

**SKRIPSI**

**ANALISIS EFEKTIFITAS *TRIAL GROUTING* PADA BATUAN DASAR  
BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN POLONGBANGKENG  
UTARA KABUPATEN TAKALAR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

**Disusun dan diajukan oleh**

**AHMAD SYAHPUTRA**

**D61116017**



**PROGRAM STUDI TEKNIK GEOLOGI  
DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2022**

**ANALISIS EFEKTIFITAS TRIAL GROUTING PADA BATUAN DASAR  
BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN POLONGBANGKENG  
UTARA KABUPATEN TAKALAR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

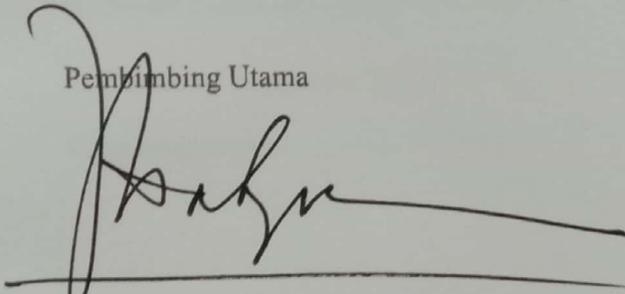
**Disusun dan diajukan oleh :**

**AHMAD SYAHPUTRA  
D61116017**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 13 September 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

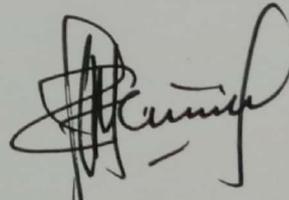
Menyetujui,

Pembimbing Utama



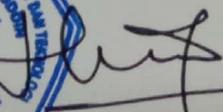
Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.  
NIP. 19591008 198703 1 001

Pembimbing Pendamping,



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

Ketua Departemen Teknik Geologi  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin



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

## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nams : Ahmad Syahputra  
NIM : D61116017  
Departemen : Teknik Geologi  
Jenjang : Strata 1 (S1)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis saya yang berjudul:

**ANALISIS EFEKTIFITAS *TRIAL GROUTING* PADA BATUAN DASAR  
BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN POLONGBANGKENG  
UTARA KABUPATEN TAKALAR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Adalah karya tulis asli saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain, bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

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

Makassar, 13 September 2022

Yang Menyatakan



Ahmad Syahputra

## ABSTRAK

Secara administratif Bendungan Pamukkulu terletak pada daerah Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat  $119^{\circ}35'13,736''$ BT  $5^{\circ}23'33,818''$ LS dan  $119^{\circ}36'3,02''$ BT  $5^{\circ}24'30,2''$ LS. Satuan Geomorfologi yang ada pada daerah penelitian yaitu satuan geomorfologi perbukitan denudasional. Litologi pada Bendungan Pamukkulu termasuk dalam Formasi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako (Tpbv) yang disusun oleh litologi lava dan breksi serta retas-retas basal. Satuan Geomorfologi yang ada pada daerah penelitian yaitu satuan geomorfologi perbukitan denudasional. Struktur geologi yang di jumpai berupa kekar-kekar non sistematis.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pemetaan permukaan dan pengeboran inti batuan. Berdasarkan penyelidikan geologi bawah permukaan, batuan bawah permukaan pada titik trial injeksi *grouting* memiliki nilai lugeon yang tinggi sehingga pada beberapa *stage* perlu dilakukan rekayasa geologi teknik berupa *grouting*. Berdasarkan nilai *Rock Quality Designation (RQD)*, kualitas batuan bawah permukaan berkisar antara kualitas batuan sangat jelek hingga sangat baik. Batuan utuh memiliki nilai *uniaxial compressive strength (UCS)* sebesar 79,05 MPa untuk batuan basalt dan sebesar 51,91 MPa untuk batuan breksi vulkanik.

Efektifitas injeksi trial *grouting* setelah dilakukan perhitungan menunjukkan hasil yang baik hingga sangat baik (66.66 – 99.90 %). Berdasarkan hasil perhitungan tersebut maka dapat direkomendasikan jarak antar lubang *grouting* pada pelaksanaan *grouting* berjarak 2 meter.

Kata Kunci : geologi bawah permukaan, lugeon, RQD, UCS, *grouting*

## **ABSTRACT**

*Administratively, the Pamukkulu dam is located in the Kale Ko'mara Village area, North Polombangkeng District, Takalar Regency, South Sulawesi Province. Astronomically, it is located at the coordinates of 119°35'13,736"E 5°23'33,818"S and 119°36'3,02"E 5°24'30.2"S. Geomorphological units that exist in the research area are denudational hills geomorphological units. The lithology of the Pamukkulu Dam is included in the Baturape-Cindako Volcanic Rock Formation (Tpbv) which is composed of lava and breccia lithology and basal fractures. Geomorphological units that exist in the research area are denudational hills geomorphological units. The geological structure found is in the form of non-systematic joints.*

*The research method used is the method of surface mapping and rock core drilling. Based on subsurface geological investigations, the subsurface rock at the grouting injection trial point has a high lugeon value so that at several stages it is necessary to carry out engineering geological engineering in the form of grouting. Based on the Rock Quality Designation (RQD) value, the quality of the subsurface rock ranges from very poor rock quality to very good rock quality. Intact rock has a uniaxial compressive strength (UCS) of 79.05 MPa for basalt and 51.91 MPa for volcanic breccia.*

*The effectiveness of the injection grouting trial after the calculations showed good to very good results (66.66– 99.90 %). Based on the results of these calculations, it can be recommended that the distance between grouting holes in grouting is between 2 meters.*

*Keywords: subsurface geology, lugeon, RQD, UCS, grouting*

## KATA PENGANTAR



Assalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis ucapkan atas kehadiran Allah SWT atas berkah dan rahmat-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan tugas akhir yang berjudul **“ANALISIS EFEKTIFITAS *TRIAL GROUTING* PADA BATUAN DASAR BENDUNGAN PAMUKKULU KECAMATAN POLONGBANGKENG UTARA KABUPATEN TAKALAR PROVINSI SULAWESI SELATAN”**

Pada kesempatan ini, penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada semua pihak yang telah membimbing, mengarahkan, dan membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian, diantaranya :

1. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T sebagai Dosen Pembimbing Utama dan Penasehat Akademik yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan.
2. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Pendamping yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan.
3. Bapak Dr.Eng. Hendra Pachri, S.T.,M.Eng Sebagai Kepala Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin sekaligus dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang baik.
4. Bapak Safruddim, S.T., M.Eng. sebagai dosen penguji yang telah memberikan kritik dan saran yang baik.

5. Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Geologi yang telah memberikan ilmunya selama saya menempuh pendidikan perkuliahan.
6. Bapak dan ibu staf Departemen Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah banyak membantu.
7. Bapak Muhamad Ichwanto, S.T. dan seluruh staf, karyawan PT. Wijaya Karya – PT. DAYA Mulia Turangga, KSO, yang telah memberikan bimbingan, arahan, dan bantuan selama melaksanakan pengambilan data.
8. Saudara dan saudari Jurassic, mahasiswa Teknik Geologi angkatan 2016 atas kebersamaannya saat proses pengambilan data hingga penyusunan laporan.
9. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis
10. Kepada kedua orangtua yang senantiasa mengiringi doa kepada penulis agar dapat menjadi orang yang membanggakan bagi keluarga.

Penulis menyadari bahwa laporan penelitian ini masih memiliki banyak kekurangan, oleh karenanya saran dan masukan sangat diharapkan oleh penulis demi perbaikan laporan ini. Akhir kata, semoga laporan hasil kegiatan penelitian ini dapat memberikan manfaat baik dalam penambahan wawasan dan dapat dijadikan referensi pembaca dalam kegiatan penelitian selanjutnya serta tentunya berkah dan bernilai ibadah di sisi Allah SWT.

Wassalamualaikum warahmatullahi wabarakatuh

Gowa, 13 September 2022

Penulis

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN SAMPUL</b> .....	<b>i</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b> .....	<b>.ii</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	<b>ii</b>
<b>ABSTRAK</b> .....	<b>iii</b>
<b>ABSTRACT</b> .....	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b> .....	<b>viii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	<b>xi</b>
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	<b>xiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b> .....	<b>1</b>
1. 1 Latar Belakang.....	1
1. 2 Rumusan Masalah .....	2
1. 3 Batasan Masalah.....	2
1. 4 Maksud dan Tujuan .....	2
1. 5 Manfaat Penelitian.....	3
1. 6 Alat dan Bahan .....	3
1. 7 Letak dan Kesampaian Daerah Penelitian.....	4
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b> .....	<b>6</b>
2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian .....	6
2.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian.....	6
2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian .....	6
2.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	7
2.2 Investigasi Geologi.....	9
2.2.1 Pengertian, Macam Bendungan dan Jenis Pondasi .....	9
2.2.2 Pertimbangan Geologi .....	13
2.3 Klasifikasi Massa Batuan .....	18
2.4 <i>Rock Quality Designation</i> .....	21
2.5 <i>Water pressure test</i> (Uji Air Bertekanan).....	22
2.5.1 Pengertian .....	22
2.5.2 Penentuan Nilai Lugeon .....	24

2.6	Permeabilitas (K).....	26
2.7	Pemboran Inti .....	27
2.8	<i>Grouting</i> .....	28
2.8.1	Pengertian.....	28
2.8.2	Jenis - jenis <i>Grouting</i> .....	28
2.8.3	Tujuan <i>Grouting</i> .....	32
2.8.4	<i>Trial Grouting</i> .....	33
2.8.5	Tahapan Pelaksanaan <i>Trial Grouting</i> .....	34
2.9	Jenis <i>Grouting</i> Pada Bendungan Pamukkulu .....	35
2.9.1	<i>Grouting</i> Tirai.....	35
2.9.2	<i>Grouting</i> Konsolidasi .....	35
2.10	Material <i>Grouting</i> .....	35
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Metode Penelitian.....	37
3.2	Tahapan Penelitian .....	37
3.2.1	Tahap Persiapan.....	37
3.2.2	Tahap Pengambilan Data.....	38
3.2.3	Tahap Pengolahan dan Analisis Data .....	45
3.2.4	Tahap Penyusunan Laporan .....	45
<b>BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....</b>		<b>47</b>
4.1	Geologi Daerah Penelitian.....	47
4.1.1	Geomorfologi Daerah Penelitian.....	47
4.1.2	Stratigrafi Daerah Penelitian .....	52
4.1.3	Struktur Geologi .....	54
4.2	Kondisi Batuan Bawah Permukaan .....	55
4.3	Analisa Hasil Inti Bor .....	59
4.4	Analisis Hasil <i>Water Pressure Test (WPT)</i> .....	66
4.5	Analisa Kekuatan Batuan Pada Pondasi Bendungan.....	67
4.5.1	Kuat Tekan Batuan .....	67
4.5.2	Kondisi Batuan .....	68
4.6	Pelaksanaan <i>Trial Grouting</i> .....	69

4.7	Analisis Efektifitas Injeksi <i>Grouting</i> .....	69
<b>BAB V PENUTUP.....</b>		<b>73</b>
5.1	Kesimpulan.....	73
5.2	Saran.....	73
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>		<b>74</b>
<b>LAMPIRAN</b>		

## DAFTAR GAMBAR

<b>Gambar</b>	<b>Halaman</b>
1. 1	Peta tunjuk lokasi daerah penelitian .....5
2. 1	Peta geologi regional daerah penelitian (Soekamto,1982) .....8
2. 2	Struktur bendungan tipe <i>Concrete Rock Fill Dam</i> (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu,2017) .....12
2. 3	Cara pengukuran dan penghitungan RQD (Deere and Deere, 1988) .....22
2. 4	Skema proses <i>water pressure test</i> (SNI 2411:2008) .....23
2. 5	Penentuan nilai lugeon dan jenis aliran (Houlsby 1986 dalam Friedrich and Ulrich, 2018).....26
2. 6	Ilustrasi skema pemboran batuan (USACE, 2017).....28
2. 7	Skema proses <i>grouting</i> berlangsung (USACE, 2017).....32
3. 1	Singkapan litologi breksi vulkanik pada STA 0+720.....38
3. 2	Aktivitas pemboran batuan pada STA 0+220.....39
3. 3	Deskripsi litologi dan penghitungan RQD .....41
3. 4	Proses <i>water pressure test</i> pada titik P1 STA 0+20 .....42
3. 5	Skema titik pengeboran dan <i>water pressure test</i> P1 (spesifikasi teknis Bendungan Pamukkulu, 2017) .....43
3. 6	Skema titik pengeboran dan <i>water pressure test</i> P2 (spesifikasi teknis Bendungan Pamukkulu, 2017) .....44
3. 7	Proses <i>grouting</i> pada titik P2 STA 0+220 .....44
3. 8	Diagram alir penelitian .....46
4. 1	Kenampakan bentang alam perbukitan menunjukkan relief ..... 47
4. 2	Kenampakan batuan yang mengalami pelapukan fisika yang menyebabkan batuan terpecah-pecah pada STA 0+260 ..... 48
4. 3	Kenampakan batuan dengan pengaruh pelapukan biologi pada..... 49
4. 4	Kenampakan pelapukan kimiawi spheroidal weathering ..... 49
4. 5	Kenampakan soil yang cukup tebal dan mengalami perubahan warna menjadi kecokelatan pada STA 0+600 ..... 50
4. 6	Kenampakan hulu sungai dengan <i>point bar</i> dan <i>channel bar</i> pada sungai Pappa ..... 51

<b>4.7</b>	Tipe genetik obsekuen pada litologi Basal dan Breksi Vulkanik sungai Pappa .....	51
<b>4.8</b>	Kenampakan singkapan breksi vulkanik pada STA 0+720 .....	52
<b>4.9</b>	Kenampakan singkapan litologi basal pada STA 0+340 .....	53
<b>4.10</b>	Kenampakan singkapan retas basal yang mengintrusi breksi vulkanik pada STA 0+20 .....	54
<b>4.11</b>	Singkapan breksi vulkanik dengan struktu kekar non-sistematis pada STA 0+740 .....	54
<b>4.12</b>	Peta lokasi titik pengeboran batuan dan <i>trial grouting</i> .....	59
<b>4.13</b>	Sampel CH-1 <i>Stage 3</i> yang terisi oleh semen dari aktifitas <i>grouting</i> .....	70

## DAFTAR TABEL

<b>Tabel</b>	<b>Halaman</b>
2. 1 <i>Rock Mass Classification</i> (CRIEPI, 1992) .....	18
2. 2 Klasifikasi Massa Batuan oleh <i>Central Research Institute of Electric Power Industry</i> (CRIEPI 1992), Japan .....	20
2. 3 Klasifikasi Kekuatan Batuan oleh Kikuchi, Saito dan Kusumoki (CRIEPI,1992).....	21
2. 4 Tabel kekuatan batuan menurut Kikuchi (1992 dalam CREPI) .....	21
2. 5 Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan nilai RQD (Deere dan Deere, 1988) .....	22
2. 6 Variasi tekanan pengujian <i>water pressure test</i> (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005). .....	24
4. 1 Hasil pengeboran batuan lubang P1-1 .....	55
4. 2 Hasil pengeboran batuan lubang P1-2 .....	55
4. 3 Hasil pengeboran batuan lubang P1-3 .....	56
4. 4 Hasil pengeboran batuan lubang CH-1 .....	56
4. 5 Hasil pengeboran batuan lubang P2-1 .....	57
4. 6 Hasil pengeboran batuan lubang P2-2 .....	57
4. 7 Hasil pengeboran batuan lubang P2-3 .....	58
4. 8 Hasil pengeboran batuan lubang CH-2.....	58
4. 9 <i>Rock Mass Classification</i> lubang P1-1 .....	61
4. 10 <i>Rock Mass Classification</i> lubang CH-1 .....	64
4. 11 <i>Rock Mass Classification</i> lubang P2-1 .....	65
4. 12 <i>Rock Mass Classification</i> lubang CH-2.....	66
4. 13 Nilai lugeon titik P1 dari hasil pengujian <i>water pressure test</i> .....	67
4. 14 Nilai lugeon titik P2 dari hasil pengujian <i>water pressure test</i> .....	67
4. 15 Hasil pengujian nilai kuat tekan batuan uniaksial .....	68
4. 16 Tabel perbandingan nilai lugeon dengan desain campuran .....	69
4. 17 Klasifikasi efektivitas <i>grouting</i> (Ditjend SDA, 2005).....	70
4. 18 Kategori efektifitas <i>trial injeksi grouting</i> titik P1 .....	71

<b>4.19</b> Kategori efektifitas <i>trial</i> injeksi <i>grouting</i> titik P2 .....	71
--	----

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Dalam rangka mengembangkan potensi sumber daya air, telah banyak bangunan bangunan pengairan yang berhasil diselesaikan dengan baik dan berfungsi sesuai dengan sasaran yang direncanakan yaitu pengendalian banjir, penyediaan air baku (penyediaan air irigasi, air industri), pembangkit tenaga listrik. Namun demikian masih diperlukan pengembangan lebih lanjut guna memanfaatkan potensi yang masih ada untuk meningkatkan kemakmuran masyarakat dengan tetap menjaga kelestarian lingkungan.

Oleh karena itu, pembangunan bendungan Pamukkulu ini penting dilaksanakan dalam rangka mewujudkan bendungan sebagai infrastruktur irigasi untuk mendukung ketahanan pangan. Di samping itu, pembangunan bendungan juga diprioritaskan untuk memenuhi kebutuhan masyarakat yaitu untuk penyediaan air baku untuk wilayah Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan.

Pembangunan bendungan diharapkan suatu upaya untuk mengembangkan, mengendalikan, memanfaatkan atau menggunakan dan melestarikan sumber air yang seoptimal mungkin, agar dapat mendukung keberadaan dan kebutuhan air penduduk secara terus menerus dan berkelanjutan. Selain sebagai wadah atau tampungan air di musim hujan yang sekaligus dapat mengurangi bencana banjir di bagian hilir, di musim kemarau air tersebut juga dapat dimanfaatkan untuk kesejahteraan bersama khususnya bagi pemenuhan kebutuhan air irigasi, air baku, pengendali banjir dan pariwisata, serta budi daya air tawar.

Sebelum melakukan pembangunan suatu bendungan banyak faktor yang harus diperhatikan seperti kondisi geologi dan tipe konstruksi bendungan. Salah satu hal sangat diperhatikan yaitu bagian pondasi bendungan sehingga perlu dilakukan investigasi geologi bawah permukaan. Maka dari itu dilakukanlah *trial* injeksi *grouting* untuk mengetahui hal tersebut untuk merencanakan dan mencegah terjadinya kerusakan pada bendungan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Untuk mengetahui kondisi geologi bawah permukaan pada pembangunan Bendungan Pamukkulu Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Maka dalam penelitian ini perlu diketahui rumusan masalah sebagai berikut:

1. Bagaimana kondisi nilai lugeon pada daerah penelitian?
2. Berapa jarak penentuan antara titik *grouting* pada saat pengerjaan di lapangan?
3. Berapa nilai efektifitas *grouting* pada Bendungan Pamukkulu?

## **1.3 Batasan Masalah**

Agar penelitian berjalan terarah maka penulis membatasi bahasan penelitian terhadap beberapa variabel yaitu pengambilan data bor batuan, data lugeon serta data kondisi geologi daerah pembangunan Bendungan Pamukkulu Kabupaten Takalar.

## **1.4 Maksud dan Tujuan**

Adapun maksud dari kegiatan penelitian ini yaitu untuk melakukan analisis efektifitas *trial grouting* pada batuan dasar Bendungan Pamukkulu Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan.

Adapun tujuan dari penelitian ini ialah:

1. Mengetahui nilai lugeon sebelum *grouting* dan sesudah *grouting* pada daerah penelitian.
2. Menentukan jarak antara lubang *grouting* pada pekerjaan di lapangan.
3. Mengetahui efektifitas pekerjaan *grouting* pada pembangunan Bendungan Pamukkulu.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini yaitu untuk merekomendasikan jarak antara lubang *grouting* dan tingkat efektifitas *grouting* pada saat pengerjaan *grouting* secara reguler di Bendungan Pamukkulu demi keamanan pada pondasi bendungan.

### **1.6 Alat dan Bahan**

Dalam melakukan pekerjaan dilapangan diperlukan alat dan bahan sebagai penunjang efektifitas dan efisensi pekerjaan. Berikut merupakan alat dan bahan yang digunakan:

#### **A . Peralatan *Drilling Grouting***

1. Mesin Jacro 175
2. Pompa Air (Sanchin 120)
3. Mata Bor (Asahi Diamond)
4. Stang bor / Pipa bor (NQ 75.7 mm)
5. *Inner Tube*

#### **B. Peralatan *Water pressure test***

1. *Pressure Gauge*
2. *Water Flow Meter*

3. Tangki Air
4. *Hose* atau *Polypipe*
5. *Mechanical Packer*

#### **C. Peralatan *Grouting***

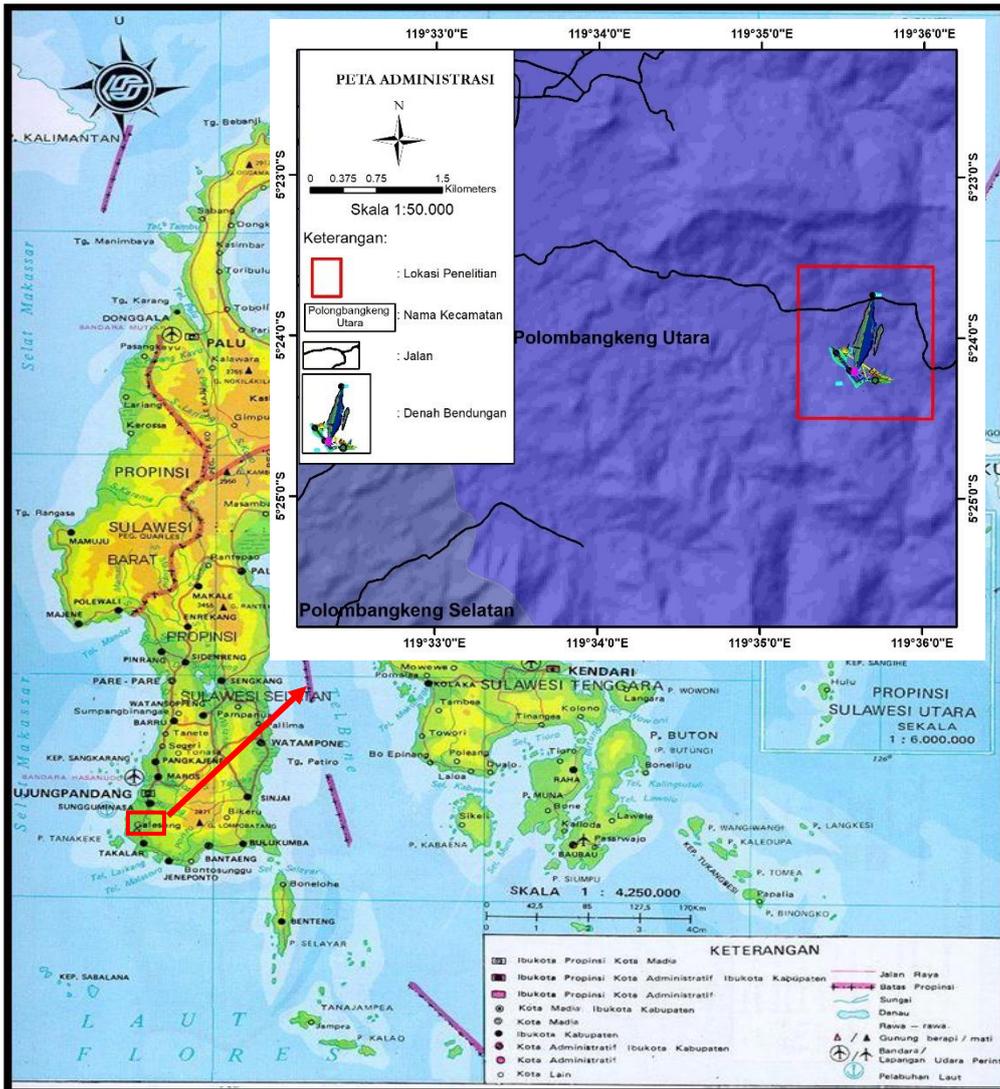
1. *Colloidal Mixer*
2. Agitator
3. *Mechanical Packer*
4. *Hose*
5. *Pressure Gauge*
6. Pompa Agitator (*Sanchin 120*)

#### **D. Bahan**

1. Air Bersih
2. Semen Tonasa (*Portland Pozzolan Cement (PCC)*)
3. Pasir Halus

### **1.7 Letak dan Kesampaian Daerah Penelitian**

Daerah penelitian termasuk dalam wilayah Desa Kale Komara Kecamatan Polongbangkeng Utara Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan. Jarak dari kota Makassar sekitar 50 kilometer kearah selatan, dengan waktu tempuh dengan kendaraan roda empat sekitar 1,5 jam perjalanan. Secara astronomis terletak pada koordinat 119°35'13,736"BT 5°23'33,818"LS dan 119°36'3,02"BT 5°24'30,2"LS.



Gambar 1. 1 Peta tunjuk lokasi daerah penelitian

## **BAB II TINJAUAN PUSTAKA**

### **2.1 Geologi Regional Daerah Penelitian**

#### **2.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian**

Berdasarkan Geologi pada lembar Ujung Pandang, Benteng, dan Sinjai Sulawesi, bentuk morfologi yang menonjol di pada daerah penelitian adalah kerucut gunungapi Lompobattang. 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 (Sukamto, 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).

#### **2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian**

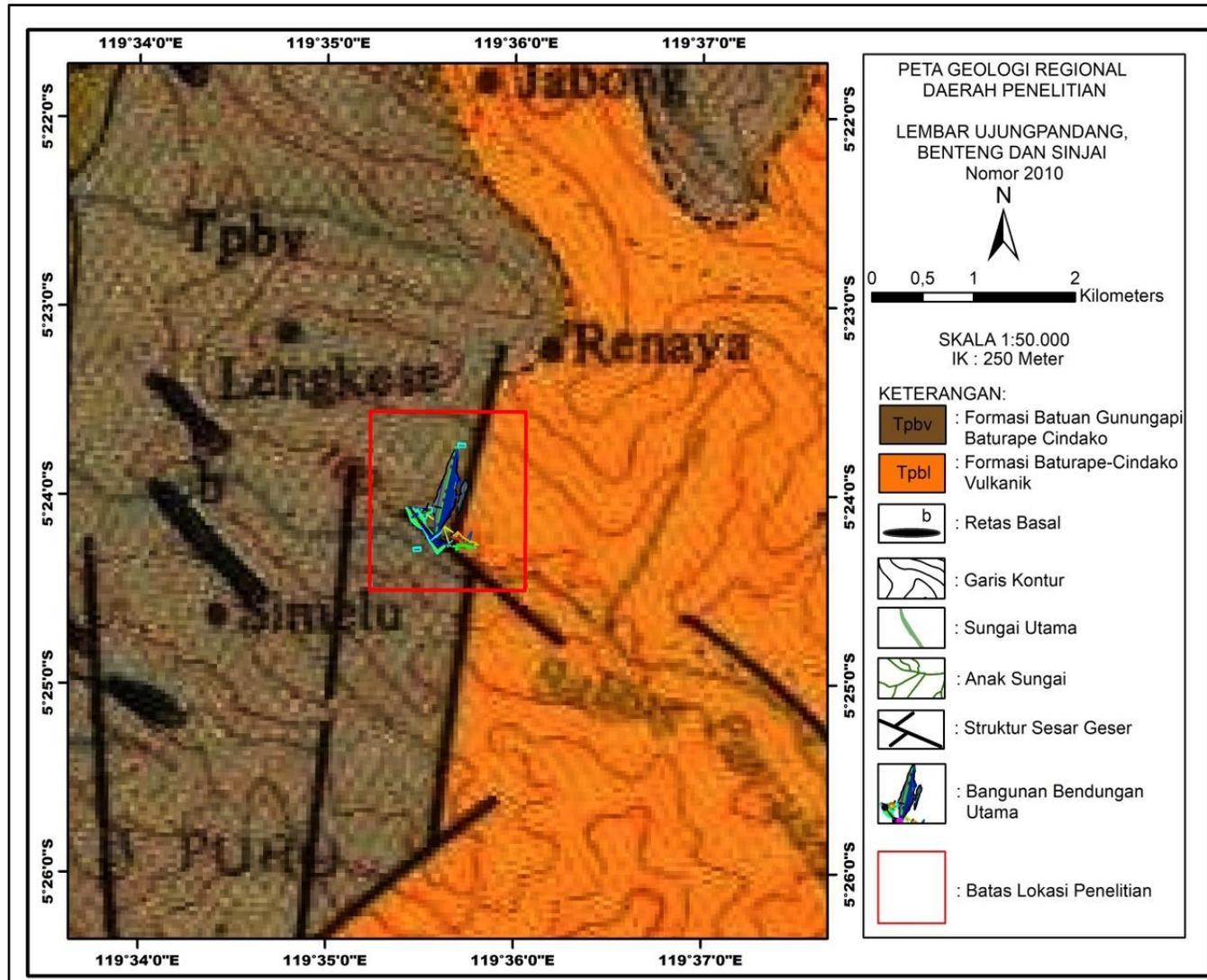
Stratigrafi daerah penelitian tersusun atas batuan Batuan Gunungapi Baturape- Cindako yang terdiri dari lava dan breksi, dengan sisipan sedikit tufa dan konglomerat. (Sukamto, 1982). Bersusunan basal, sebagian besar porfiri dengan fenokris piroksen besar-besar sampai 1 cm dan sebagian kecil tak kasat mata,

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 berubah 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).

### **2.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian**

Menurut Hamilton (1949) secara regional struktur yang terdapat di Pulau Sulawesi dan sekitarnya memperlihatkan keadaan yang kompleks. Hal ini disebabkan oleh pertemuan antara tiga lempengan litosfer yaitu Lempengan Australia yang bergerak ke Utara, Lempeng Pasifik yang bergerak ke arah Barat dan Lempeng Eurasia.



Gambar 2. 1 Peta geologi regional daerah penelitian (Soekanto,1982)

## **2.2 Investigasi Geologi**

### **2.2.1 Pengertian, Macam Bendungan dan Jenis Pondasi**

Bendungan adalah bangunan yang berupa urugan tanah, urugan batu, beton, dan atau pasangan batu yang dibangun selain untuk menahan dan menampung air, dapat pula dibangun untuk menahan dan menampung limbah tambang, atau menampung lumpur sehingga terbentuk waduk (PP No. 37 Tahun 2010).

Macam bendungan besar sebagai penampung air dengan ketinggian lebih dari 15 m secara umum dapat diklasifikasikan menjadi 3 macam, dimana tergantung dari faktor kegunaanya, pondasi, dan ketersediaan material, antara lain sebagai berikut (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005):

#### **a. Bendungan Urugan**

Bendungan urugan baik urugan batu atau urugan tanah dengan inti kedap, memberikan beban lebih rendah pada pondasi dibanding bendungan beton dapat dibangun di atas kisaran material pondasi yang lebih luas, yaitu pondasi batuan dan tanah dengan dilengkapi filter yang memadai.

#### **b. Bendungan Beton Gravitasi**

Bendungan beton gravitasi termasuk bendungan RCC (*Rolled Compacted Concrete*), memperoleh stabilitas dari berat struktur dan kuat geser dari pondasi. Karena bidang kontak dengan pondasi relative sempit sehingga perlu ditopang oleh batuan yang kuat dengan lapisan tipis, memiliki kuat geser dan kuat tekan yang besar.

#### **c. Bendungan Beton Lengkung**

Bendungan beton lengkung (*Arc*), baik lengkung tunggal atau banyak atau berpenyangga (*butress*) memerlukan pondasi batuan yang kuat dengan gaya dukung tinggi, resisten terhadap perkolsi dan erosi. Karena struktur ini sensitif terhadap deformasi pondasi. Bentuknya yang pipih lengkung menyebabkan sebagian besar gaya betumpu pada kedua bukit tumpuan sehingga baik kiri dan kanan serta pondasi harus kuat.

Berdasarkan karakteristik geologinya pondasi bendungan dapat dikelompokkan kedalam tiga macam yaitu (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

#### 1. Pondasi Batuan (*Rock Foundation*)

Pondasi batuan merupakan pondasi pada massa batuan (*rocks*) yang memiliki daya dukung yang baik, walaupun kadang-kadang terdapat pelapukan-pelapukan pada lapisan atasnya dan rekah-rekahan. Daya dukungnya umumnya baik tergantung kekerasan material penyusun, derajat pelapukan, tingkat kompaksi dan jenis sementasinya. Kekedapannya tergantung angka pori, permeabilitas dan jarak atau spasi retakannya. Sering dijumpai kerusakan batuan bawaan, berupa kekar, retakan, rekahan dan juga rongga-rongga terutama pada batu gamping.

Bidang-bidang diskontinuitas seperti lipatan, patahan atau sesaar dan ketidak selarasan sering merupakan zona lemah dalam stabilitas maupun kekedapan. Perbaikan pondasi yang umum diterapkan pada pondasi batuan adalah *grouting*, dimana dapat menjangkau kedalaman 10-100 m tanpa perlu penggalian tetapi cukup dari pemboran dari permukaan.

## 2. Pondasi Pasir dan Kerikil (*Sand and Gravel Foundation*)

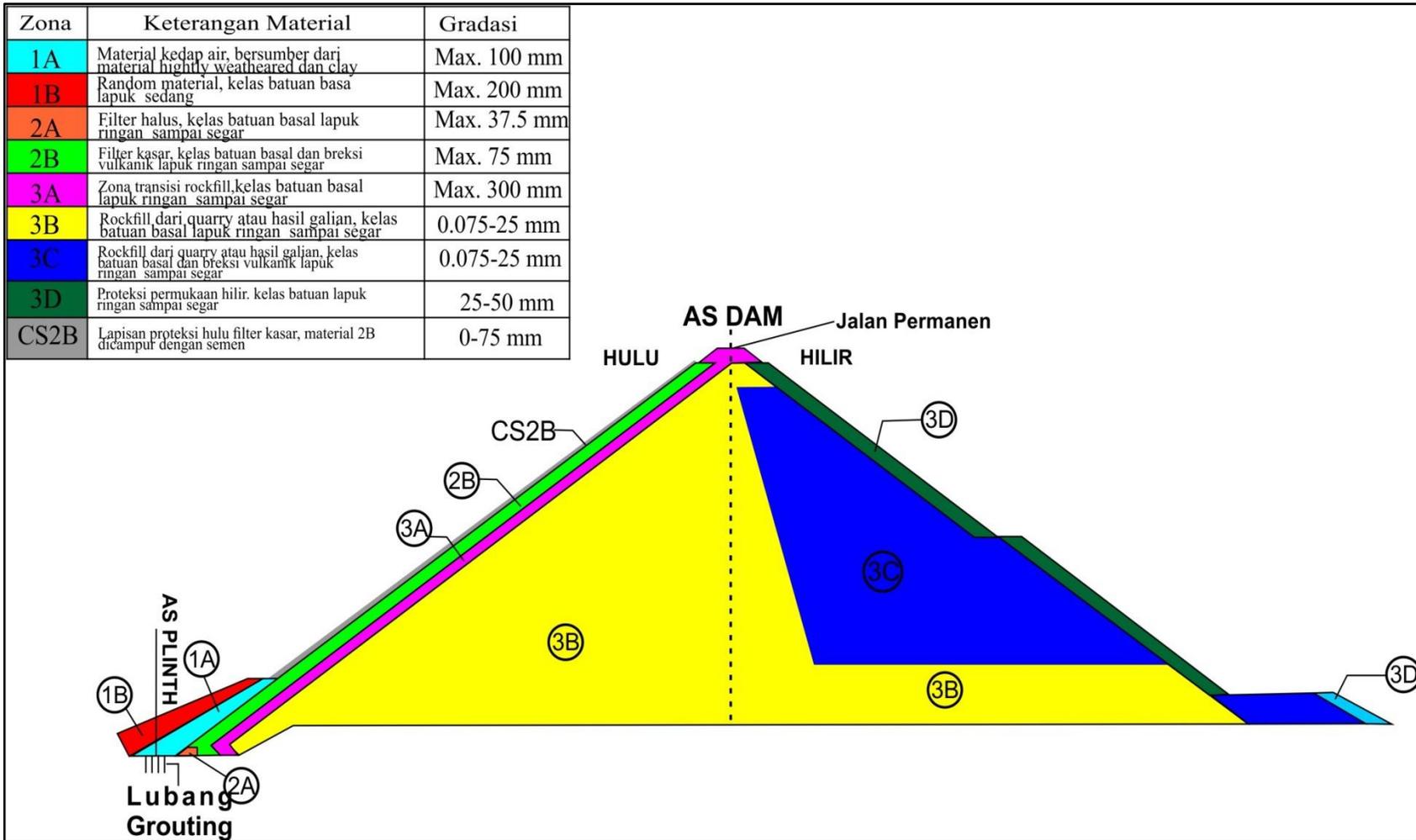
Terdiri dari massa pasir dan kerikil yang lepas (tidak terkonsolidasi) dan tidak tersemen. Daya dukung tergantung pada distribusi batuan penyusun (gradasi), kandungan partikel halus, kerapatan massa (densitas) dan stratifikasinya. Daya geser baik, bahkan lebih besar dari gaya geser dari urugan tubuh bendungan. Bersifat lulus air sehingga perlu pengendalian rembesan yang baik dan kalau tidak rawan bocor, erosi buluh (piping) sembulan pasir dan rawan likuifaksi pada daerah gempa. Perbaikan pondasi dengan metode *grouting* perlu hati-hati karena *grouting* semen tidak efektif dan cenderung memakai bahan kimia yang mahal. Metode pelaksanaan *grouting* khusus, diantaranya metode *multiple-grouting* yang lebih mahal.

## 3. Pondasi Tanah (*Soil Foundation*)

Pondasi tanah dicirikan oleh daya dukung yang lemah, namun cukup kedap. Berdasarkan umur geologinya terdapat tiga karakteristik, yaitu:

- a. Tanah Tua (*paleosoil*) seperti batu lempung berumur tersier kebawah, memiliki kepadatan, kedap dan daya dukung yang tinggi.
- b. Tanah Muda (aluvial) berumur kuartar, belum terkonsolidasi sempurna dan daya dukung rendah.
- c. Tanah Lunak, berumur kuartar, tidak terkonsolidasi baik dan massa lunak.

Perbaikan pondasi dengan *grouting* dapat diterapkan terutama pada tanah tua seperti batulempung yang berkekar dan banyak bidang diskontinuitasnya.



Gambar 2. 2 Struktur bendungan tipe *Concrete Rock Fill Dam* (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu, 2017)

### 2.2.2 Pertimbangan Geologi

Dalam hal perencanaan *grouting* pondasi bendungan terutama pondasi batuan, perencana harus memahami secara rinci informasi geologi lokal dari tapak bendungan. Berbagai informasi geologi diantaranya jenis batuan yang dihadapi. Mengenai jenis, keseragaman, penyebaran dan ketebalan serta struktur batumannya. Kemudian perlu diperhatikan yaitu sifat keteknikannya, baik dalam sifat utuh maupun sifat massa secara kualitatif maupun kuantitatif (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

Diperlukannya investigasi geologi dan pengujian lain terutama permeabilitas ditempat untuk menentukan zona yang di grout, campuran grout awal, tahapan pengentalan dan lain-lain. Penentuan pola lubang grout, teknik pemboran, mata bor yang diperlukan dan orientasi lubang grout (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

#### A. Pertimbangan Struktur Geologi

Struktur geologi minor atau mayor yang merupakan struktur primer maupun sekunder dalam bentuk planar atau non planar berpengaruh besar terhadap perilaku pondasi bendungan, terutama saat pengisian bendungan.

Beberapa struktur geologi yang perlu diperhatikan dalam perencanaan *grouting* diantaranya (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005):

##### 1. Kekar (*Joint*)

Kekar adalah patahan dengan perpindahan bukaan ruang dan sedikit atau tidak ada perpindahan di sepanjang dindingnya (Fossen 2010). Sedangkan menurut Mc.Clay (1979) kekar adalah pengaturan reguler dari patahan yang telah terjadi

sedikit atau tidak ada deformasi batuan. Kejar merupakan bentuk cacat dari massa batuan akibat aktivitas tektonik maupun pelapukan berupa pecahnya bagian permukaan batuan secara beraturan atau sistematis maupun tidak beraturan atau non sistematis (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

Perkembangan dari kejar dapat membentuk retakan, hancuran atau rekahan bahkan berkembang menjadi rongga. Bila kerapatan retakan menyebar seragam, semula diperkirakan harus dengan lubang *grouting* spasi ganda ternyata dari hasil pengujian air dapat direduksi menjadi satu. Spasi dari lubang *grouting* dapat dikontrol dari lapisan tipis dan kenampakan geologi lainnya. Material dari lapisan tipis atau bidang sesar berupa lempung, perlu dicungkil dan dicuci dengan semprotan dispersean kimia dan kemudian di *grouting* dengan mortar pasir-semen agar tidak terjadi longsoran oleh lubrikasi isian lempung.

## 2. Lipatan (*Fold*)

Lipatan adalah lekukan pada batuan berlapis yang mewakili batuan mudah renggang, biasanya akibat adanya kompresi (Fossen,2010). Sedangkan menurut Hansen (1971 dalam Ragan 2009) lipatan adalah distorsi volume material batuan yang memanifestasikan dirinya sebagai lekukan atau beberapa dalam elemen linier atau planar.

Lipatan merupakan perubahan (deformasi) massa batuan yang semula berlapis horizontal akibat gaya tektonik kompresif akan melengkung atau melipat sebagai bentuk cembungan (*anticlinal*) dan cekungan (*synclinal*) serta pemiringan lapisan (*homoklinal*). Posisi arah dan kemiringan lipatan terhadap poros bendungan mempengaruhi kecenderungan dari rembesan maupun kebocoran air waduk.

Penampang memanjang tubuh bendungan yang bertumpu pada lipatan yang miring ke hilir rawan terhadap kebocoran sehingga harus dibuat lapisan kedap air diantaranya harus di *grouting* tirai (*curtain grouting*).

### 3. Sesar (*Fault*)

Menurut Fossen (2010) sesar adalah setiap permukaan atau zona sempit dengan perpindahan geser yang terlihat sepanjang jalur pergeseran. Sesar atau patahan (*fault*) merupakan bentuk deformasi tektonik yang mematahkan massa batuan sehingga terjadi pergeseran (*displasmen*) dari perlapisan batuan. Pergerakan dari sesar dapat sesaat atau berlangsung menerus, sehingga dapat dikategorikan sebagai sesar aktif, sesar tidak aktif atau mengalami reaktifasi. Sesar dalam berbagai ragam wujudnya dan dimensinya merupakan zona lemah dan rawan bocor apabila dijumpai dalam pondasi konstruksi bendungan.

### 4. Ketidakselarasan (*Unconformity*)

Hubungan antar perlapisan batuan dapat menumpuk secara menerus atau selaras (*conformity*), tetapi dapat pula tidak selaras (*unconformity*) karena adanya tenggang waktu yang hilang (*hiatus*). Bidang ketidak selarasan yang umumnya dicirikan oleh bidang erosi berupa diskontinuitas perlapisan batuan, perlapisan sela (*interburden*) seperti konglomerat basalt dan tanah lapuk tua (*paleosoil*).

## B. Pertimbangan Diskontinuitas Batuan

Dalam perencanaan *grouting* untuk pondasi batuan, evaluasi sifat batuan sebagai individu titik grout, grout titik grout maupun zona grout harus dilakukan, diantaranya (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

### 1. Spasi dari kekar terbuka

Kekar dapat berspasi lebar. Biasanya spasi kekar yang lebar memudahkan pelaksanaan *grouting*, sedang yang rapat menyebabkan banyak bocor dipermukaan. Dan kesukaran lain perlu pengatsan dengan teknik-teknik yang memadai, diantaranya perlu lebih banyak lubang *grouting* disbanding untuk spasi lebih lebar.

## 2. Ukuran Kekar Terbuka

Kekar terbuka lebih lebar 2 mm mudah ditembus material *grouting*, namun bila sangat lebar misalnya 6 mm material *grouting* mudah menembus, perlu pencegahan agar aliran *grouting* tidak segera membalik (*refusal*) dengan mengatur interval *grouting*. Campuran langsung kental diperlukan dan lebih kasar seperti pasir-semen akan membantu.

## 3. Arah Kekar Terbuka

Arah dari kekar terbuka akan mempengaruhi orientasi lubang grout dan menyebabkan kemungkinan pergerakan batuan selama *grouting*. Kekar dengan kemiringan  $30^0$  hingga  $60^0$  mudah dipotong oleh lubang vertikal dan tidak mungkin bergerak disbanding yang hampir horizontal atau mendeteksi vertikal. Perlu lubang *grouting* miring untuk kemiringan kekar tersebut disamping pemboran lebih sulit. Tambahan arah kekar terbuka juga mempengaruhi teknik *grouting* termasuk pengaturan tekanan *grouting*.

## 4. Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan membantu dalam *grouting* bila permukaannya massif sehingga pipa grout dapat mudah didirikan, sedangkan batuan yang lemah akan mudah bergerak. Perilaku ini akan memperlambat *grouting* dan perlu peletakan

lubang *grouting* lebih intensif dan bila perlu dilengkapi penjangkaran (*anchoring*) agar tidak bergerak.

#### 5. Kekerasan Batuan

Kekerasan batuan menentukan metode *grouting* yang dipakai. Bila batuan cukup keras, lubang tidak runtuh dan *grouting* lancar. Namun bila lubang runtuh selama atau setelah pemboran perlu metode *up-stage* ternyata tidak cocok dan perlu diganti dengan metode *down-stage* tanpa packer atau circuit *grouting*.

#### 6. Gaya Dalam Batuan

Gaya tektonik dalam batuan keras sering berakibat jelek pada batuan kuat. Adanya pelepasan gaya tersebut dapat dideteksi secara visual pada muka tebing terjal atau singkapan dengan memperhatikan karakteristik pelepasan vertikal dan kekar menggebug di lembah.

Pergerakan retakan dapat berkembang dengan kehancuran tiba-tiba pada muka batuan yang massif. Energi yang terlepas sering mengelupas muka dari massa batuan dan meninggalkan kekar-kekar yang terbuka hingga beberapa centimeter.

#### 7. Keseragaman

Keseragaman (*Uniformity*) dalam pondasi membantu dalam menata letak lubang *grouting*, dimana dapat diatur rata spasinya dan di bor pada inklinasi yang sama. Kekar yang tak beraturan, tipe batuan yang beragam, intrusi, sesar dan lain-lain memerlukan variasi inklinasi lubang grout dan kenampakan lemah memerlukan grout yang spesial intensif.

#### 8. Kecenderungan Erosi Buluh (*piping*)

Bila material dalam kekar diyakini akan hilang oleh rembesan, *grouting* perlu lebih intensif dari pada yang lain untuk membebaskan dari daerah yang cenderung piping tersebut. Bila material isian pada kekar yang lebar adalah lempungan alami, pencucian dengan dispersan kimiawi dengan bertekanan diperlukan (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

### 2.3 Klasifikasi Massa Batuan

Klasifikasi tipe batuan untuk teknis geologi adalah berdasarkan klasifikasi CRIEPI 1992 dan Kikuci, Saito & Kusunoki 1982 (dalam CRIEPI 1992). Klasifikasi ini digunakan untuk menentukan suatu kelas batuan berdasarkan tingkat pelapukan suatu batuan.

**Tabel 2. 1** *Rock Mass Classification (CRIEPI, 1992)*

<i>Rock Class</i>	<i>Hardness</i>	<i>Core Shape and Joint Interval</i>	<i>Weathering and Alteration</i>	<i>Rock Mass Classification</i>
B	A	1	a	A1a
CH	A	2,3	a,b	A2a,A2b,A3a,A3b
	B	1,2	b,c	B1b,B1c,B2b,B2c
	B	3	a,b	B3a,B3b
CM	B	3	c	B3c
	B	4	a,b,c	B4a,B4b,B4c
	C	2,3	a	C2a,C3a
CL	B	5	b,c	B5b,B5c
	C	3	d	C3d
	C	4	d	C4d
	C	5	c	C5c
D	C	5	d	C5d
	D,E	*	*	D**,E**
	*	*	e	**e

Keterangan :

#### 1. **HARDNESS**

A. *Hard rock*

B. *Medium hard rock*

C. *Weak rock*

D. *Very weak rock*

E. *Decomposed rock*

## **2. CORE SHAPE AND JOINT INTERVAL**

1. *Columnar: Joint interval is around 30cm or more.*
2. *Columnar: Joint interval is approximately 15 to 30cm.*
3. *Mainly columnar: Joint interval is approximately 5 to 15cm.*
4. *Short columnar and fragments: Joint interval is approximately less than 5cm.*
5. *Mainly fragments: Heavily jointed.*
6. *Mainly sandy – clayey materials.*
7. *Mainly clayey materials.*
8. *No core.*

## **3. WEATHERING AND ALTERATION**

- a. *Fresh / no alteration*
- b. *Slightly weathered /weak alteration*
- c. *Moderately weathered / moderate alteration*
- d. *Highly weathered / high alteration*
- e. *Completely weathered / very high alteration*

**Tabel 2. 2** Klasifikasi Massa Batuan oleh *Central Research Institute of Electric Power Industry* (CRIEPI 1992), Japan

Kelas Batuan	Deskripsi Batuan
A	Massa batuan sangat segar, dan mineral & butiran penyusun batuan tidak mengalami pelapukan maupun alterasi. Kekar sangat rapat dan permukaannya tidak memiliki tanda-tanda pelapukan. <b><i>Suara dengan pukulan palu jelas.</i></b>
B	Massa batuan padat/kompak. Tidak ada kekar terbuka dan celah (bahkan 1 mm). Mineral & butiran penyusun batuan mengalami sedikit pelapukan maupun alterasi sebagian. <b><i>Suara dengan pukulan palu jelas.</i></b>
CH	Massa batuan relatif solid/padat. Mineral & butiran penyusun batuan mengalami pelapukan kecuali kuarsa. Batuan terkontaminasi oleh limonit, dll. Gaya Kohesi kekar dan rekahan sedikit berkurang dan blok batuan bisa dipisahkan oleh hantaman palu yang kuat di sepanjang kekar. Mineral lempung ada di permukaan kekar. <b><i>Suara pukulan palu agak lemah/redup.</i></b>
CM	Massa batuan agak lunak. Mineral dan butiran penyusun batuan agak melunak karena pelapukan dan / atau alterasi kecuali kuarsa. Gaya kohesi kekar dan rekahan sedikit berkurang dan blok batuan dipisahkan oleh pukulan palu biasa di sepanjang kekar. Material lempung ada di permukaan kekar. <b><i>Suara dengan pukulan palu agak lemah/redup.</i></b>
CL	Massa batuan lunak. Pelapukan dan / atau alterasi melunakkan mineral dan butiran penyusun batuan. Gaya kohesi kekar dan rekahan berkurang dan blok batuan dipisahkan oleh pukulan palu lemah di sepanjang kekar. <b><i>Suara dengan pukulan palu lemah/redup.</i></b>
D	Massa batuan sangat lemah. Pelapukan dan/atau alterasi melunakkan mineral dan butiran penyusun batuan. Kohesi kekar dan rekahan hampir tidak ada. Massa batuan hancur oleh pukulan palu ringan. Material lempung tetap berada di permukaan kekar. <b><i>Suara dengan pukulan palu sangat lemah/redup.</i></b>

**Tabel 2. 3** Klasifikasi Kekuatan Batuan oleh Kikuchi, Saito dan Kusumoki (CRIEPI,1992)

Rock Class	Rock Grade	Uni-axial Compress strength (kg/cm <sup>2</sup> )	Static modulus of elasticity (kg/cm <sup>2</sup> )	Modulus of deformation (kg/cm <sup>2</sup> )	Shear Strength		Velocity of elastic wave (kg/sec)
					Cohesion (kg/cm <sup>2</sup> )	Internal angle (deg)	
A,B	B	>800	>80.000	>50.000	>40	55-65	3.7 or more
CH	C	800-400	80.000-40.000	50.000-20.000	40-20	40-55	3.7-3.0
CM	D	400-200	40.000-15.000	20.000-5000	20-10	30-45	3.0-1.5
CL,D	F	200 or less	15.000 or less	5.000 or less	10 or less	15-30	1.5 or less

Menurut Kikuchi batuan diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok berdasarkan kekerasan tersebut seperti di bawah ini.

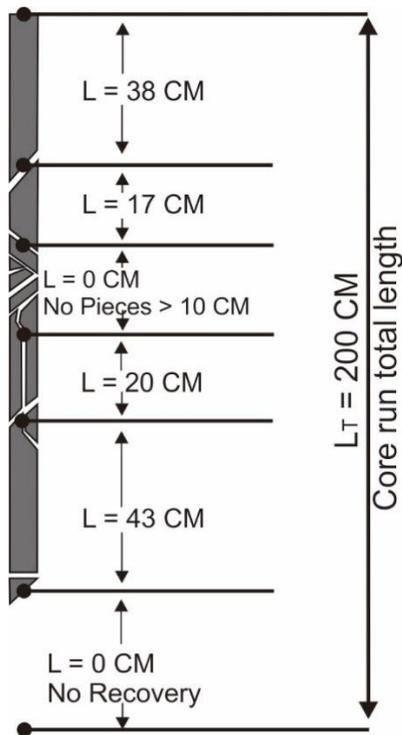
**Tabel 2. 4** Tabel kekuatan batuan menurut Kikuchi (1992 dalam CREPI)

<i>Rock group</i>	<i>Uni-axial compressive strength (kgf/cm<sup>2</sup>)</i>
<i>Hard rock</i>	<i>800 or more</i>
<i>Medium hard rock</i>	<i>200 – 800</i>
<i>Soft rock</i>	<i>200 or less</i>

#### 2.4 *Rock Quality Designation*

Dalam mempelajari aspek kekuatan batuan, di kenal 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 :

$$\mathbf{RQD} = \frac{\Sigma \text{rock pieces} \geq 10 \text{ CM}}{\text{core run total length}}$$



**Gambar 2.3** Cara pengukuran dan penghitungan RQD (Deere and Deere, 1988)

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

**Tabel 2. 5** Klasifikasi kualitas batuan berdasarkan nilai RQD (Deere dan Deere, 1988)

RQD	Kualitas Batuan
0-25%	Sangat buruk
25-50%	Buruk
51-75%	Sedang
75-90%	Baik
90-100%	Sangat Baik

## 2.5 *Water pressure test* (Uji Air Bertekanan)

### 2.5.1 Pengertian

Uji air bertekanan adalah suatu proses memasukkan air (fluida) dengan tekanan ke dalam rongga, rekahan dan kekar pada tanah atau batuan yang dalam waktu tertentu untuk mengetahui kondisi tanah atau batuan tersebut. Dalam

pelaksanannya proses akan menghasilkan angka yang menunjukkan kemampuan tanah atau batuan mengalirkan air dan dinyatakan dalam satuan Lugeon . Satu Lugeon ialah banyaknya air dalam liter per menit yang masuk ke dalam tanah atau batuan melalui lubang bor berukuran NX yaitu berdiameter 75,7 mm sepanjang satu meter dengan tekanan 10 bar (1 bar = 1,0197 kg/cm<sup>2</sup>) (SNI 2411:2008).

Nilai Lugeon didapat dari hasil perhitungan dengan rumus: (SNI 2411:2008).

$$Lu = \frac{10.Q}{P.L} \text{ atau } Lu = \frac{10.V}{P.L.t}$$

Keterangan

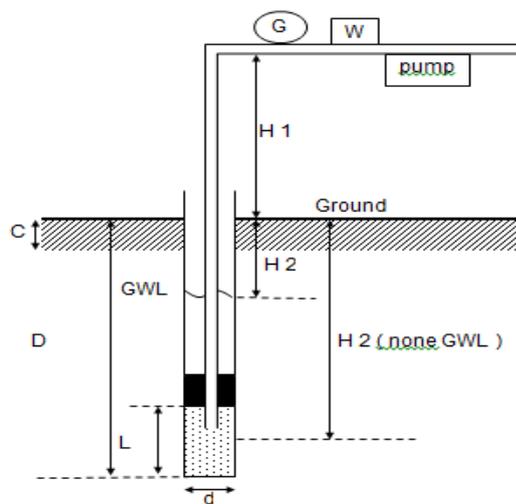
Lu : nilai Lugeon

Q : debit air yang masuk (liter/menit)

P : tekanan uji (kg/cm<sup>2</sup>)

L : panjang bagian yang di uji (m)

V : volume air yang di injeksi (liter)



**Gambar 2. 4** Skema proses *water pressure test* (SNI 2411:2008)

Dalam prosen injeksi air terdapat berbagai tekanan untuk mengetahui perubahan kondisi kelulusan air.

**Tabel 2. 6** Variasi tekanan pengujian *water pressure test* (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

Stage (Tahap)	Kedalaman (m)	Variasi Tekanan (kgf/cm <sup>2</sup> )				
1	0 - 5	1	2	3	2	1
2	5 - 10	2	4	5	4	2
3	10 - 15	3	6	7	6	3
4	15 - 20	4	8	10	8	4
5	20 - 25	5	10	12	10	5
6	25 - 30	5	10	12	10	5
7	30 - 35	5	10	12	10	5

### 2.5.2 Penentuan Nilai Lugeon

Grafik aliran air yang dibuat berdasarkan data hasil uji kelulusan air bertekanan yang merupakan hubungan tekanan P dan debit aliran air Q/L dimaksudkan antara lain untuk mengetahui:

- a) Perilaku tanah atau batuan yang diuji dengan cara injeksi air pada tekanan tertentu.
- b) Kondisi aliran air yang terjadi dalam tanah atau batuan tersebut dapat berupa kondisi laminar, turbulen, dilasi, pengikisan dan penyumbatan.

Perhitungan uji kelulusan air dengan menggunakan tekanan yang bervariasi dapat menghasilkan nilai Lugeon yang berbeda, tergantung pada kondisi aliran air yang terjadi dalam tanah atau batuan yang diuji. Penentuan nilai Lugeon dilakukan dengan menafsirkan pola grafik aliran p-Q/L. Dalam hal ini aliran air berupa :

- a. Aliran laminar bila nilai lugeon dari setiap tahapan memberikan nilai yang mendekati sama.

- b. Aliran turbulen terjadi bila nilai lugeon yang diperoleh pada tekanan puncak lebih kecil dari pada nilai lugeon yang diperoleh dari kedua tahapan tekanan yang lebih rendah dan juga nilai lugeon yang diperoleh pada setiap tahapan yang lebih rendah dari tekanan puncak baik tahapan peningkatan dan pada tahapan penurunan memperoleh nilai lugeon yang hampir sama.
- c. Bila nilai lugeon yang dilakukan pada tekanan puncak lebih tinggi dari nilai lugeon pada kedua tekanan lebih rendah dan nilai lugeon pada kedua tekanan yang lebih rendah ini memiliki nilai yang hampir sama, aliran ini disebut aliran dilasi.
- d. Nilai lugeon yang dilakukan pada setiap tekanan dari kelima tahapan tekanan baik saat peningkatan tekanan maupun penurunan tekanan memberikan nilai lugeon yang terus meningkat, pada tahap tekanan terakhir dengan tekanan yang terendah diperoleh nilai lugeon yang terbesar, aliran ini disebut aliran pengikisan.
- e. Aliran penyumbatan terjadi pada suatu aliran dengan nilai lugeon memberikan nilai yang bertambah kecil pada tahapan tekanan baik tahapan peningkatan maupun tahapan penurunan, sehingga nilai lugeon diakhir pengujian diperoleh nilai lugeon yang terkecil.

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 Laminar)	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 tertinggi terjadi pada tekanan tertinggi (Aliran Dilasi)	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

**Gambar 2. 5** Penentuan nilai lugeon dan jenis aliran (Houlsby 1986 dalam Friedrich and Ulrich, 2018)

## 2.6 Permeabilitas (K)

Permeabilitas adalah kemampuan tanah atau batuan untuk mengalirkan air didalam rongga. Kemampuan tersebut disajikan dalam bentuk koefisien dan dinyatakan dalam satuan panjang dibagi satuan waktu (cm/detik). SNI 2411:2008)

Untuk nilai permeabilitas didapat dari hasil perhitungan dengan rumus:

$$K = \frac{Q}{2\pi L \cdot h} \ln (L/r)$$

K : koefisien kelulusan air (cm/detik)

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

L : Panjang lubang bor yang di uji (m)

r : jari-jari lubang bor (cm)

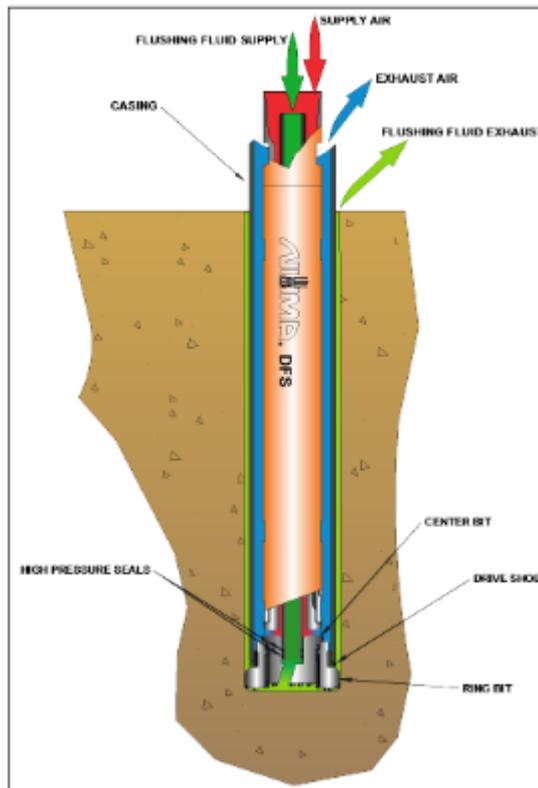
h : h<sub>p</sub> + h<sub>s</sub> (cm)

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

## **2.7 Pemboran Inti**

Pengeboran inti dengan maksud mengambil contoh tanah pada kedalaman tertentu dibawah pondasi bangunan bendungan agar secara langsung dapat mengetahui jenis, karakteristik dan penyebaran batuan pondasi calon bendungan. Lokasi jarak dan kedalaman lubang bor ditentukan sesuai dengan tipe besar kecilnya dan tahapan investigasi yang akan dilaksanakan.

Hasil pengeboran yang berupa inti berbentuk batang (*core*) dimasukkan dalam kotak khusus (*core box*), sedang hasil analisisnya digambarkan sebagai profil geologi dibawah permukaan tanah ; penganalisaan ini kecuali pengamatan langsung juga disertai dengan data kecepatan putar mesin bor, presentase pengintian lapisan yang tak terambil (*core recovery*), jangka waktu pengeboran, kedalaman airtanah dan lain-lain. Interpretasi hasil bor juga meliputi *Rock Mass Clasification* (CRIEPI, 1992).



Gambar 2. 6 Ilustrasi skema pemboran batuan (USACE, 2017)

## 2.8 Grouting

### 2.8.1 Pengertian

Grouting adalah injeksi proses memasukan suatu cairan tertentu dengan tekanan kedalam rongga atau pori rekahan dan kekar pada batuan yang dalam waktu tertentu cairan tersebut akan menjadi padat dan keras secara fisika maupun kimiawi (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

### 2.8.2 Jenis - jenis Grouting

Menurut Kadar Budiyo (2000, dalam Wicaksana,2018) tipe *grouting* dapat dibedakan menjadi 7, yang selanjutnya akan diuraikan sebagai berikut:

#### a. Berdasarkan Tujuannya.

1. Sementasi Tir1ai (*Curtain Grouting*)

Sesuai dengan namanya sebagai konstruksi penyekat atau tabir, berfungsi sebagai penghalang (*cut-off atau barrier*) dari rembesan air dalam pondasi bendungan yang cenderung membesar atau bocor. Tujuan utama dari grouting ini adalah membentuk lapisan vertikal kedap di bawah permukaan, disamping juga untuk menambah kekuatan pondasi bendungan. Dengan *grouting* tirai ini diharapkan dapat memotong aliran airtanah dari upstream ke downstream atau setidaknya dapat memperpanjang jalannya air tanah sampai batas tertentu sesuai dengan rencana.

## 2. Sementasi Selimut (*Blanket Grouting*)

*Blanket grouting* dilaksanakan bersamaan atau sebelum *grouting* tirai, hal ini tergantung dari keadaan geologi setempat. Tujuan dari *blanket grouting* adalah untuk memperbaiki lapisan permukaan tanah atau batuan pondasi yang langsung berhubungan dengan inti (*core*). Disamping itu untuk melindungi *grouting* tirai yang langsung berhubungan dengan seepage water.

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

Fungsi utama dari *grouting* konsolidasi adalah sama dengan *blanket grouting* bahkan dalam beberapa buku konsolidasi juga disebut sebagai *blanket grouting*. Selain itu fungsi konsolidasi *grouting* adalah untuk perbaikan kondisi fisik perlapisan tanah permukaan, karena ada kemungkinan permukaan tanahnya retak atau jelek.

Pada pelaksanaan konsolidasi *grouting* ini lubang bor dibuat lebih dangkal dibandingkan dengan lubang bor untuk *blanket* atau *grouting* tirai, hal ini mengingat fungsinya yang hanya untuk perbaikan lapisan permukaan tanah saja.

Meskipun demikian masih juga diperlukan data-data serta perencanaan lebih lanjut karena untuk menentukan kedalaman lubang bor.

Jadi pada dasarnya grouting tirai, *blanket grouting* dan *grouting* konsolidasi penting sekali dalam mengatasi masalah-masalah dari gangguan aliran air pada konstruksi bendungan. Selain itu *grouting* konsolidasi juga bertujuan untuk menyeragamkan dan menguatkan permukaan pondasi bendungan, struktur atau untuk menyelubungi terowongan.

#### 4. Sementasi Kontak (*Contact Grouting*)

Fungsi dari grouting kontak adalah untuk menghubungkan antara lapisan lama dengan lapisan yang baru. Jadi antara lapisan yang sejenis maupun yang berbeda juga bisa, misalnya pada bendungan di bawah *concrete pad*. Disini dilakukan grouting kontak untuk menghubungkan antar permukaan *river bed* dengan lapisan *concrete*.

#### 5. Sementasi Semprot (*Slush Grouting*)

Untuk menutup permukaan pondasi bendungan, waduk atau struktur dengan tujuan mencegah kebocoran pada kontak antara pondasi dan material pondasi di atasnya dengan cara menyemprotkan semen atau mortar pada permukaan batuan pondasi untuk menutup celah, kekar atau rongga. Pemakaian bahan grouting halus dikenal dengan guniting dan grout kasar dikenal dengan *shotcreting*.

#### 6. *Cavity Grouting*

Grouting ini digunakan untuk mengisi lubang atau celah antara struktur *concrete* dengan batuan atau lining terowongan dengan batuan.

#### 7. Sementasi Cincin (*Ring/Radial Grouting*)

Pada prinsipnya sama dengan grouting tirai yaitu dengan membuat lapisan yang kedap air, tetapi dilaksanakan pada terowongan.

#### **b) Jenis *Grouting* Berdasarkan Pelaksanaannya**

Pembagian tipe sementasi berdasarkan metode pelaksanaannya dapat dibagi menjadi 2 metode *grouting*, yaitu *single stage grouting* dan *multiple stage grouting*. Untuk *multiple stage grouting* dibedakan lagi menjadi *metode down stage* dan *up stage grouting*.

##### *1. Single Stage Grouting*

Pada metode ini, pemboran dilaksanakan sampai pada kedalaman yang diinginkan, kemudian grouting dilaksanakan sekali mencakup seluruh kedalaman, dengan alat packer sebagai penutup lubang terletak di bagian atas lubang bor (*top of hole*).

##### *2. Multiple stage Grouting*

###### *a. Metode Grouting Up Stage*

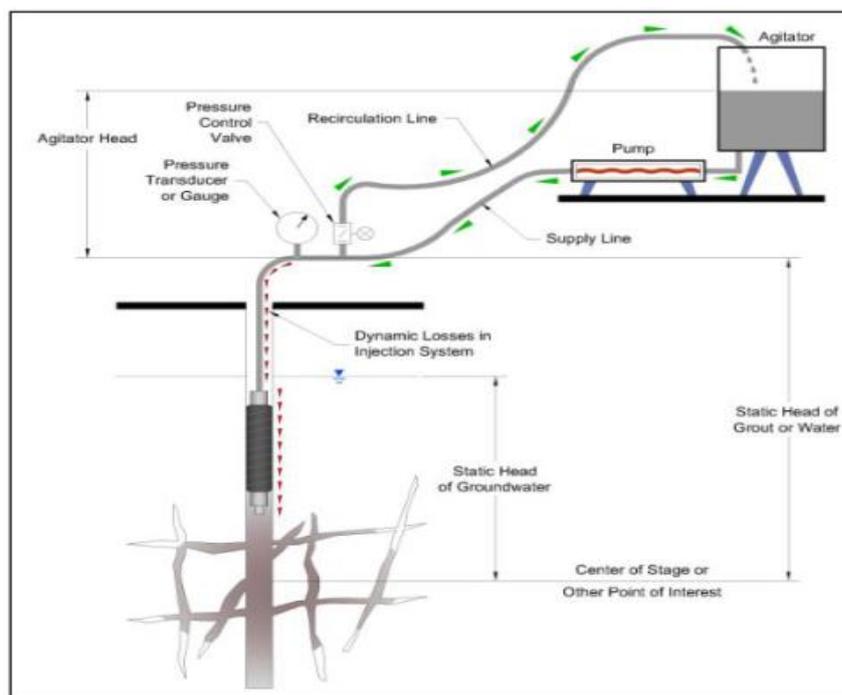
Dalam pelaksanaan metode ini, lubang grouting dibor hingga mencapai kedalaman yang diinginkan kemudian dipasang sebuah alat packer didalam lubang bor. Alat packer ini berfungsi untuk menutup lubang bor agar campuran semen tidak kembali ke permukaan ketika disemprotkan, sehingga seluruh material suspensi grouting dapat masuk ke sisi samping lubang bor. Kemudian dilakukan grouting stage demi stage mulai dasar lubang bor, menuju ke atas.

###### *b. Metode Grouting Down Stage*

Pada pelaksanaan metode grouting ini, lubang yang nantinya akan di grouting dipersiapkan terlebih dahulu dengan melakukan pengeboran tahap

pertama, kemudian dilakukan pencucian lubang bor dengan air pemboran (washing) hingga kondisi lubang bor cukup bersih. Kemudian dilakukan grouting sepanjang lubang bor dengan kedalaman sesuai stage pertama tersebut. Setelah pelaksanaan stage pertama selesai, tekanan dibiarkan konstan untuk beberapa saat, kemudian alat packer dicabut dan pemboran dilanjutkan kembali pada kedalaman stage selanjutnya.

Setelah pelaksanaan grouting selesai hingga mencapai keseluruhan kedalaman yang diinginkan, lubang bor dibersihkan kembali dan ditutup dengan material grouting dengan letak alat packer di atas lubang bor (top of hole).



**Gambar 2. 7** Skema proses *grouting* berlangsung (USACE, 2017)

### 2.8.3 Tujuan *Grouting*

Ada beberapa tujuan dari pengerjaan *grouting* diantaranya (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

1. Menurunkan permeabilitas batuan
2. Meningkatkan kuat geser tanah
3. Mengurangi kompresibilitas
4. Mengurangi potensi erosi pada dinding dan pondasi batuan.

#### **2.8.4 Trial Grouting**

Sesuai dengan tipe bendungannya target kekedapan pondasi berupa angka permeabilitas (K) atau angka lugeon menjadi kriteria seperti Lugeon telah ditetapkan sebagai contoh untuk bendungan beton biasanya sekitar 1 (satu) s/d 2 (dua) s/d 5 (lima) lugeon. Disini tidak ada alasan khusus tentang perbedaan mengenai nilai lugeon menurut tipe bendungan, tetapi yang jelas total debit rembesan maksimum yang diperkenankan harus dipenuhi. Walaupun telah didapat nilai lugeon seperti diatas dan sebetulnya tidak diperlukan perbaikan pondasi, tetapi dalam prakteknya pada bendungan urugan walaupun pondasi cukup baik dan memenuhi syarat tersebut diatas, namun tetap dilakukan perbaikan-perbaikan seperlunya. Dari hasil uji/test *grouting* yang didapatkan hal sebagai berikut :

- 1) Gambaran dalam perbaikan pondasi dengan *grouting*.
- 2) Pengaturan jarak dan susunan lubang *grouting*.
- 3) Besarnya tekanan injeksi *grouting*.
- 4) Standar uji yang diperlukan dan perkiraan material yang akan dipakai.

Tekanan injeksi maksimum juga sering ditentukan sesuai dengan tekanan pendahuluan pada batuan dasar yang akan diinjeksi dan dijaga supaya tekanan injeksi tidak sampai mengangkat batuan dasar (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

### **2.8.5 Tahapan Pelaksanaan *Trial Grouting***

Pelaksanaan *trial grouting* perlu dilakukan secara bertahap sesuai dengan tahapan studi atau implementasi proyek bendungan.

#### **1. Tahap Studi Desain Rinci Proyek**

Dalam tahap desain rinci untuk menetapkan parameter desain *grouting* harus diperoleh dari hasil *trial grouting*, terutama pada pondasi yang ternyata kurang baik dan perlu diperbaiki dengan *grouting* harus dilakukan *grouting test* untuk mendukung perencanaan *grouting* dalam desain rinci.

Apabila ternyata *grouting* dengan semen tidak berhasil perlu disiapkan alternatif dengan kimiawi atau dinding diafragma secara dini. Pelaksanaan *trial grouting* harus memenuhi kriteria dimensi bendungan dan problem pondasinya. Dalam rangka sertifikasi desain bendungan makin rinci dan matang parameter desainya diyakini akan menyajikan desain final yang segera lulus di setujui.

#### **2. Tahap Pelaksanaan Konstruksi**

Dalam tahap implementasi proyek atau pelaksanaan konstruksi fisik bendungan, pihak kontraktor diwajibkan melakukan *grouting* awal tambahan atau dikenal *trial grouting* bersamaan *trial embankment*, *trial blasting*, *trial mix concrete* dan lain-lain. Pelaksanaan *trial grouting* sudah ditetapkan dalam bestek serta arah dari pihak konsultan supervisi. Bila perlu apabila perubahan signifikan dijumpai saat penggalian seperti hadirnya sesar atau zona lemah lainnya perlu *trial grouting* dulu sebelum dimulai pekerjaan utama *grouting* (Dirjend Sumber Daya Air Pekerjaan Umum, 2005).

## **2.9 Jenis Grouting Pada Bendungan Pamukkulu**

Berdasarkan posisi dan fungsi terhadap konstruksi bendungan, jenis *grouting* dapat dibagi menjadi:

### **2.9.1 Grouting Tirai**

Menunjukkan posisi atau lokasi dari *grouting* yang merupakan zona memanjang dalam tampak atas (*plan*) disbanding lebarnya dan biasanya lebih dalam disbanding lebarnya. Umumnya bermanfaat mereduksi permeabilitas dari tanah dibawah bendungan atau pada pinggiran waduk sebagai rim *grouting* (*grouting* sisi).

### **2.9.2 Grouting Konsolidasi**

Merupakan metode *grouting* dimana bahan grout kental dan lekat di injeksi kedalam tanah yang kompresif sehingga membentuk bodi *grout* dengan perpindahan (*displasmen*) sebagai kebalikan dari penetrasi dengan tujuan memadatkan tanah dan mereduksi kompresibilitas. Istilah ini juga dipergunakan untuk mengisi rongga dengan metode injeksi serupa.

## **2.10 Material Grouting**

Material *grouting* harus terdiri dari campuran semen Portland dan air, di tambah admixtures. Campuran ini akan di desain untuk menyesuaikan dengan kondisi khusus yang dihadapi dalam batuan. Pasir atau bahan aditif lainnya akan digunakan bila diperlukan. Air yang digunakan untuk campuran harus segar, bersih dan bebas dari material yang mengganggu seperti minyak, asam, alkali, garam, bahan organic, atau bahan perusak lainnya (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu, 2017).

Semua semen untuk campuran harus memiliki kualitas setara dengan semen Portland, tipe 1 sesuai ASTM C150. Semen harus memiliki permukaan yang spesifik dari 3000 sampai 4000 g/cm<sup>2</sup> sebagaimana ditentukan dengan pengujian. Material semen tidak memiliki partikel yang lebih besar dari 0.1 mm (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu, 2017).

Jika digunakan pasir yang ditambahkan ke material grouting, harus bersih dan, partikel batu yang tahan lama, bebas dari gumpalan tanah liat dan benda asing tidak dapat diterima. Pasir harus sesuai dengan ASTM, C 33 "Spesifikasi Agregat untuk Beton", untuk kualitas. Kehalusan pasir diperlukan untuk grouting adalah sebagai berikut: 100% akan lulus standar ASTM No.16 ukuran saringan, tidak kurang dari 10% atau lebih dari 30% akan lolos/melewati ukuran saringan No.100, dan tidak lebih dari 5 % lolos ukuran saringan No.200 (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu, 2017).