1 Klasifikasi Kelas Batuan oleh CRIEPI (1992)

Klasifikasi oleh *Central Research Institute of Electric Power Industry* (CRIEPI) merupakan klasifikasi batuan fondasi yang dibuat di pada tahun 1992 di Jepang. Klasifikasi kelas batuan yang disusun oleh CRIEPI ini dengan mempertimbangkan faktor-faktor seperti kekerasan yang dinilai berdasar reaksi bunyi sewaktu dipalu dengan palu geologi, tingkat pelapukan mineral/batuan serta karakteristik kekar.

**Tabel 2.1** Klasifikasi massa batuan oleh CRIEPI (1992)

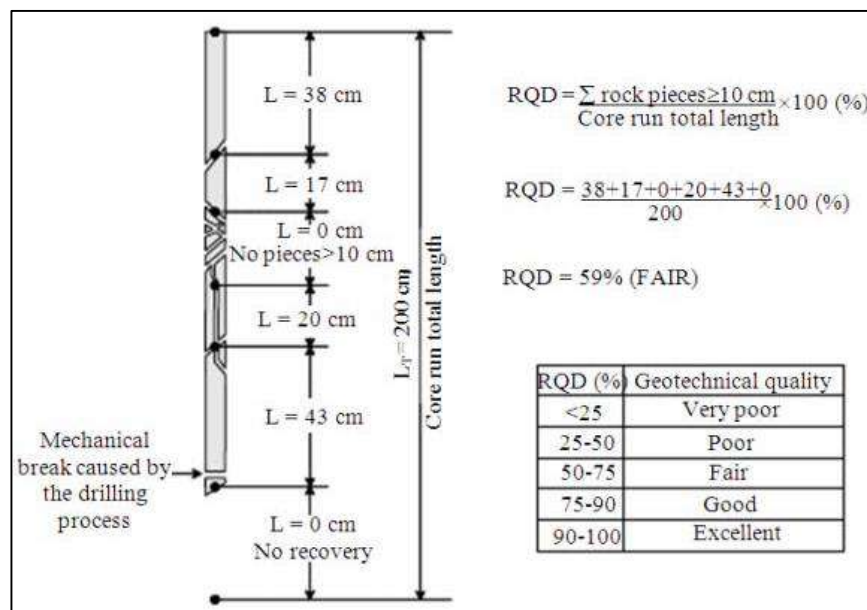
<i>Kelas</i>	<i>Deskripsi</i>
<b>A</b>	<b>Batuan sangat segar.</b> Massa batuan sangat segar, tanpa pelapukan atau tidak nampak adanya perubahan pada mineral-mineralnya. Rekahan dan kekar-kekar yang tertutup rapat dan bidangnya tidak mengalami pelapukan. <i>Bunyi hantaman palu geologi terdengar jelas.</i>
<b>B</b>	<b>Batuan padat.</b> Massa batuan sangat solid, rekahan dan kekar-kekar tertutup rapat (walaupun hanya 1 mm). Namun sebagian telah mengalami pelapukan ringan, juga perubahan pada mineral-mineralnya. <i>Bunyi hantaman palu geologi terdengar jelas.</i>
<b>CH</b>	<b>Batuan cukup padat.</b> Relatif keras walaupun mineral-mineral dan partikelnya mengalami pelapukan, kecuali mineral kuarsa. Pada umumnya secara kimiawi mengandung limonit, dan lain-lain. Kuat Tarik pada bidang kekar dan retakan sedikit berkurang. Pecahan-pecahan batu dijumpai pada bidang kekar sewaktu dipukul dan mineral lempung kadang-kadang nampak pada permukaannya. <i>Bunyi hantaman palu geologi sedikit kurang jelas.</i>
<b>CM</b>	<b>Batuan agak lunak.</b> Baik batuan, mineral-mineral dan partikel-partikelnya, kecuali mineral kuarsa sedikit melunak akibat pelapukan. Kuat tarik pada bidang-bidang kekar sedikit berkurang. Dengan pukulan biasa sewaktu menimbulkan pecahan-pecahan batu pada bidang-bidang kekar, material lempung Nampak pada bidang-bidang kekar. <i>Bunyi hantaman palu geologi agak kurang jelas</i>
<b>CL</b>	<b>Batuan lunak.</b> Batuan, mineral-mineral dan partikel-partikelnya melunak. Kuat tarik pada bidang-bidang kekar berkurang. Pecahan-pecahan batu timbul pada bidang-bidang kekar walaupun hanya sedikit pukulan ringan, juga mineral lempung dijumpai pada bidang-bidang kekar. <i>Bunyi hantaman palu geologi kurang jelas</i>
<b>D</b>	<b>Batuan sangat lunak.</b> Batuan, mineral-mineral dan partikel-partikelnya lunak akibat pelapukan. Tidak ada kuat tarik diantara bidang-bidang kekar. Batuan mudah pecah bila dipukul dengan palu sedikit saja serta dijumpai mineral lempung pada bidang-bidang kekar. <i>Bunyi hantaman palu geologi tidak jelas</i>

### 2.3.2 Rock Quality Designation (RQD)

Dalam mempelajari aspek kekuatan batuan, dikenal istilah *Rock Quality Designation* (RQD) yaitu suatu penandaan atau penilaian kualitas batuan berdasarkan kerapatan kekar. Perhitungan RQD ini biasa didapatkan dari perhitungan langsung dari singkapan batuan yang mengalami retakan-retakan (baik lapisan batuan maupun kekar atau sesar) ataupun perolehan inti pemboran berdasarkan rumus Hudson (1979, dalam Djakamihardja & Soebowo, 1996), sebagai berikut:

$$RQD = 100e^{-0.1\lambda}(0,1\lambda + 1)$$

( $\lambda$ ) adalah rasio antara jumlah kekar dengan panjang *scan-line*. Makin besar nilai RQD, maka frekuensi retakan semakin kecil. Jika frekuensi retakan makin banyak, maka nilai RQD makin kecil.



**Gambar 2.2** Prosedur pengukuran dan perhitungan RQD (Deere dan Deere, 1988)

Hubungan antara nilai *Rock Quality Designation* (RQD) dan kualitas dari massa batuan tertera pada tabel berikut.

**Tabel 2.2** Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan nilai RQD (Deere dan Deere, 1988)

RQD	Kualitas Batuan
0-20%	Sangat buruk
21-40%	Buruk
41-60%	Sedang
61-80%	Baik
81-100%	Sangat Baik

### 2.3.3 Pengujian Permeabilitas Batuan

#### 2.3.3.1 Permeabilitas Batuan

Permeabilitas merupakan parameter yang menyatakan kemudahan air atau fluida lainnya untuk mengalir melalui pori-pori yang menghubungkan satu sama lain yang membentuk jejaring saluran kapiler tak beraturan yang rumit dalam suatu medium (dalam hal ini tanah atau batuan). Permeabilitas atau sering juga disebut dengan konduktivitas hidraulik dinyatakan dalam satuan panjang per waktu. Percobaan yang dilakukan oleh Darcy pada tahun 1856 menggambarkan aliran tanah serta pengertian tentang permeabilitas, yang dikenal sebagai hukum Darcy:

$$Q = kA \frac{\Delta h}{\Delta L}$$

Keterangan rumus diatas adalah dengan Q yaitu jumlah air yang mengalir melalui suatu satuan luas A dengan gradient hidrolis sebesar dh/dl. Faktor proporsionalitas K disebut konduktivitas hidrolis yang memiliki satuan (L/T).

Kondisi bidang diskontinuitas pada massa batuan yang terkekarkan seperti lebar bukaan yang terlalu besar akan menyebabkan aliran air tanah menjadi turbulen di dalam massa batuan sehingga hukum Darcy tidak lagi dapat diterapkan.

Perbedaan distribusi nilai dan arah permeabilitas di dalam massa batuan akan mempengaruhi anisotropi dan heterogenitas suatu formasi massa batuan. Permeabilitas mempunyai arah, mana ke arah x dan y biasanya mempunyai permeabilitas lebih besar dari pada ke arah z. Sistem ini disebut anisotropi. Apabila permeabilitas tersebut seragam ke arah horizontal maupun vertikal disebut sistem isotropik. Pada batuan yang terkekarkan anisotropi massa batuan dikontrol oleh perbedaan orientasi bidang diskontinuitas, sedangkan heterogenitas dipengaruhi oleh keragaman *density* dan lebar bukaan kekar.

Batuan beku merupakan batuan yang secara alami memiliki permeabilitas awal yang kecil dan juga porositas yang rendah. Kristal-kristal yang terbentuk di dalam batuan mengakibatkan sedikit sekali terbentuk bukaan sebagai medium perpindahan fluida. Pengecualian dapat terjadi pada batuan vulkanik, yang dapat memiliki permeabilitas awal yang tinggi. Jika bukaan-bukaan yang terdapat dalam batuan tersebut besar dan berhubungan dengan baik, maka permeabilitasnya juga semakin besar.

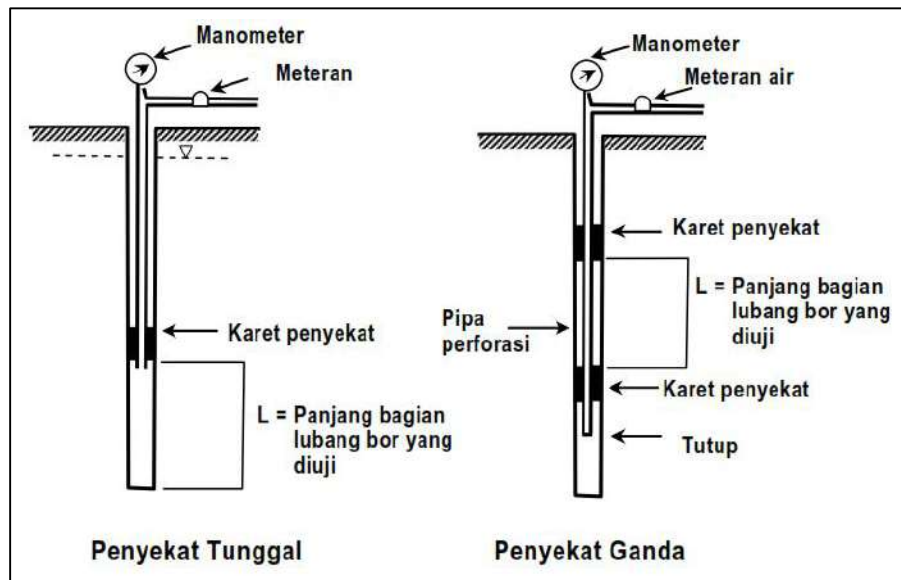
Permeabilitas sekunder dapat terbentuk pada batuan yang memiliki struktur kekar, dimana semakin banyak kekar yang terbentuk akan semakin tinggi permeabilitasnya. Hal lain yang dapat memperbesar nilai permeabilitas adalah pelapukan, yang mana meningkatnya penguraian atau disintegrasi pada batuan akan mengakibatkan bertambahnya ruang pori.

Permeabilitas in-situ dari diskontinuitas batuan merupakan hal penting dalam terowongan, teknik bendungan, dan tekanan reservoir air (Qureshi dkk., 2014). Delienasi dari permeabilitas insitu massa batuan dikenal secara luas melalui *Lugeon test* (Lugeon, 1933; Houlsby 1976). *Lugeon test* digunakan untuk menentukan rata-rata konduktivitas hidrolik dari suatu masa batuan yang berguna untuk menentukan diskontinuitas dari massa batuan (Quiñones-Rozo, 2010). Maka dari itu untuk mengkarakterisasi konduktivitas hidrolik dari diskontinuitas massa batuan, karakteristik rekahan harus ditentukan (Qureshi dkk., 2014). Tingkat anisotropik dalam permeabilitas untuk massa batuan yang terkekarkan tergantung dari distribusi diskontinuitas dan sangat besar jika dibandingkan dengan batuan intact, maka dari itu tes *lugeon* harus ditentukan secara benar.

### **2.3.3.2 *Lugeon Test***

Pengujian kelulusan air bertekanan atau sering disebut dengan *lugeon test* dilakukan dengan cara menginjeksikan air bertekanan ke dalam lubang bor untuk mendapatkan koefisien kelulusan air dan nilai *lugeon* dari batuan tersebut. *Lugeon test* menggunakan lapisan pembungkus (*packer*) untuk mengisolasi interval batuan dalam lubang bor yang akan diuji.

Uji ini dimulai setelah dijumpai muka air tanah. Pengujian dilakukan setelah lubang bor terlebih dibersihkan dari sisa-sisa tanah dan batuan hasil pengeboran dengan melakukan menyemprotkan air pengeboran (*flushing*) yang bertujuan untuk mendapatkan hasil uji yang dapat dipercaya. *Lugeon test* dapat dilaksanakan dengan menggunakan satu atau dua lapisan pembungkus (*packer*). Berikut ditunjukkan sketsa jenis alat uji *lugeon*.



**Gambar 2.3** Jenis-jenis alat *packer test*

Rumus yang digunakan dalam perhitungan koefisien kelulusan air ( $k$ ) tergantung pada panjang bagian tanah atau batuan yang diuji ( $L$ ), sebagai berikut

- a) Untuk  $L \geq 10r$  ( $r$  = jari-jari lubang bor), digunakan persamaan:

$$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot h} \ln\left(\frac{L}{r}\right)$$

- b) Untuk  $10r > L = r$ , digunakan persamaan:

$$k = \frac{Q}{2\pi L \cdot h} \sinh^{-1}\left(\frac{L}{2r}\right)$$

Keterangan:

$k$  = koefisien permeabilitas (cm/detik)

$Q$  = debit air yang masuk (cm<sup>3</sup>/detik)

$L$  = panjang seksi yang diuji (cm)

$h$  =  $h_p + h_s$  (cm)

$r$  = jari-jari lubang bor (cm)

( $h_p$  adalah tinggi air yang diperoleh dari konversi pembacaan manometer dan  $h_s$  adalah tinggi tekanan air)

Setelah uji *lugeon*, dilakukan perhitungan nilai *lugeon*. Nilai *lugeon* didefinisikan sebagai tingkat kecepatan aliran air dalam satuan liter per menit pada kondisi air bertekanan 1 Mpa per satuan meter panjang material yang diuji.

$$1 \text{ Lu} = 1 \text{ Liter / menit / meter pada tekanan 1 Mpa}$$

*Lugeon test* ini sebagian besar digunakan untuk masalah *rock grouting* dalam pekerjaan geoteknik. Nilai *lugeon* adalah angka yang menunjukkan kemampuan tanah atau batuan mengalirkan air dan dinyatakan dalam satuan *lugeon*, dimana satu *Lugeon* artinya banyaknya air dalam liter per menit yang masuk kedalam tanah melalui lubang bor (BSN, 2008). Perhitungan nilai *lugeon* menggunakan rumus:

$$Lu = \frac{10 \times Q}{p \times L}$$

Keterangan:

Lu = Nilai *Lugeon*

Q = Debit air yang masuk (liter/menit)

p = Tekanan uji (kg/cm<sup>2</sup>)

L = Panjang bagian yang diuji (m)

Penentuan nilai *lugeon* dilakukan dengan menafsirkan pola grafik aliran p-Q/L (BSN, 2008), dimana dapat dilakukan dengan menggunakan tabel di bawah ini.



Tabel 2.3 Penentuan jenis aliran dan nilai *lugeon*

No	Urutan Pengaliran	Skala Tekanan	Skala Nilai Lugeon	Penentuan Jenis Aliran	Pemilihan Nilai Lugeon
1	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon yang hampir sama (Aliran Laminer)	Nilai rata-rata
2	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon terkecil terjadi pada tekanan tertinggi (Aliran Turbulen)	Nilai Lugeon terkecil pada tekanan tertinggi
3	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon yang tertinggi terjadi pada tekanan tertinggi (Aliran Dilasi)	Nilai Lugeon dari nilai Lugeon yang terkecil dari tekanan yang terendah
4	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon meningkat sesuai dengan pengaliran (Aliran Pengikisan)	Nilai Lugeon yang tertinggi
5	Aliran I Aliran II Aliran III Aliran IV Aliran V			Nilai Lugeon menurun sesuai dengan tahapan pengaliran (Aliran Penyumbatan)	Nilai Lugeon yang terkecil. Biasanya terjadi pada akhir pengaliran/aliran

Untuk pekerjaan *grouting* pada batuan, penggunaan metode *Lugeon* telah distandarkan secara internasional dibanding metode permeabilitas dengan nilai velositas (Ditjen SDA, 2005).

Nilai 1 (satu) *Lugeon* unit (Lu) didefinisikan sebagai debit air (*water take*) 1 liter per meter panjang uji per menit pada tekanan 10 bar (1000 kPa atau 150 Psi) dan sangat mendekati  $K=1,2 \times 10^{-5}$  cm/detik atau 10 kaki/tahun (Ditjen SDA, 2005). Lebih mudahnya pengertian nilai *lugeon* dapat diuraikan sebagai berikut:

**Tabel 2.4** Hubungan nilai *lugeon* dan keperluan *grouting* (Ditjen SDA, 2005)

Nilai Lugeon	Deskripsi
1	Derajat permeabilitas pada pondasi yang ketat (tight) dan hampir tidak perlu di grout.
3	Pondasi perlu sedikit digrouting, apabila ditempati bendungan beton atau air waduknya sangat berharga, cenderung piping sehingga perlu penghentian rembesan.
5	Perlu dijamin dengan grouting yang ekstensif untuk bendungan beton atau grouting regional untuk bendungan urugan tanah atau batu.
10	Perlu dijamin dengan grouting untuk semua tipe bendungan.
20	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar relatif kecil.
100	Tapak yang sangat berkekar-kekar dengan bukaan kekar yang relatif kasar. Dapat pula pada pondasi dengan kekar jarang, namun bukaannya sangat lebar.

### 2.3.4 Kuat Tekan Batuan

Kekuatan batuan utuh adalah kekuatan suatu batuan untuk bertahan menahan suatu gaya hingga pecah. Kekuatan batuan dapat dibentuk oleh suatu ikatan adhesi antarbutir mineral atau tingkat sementasi pada batuan tersebut, serta kekerasan mineral yang membentuknya. Hal ini akan sangat berhubungan dengan genesa, komposisi, tekstur, dan struktur batuan.

Kuat tekan batuan utuh dapat diperoleh dari uji kuat tekan uniaksial (*Uniaxial Compressive Strength*, UCS) dan Uji *Point Load* (*Point Load Test*, PLI). UCS menggunakan mesin tekan untuk menekan sampel batuan dari satu arah

(uniaxial). Sampel batuan yang diuji dalam bentuk silinder (tabung) dengan perbandingan antara tinggi dan diameter (l/D) tertentu. Perbandingan ini sangat berpengaruh pada nilai UCS yang dihasilkan. Semakin besar perbandingan panjang terhadap diameter, kuat tekan akan semakin kecil.

**Tabel 2.5** Kekuatan material batuan utuh (Bienawski, 1989)

Deskripsi Kualitatif	UCS (MPa)	PLI (MPa)	Bobot
Sangat kuat sekali ( <i>exceptionally strong</i> )	>250	>10	15
Sangat kuat ( <i>very strong</i> )	100-250	4-10	12
Kuat ( <i>strong</i> )	50-100	2-4	7
Sedang ( <i>average</i> )	25-50	1-2	4
Lemah ( <i>weak</i> )	5-25	Penggunaan UCS lebih dilanjutkan	2
Sangat lemah ( <i>very weak</i> )	1-5		1
Sangat lemah sekali ( <i>extremely weak</i> )	<1		0

## 2.4 Geologi Daerah Penelitian

### 2.4.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan Geologi pada lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai Sulawesi, bentuk morfologi yang menonjol di pada daerah penelitian adalah kerucut gunungapi Lompobatang yang menjulang mencapai ketinggian 2876 m di atas muka laut. Kerucut gunungapi dari kejauhan masih memperlihatkan bentuk aslinya. dan menempati lebih kurang 1/3 daerah lembar. Pada potret udara terlihat dengan jelas adanya beberapa kerucut parasit, yang kelihatannya lebih muda dan kerucut induknya bersebaran di sepanjang jalur utara-selatan melewati puncak G. Lompobatang. Kerucut gunungapi Lompobatang ini tersusun oleh batuan gunungapi berumur Plistosen (Sukanto, 1982).

Terdapat dua buah bentuk kerucut tererosi yang lebih sempit sebarannya pada bagian barat dan utara dari Gunung Lompobatang. Di sebelah barat terdapat G. Baturape, mencapai ketinggian 1124 m dan di sebelah utara terdapat G. Cindako, mencapai ketinggian 1500 m. Kedua bentuk kerucut tererosi ini disusun oleh bawan gunungapi berumur Pliosen (Sukamto, 1982).

#### **2.4.2 Stratigrafi Daerah Penelitian**

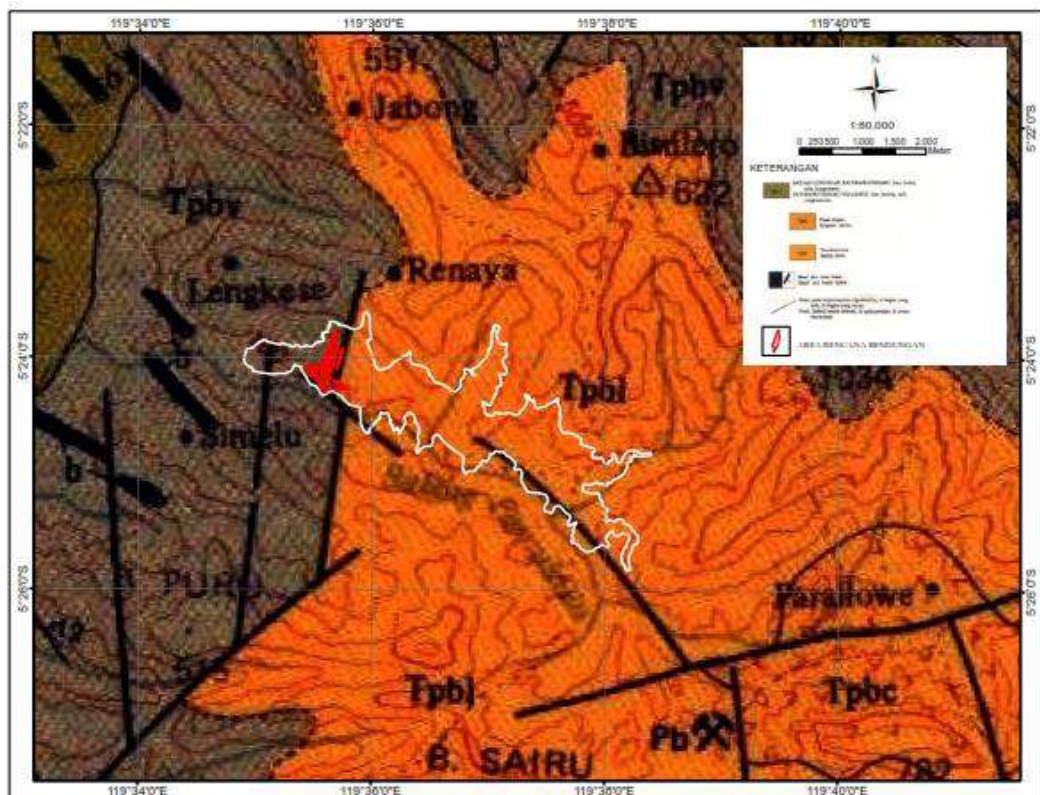
Stratigrafi daerah penelitian tersusun atas batuan Batuan Gunungapi Baturape- Cindako yang terdiri dari lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat. (Sukamto, 1982).

Bersusunan basal, sebagian besar porfiri dengan fenokris piroksen besar-besar sampai 1 cm dan sebagian kecil tansatmata, kelabu tua kehijauan hingga hitam warnanya; lava sebagian berkekar maniang dan sebagian berkekar lapis, pada umumnya breksi berkomponen kasar, dari 15 cm sampai 60 cm, terutama basal dan sedikit andesit, dengan semen tufa berbutir kasar sampai lapili, banyak mengandung pecahan piroksen. (Sukamto, 1982).

Kompleks terobosan diorit berupa stok dan retas di Baturape dan Cindako diperkirakan merupakan bekas pusat erupsi (Tpbc); batuan di sekitarnya terubah kuat, amigdaloidal dengan mineral sekunder zeolit dan kalsit: mineral galena di Baturape kemungkinan berhubungan dengan terobosan diorit ini; daerah sekitar Baturape dan Cindako batuanya didominasi oleh lava Tpbl. Satuan ini tidak kurang dari 1250 m tebalnya dan berdasarkan posisi stratigrafinya kira-kira berumur Pliosen Akhir. (Sukamto, 1982).

### 2.4.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Struktur geologi yang terdapat dalam peta geologi regional adalah sesar geser dan sesar turun. Sesar turun tersebut terdapat pada bagian timur peta dan mensesarkan Batuan Gunungapi Baturape-Cindako. Kedudukan sesar berarah utara-selatan. Sesar geser adalah struktur geologi yang banyak mempengaruhi lokasi penelitian. Sesar-sesar tersebut mensesarkan Batuan gunungapi Camba dan Batuan Gunungapi Baturape-Cindako. Sesar-sesar tersebut umumnya mempunyai kedudukan yang bervariasi, ada yang berarah timur-barat dan kebanyakan berarah Baratlaut-Tenggara



**Gambar 2.4** Peta geologi regional area bendungan (Sukanto, 1982)

## 2.5 Karakteristik Geoteknik Batuan Vulkanik

Batuan vulkanik memiliki karakteristik geoteknik yang kurang baik, yang disebabkan oleh perbedaan pelapukan, pengaruh air tanah berdasarkan permeabilitas batuan, dan kekar sistematis yang dihasilkan oleh pendinginan dan kontraksi lava (Kim dkk, 2015).

Di gunungapi, pori yang terdiri dari vesikel dan rekahan membentuk tekstur permeabel dan mengontrol pelepasan gas (Ashwell et al., 2015). Batuan vulkanik berasal dari erupsi gunungapi atau aliran magma. Komposisinya dapat sangat berbeda tergantung dari komposisi kimia dari magma (mafik, felsik) dan alterasi hidrotermal. Biasanya, perubahan struktur mineral terjadi akibat peningkatan pelapukan membuat batuan berubah menjadi soil. Dalam beberapa kasus, profil pelapukan sempurna ditemui pada batuan vulkanik. Sifat-sifat batuan vulkanik dan perilaku jangka panjangnya pada lereng sangat dikendalikan oleh derajat pelapukan (proporsi massa tanah dan batuan) dan mineralogi komponen lempung pada saat pelapukan sempurna. Porositas juga mengontrol respon mekanik batuan vulkanik dimana kekuatannya dapat menurun dan elastisitas meningkat (Heap et al., 2014).

## 2.6 Perlakuan Terhadap Kondisi Batuan Fondasi Bendungan

Semua kerusakan batuan (*rock defect*) pada permukaan fondasi bendungan timbunan tipe *Concrete Face Rockfill Dam* harus diperbaiki (*foundation treatment*). Pondasi suatu bendungan berfungsi sebagai pendukung semua beban yang diteruskan oleh bendungan yang bersangkutan. Sesudah penimbunan dilaksanakan, maka perubahan-perubahan yang terjadi pada lapisan pondasi sudah tidak mungkin

dilihat secara visual. Mengingat hal tersebut, maka sebelum penimbunan dilaksanakan, supaya perbaikan yang diperlukan dilaksanakan secara cermat dan hati-hati, agar perbaikan pondasi tersebut dapat mencapai kualitas yang diharapkan.

### **2.6.1 Perlakuan Terhadap Kelas Batuan**

Pondasi bendungan adalah tempat tumpuan dari tubuh bendungan berupa batuan yang mampu menahan bagian tubuh bendungan yang berada di atasnya. Fondasi batuan bendungan akan dibagi beberapa bagian sesuai kekuatannya dan kekuatan geser batuan yang sesuai dengan berat dan kelakuan setiap zona material timbunan tubuh bendungan yang ada. Dari hasil perhitungan desain bahwa fondasi bendungan harus pada kelas batuan yang mempunyai kekuatan dan ketahanan sesuai dengan berat dan fungsi dari macam zona material timbunan di atasnya.

Pada pekerjaan bendungan Pamukkulu Kabupaten Takalar, kriteria batuan pondasi bendungan yaitu:

- Untuk pondasi *plinth*, diletakkan pada batuan dengan kelas batuan minimal CM
- Untuk pondasi bendungan utama, diletakkan pada batuan dengan kelas batuan minimal CL

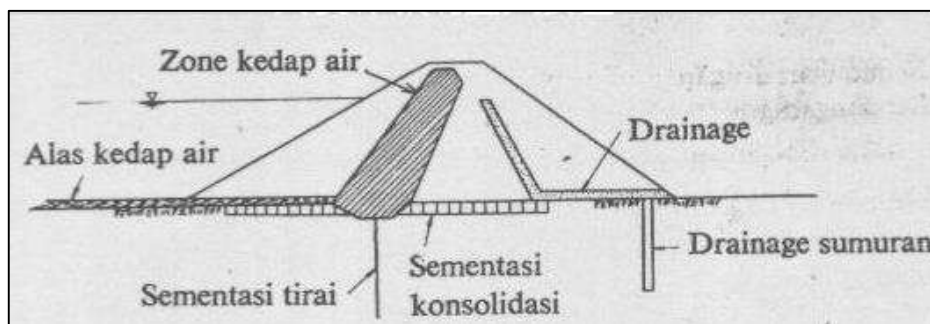
### **2.6.2 Perlakuan Terhadap Permeabilitas Batuan**

Batuan bawah permukaan pondasi bendungan yang memiliki nilai permeabilitas besar dianggap tidak layak untuk menjadi pondasi bendungan, maka perlakuan yang dapat diterapkan dalam kondisi tersebut antara lain:

### 1. Sementasi Tirai (*Curtain Grouting*)

Sementasi tirai salah satu dari jenis perbaikan pondasi yang dimaksudkan agar dalam lapisan pondasi terbentuk semacam tirai kedap air yang disebut tirai-sementasi untuk mengurangi debit filtrasi yang melalui pondasi Bendungan dengan cara memaksa aliran filtrasi mengalir melalui ujung bawah tirai tersebut. Tirai sementasi ini dibuat tepat dibawah alas zona kedap air suatu tubuh Bendungan.

Untuk menentukan kedalaman tirai sementasi pada pondasi yang terdapat banyak rekahan, maka diperlukan pertimbangan – pertimbangan untuk pelaksanaan sementasi antara 0 s/d 50% dari tinggi efektif muka air waduk (Gambar 2.5)



**Gambar 2.5** Sistem Pencegahan Kebocoran pada Bendungan Urugan

### 2. Sementasi Konsolidasi (*Consolidation Grouting*)

Sementasi konsolidasi merupakan sementasi yang dangkal tetapi merata di atas permukaan pondasi yang tujuannya adalah memperkuat lapisan teratas dari pondasi serta menutup dan merekatkan kembali rekahan-rekahan yang biasanya terdapat pada lapisan atas sehingga lapisan tersebut menjadi masif kembali. Sementasi ini juga bisa disebut sementasi alas (*blanket grouting*). Jarak lubang bor sementasi ini biasanya 1 m sedang kedalamannya umumnya antara 5 sampai dengan 10 m. Akan tetapi, penggunaan sementasi konsolidasi dan sementasi alas ini



terutama hanya pada bendungan-bendungan tinggi dengan zona kedap air yang relatif tipis.

### **2.6.3 Perlakuan Terhadap Nilai Kuat Tekan Batuan**

Batuan pondasi bendungan harus berupa batuan yang tidak mudah tererosi, Perlakuan khusus diperlukan untuk mencegah terjadinya penurunan tidak merata, kebocoran, erosi buluh, dan erosi. Perbaikan terhadap pondasi seperti ini dapat berupa perbaikan dental. Perbaikan dental harus mempertimbangkan nilai kuat tekan batuan penyusun pondasi dengan material beton yang mengisi batuan