

SKRIPSI

**PENENTUAN KUALITAS BATUAN DAN FRAGMENTASI HASIL
BLASTING QUARRY SEBAGAI MATERIAL TIMBUNAN PADA
PEMBANGUNAN BENDUNGAN PAMUKKULU KABUPATEN
TAKALAR PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh

JASMIN ELZA

D61116501



**DEPARTEMEN TEKNIK GEOLOGI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN**

**MAKASSAR
2023**

**GEOLOGI DAERAH KADUNDUNG
KECAMATAN LATIMOJONG KABUPATEN LUWU
PROVINSI SULAWESI SELATAN**

Disusun dan diajukan oleh:



Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi pada Program Studi Teknik Geologi Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 20 Juli 2023 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Pembimbing Utama

Dr. Sultan, S.T., M.T.
NIP. 191007051997021002

Pembimbing Pendamping

Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T.
NIP. 195910081987031001

**Ketua Departemen Teknik Geologi
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin**

Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng
NIP. 197712142005011002

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan dibawah ini ;

Nama : Jasmin Elza
NIM : D61116501
Program Studi : Teknik Geologi
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

{Penentuan Kualitas Batuan Dan Fragmentasi Hasil Blasting Quarry Sebagai Material Timbunan Pada Pembangunan Bendungan Pamukkulu Kabupaten Takalar Provinsi Sulawesi Selatan}

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

Semua informasi yang ditulis dalam pemetaan geologi yang berasal dari penulis lain telah diberi penghargaan, yakni dengan mengutip sumber dan tahun penerbitannya. Oleh karena itu semua tulisan dalam skripsi ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab penulis.

Apabila ada pihak manapun yang merasa ada kesamaan judul dan atau hasil temuan dalam skripsi ini, maka penulis siap untuk diklarifikasi dan mempertanggungjawabkan segala resiko. Segala data dan informasi yang diperoleh selama proses pembuatan skripsi, yang akan dipublikasi oleh penulis di masa depan harus mendapat persetujuan dari Dosen Pembimbing.

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

Gowa, 22 Juli 2023

Menyatakan

Jasmin Elza

SARI

Secara administratif Bendungan Pamukkulu terletak pada Daerah Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polombangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Secara astronomis terletak pada koordinat $119^{\circ}35'13,736''\text{BT}$ $5^{\circ}23'33,818''\text{LS}$ dan $119^{\circ}36'3,02''\text{BT}$ $5^{\circ}24'30,2''\text{LS}$. 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 beserta retas- retas andesit. Struktur geologi yang di jumpai berupa kekar sistematis.

Metode penelitian yang digunakan adalah metode pemetaan permukaan dan pengeboran inti batuan. Berdasarkan investigasi geologi bawah permukaan didapatkan kelas batuan yang sesuai kriteria zonasi 3B yaitu pada Blok B1 kedalaman 10-20 m, Blok A3 kedalaman 5-10 m, dan Blok D pada kedalaman 5-20 m dengan kelas batuan CH. Untuk zona 3A dengan spesifikasi kelas batuan CM terdapat pada titik bor A3 kedalaman 10-15 m, Blok B1 kedalaman 5-10 m, dan Blok D pada kedalaman 0-5 m dan zona 3C terdapat pada Blok A3 kedalaman 1-5 m, Blok B1 5-10 m, dan Blok D kedalaman 0-5 m dengan kelas batuan CM. Dari hasil uji laboratorium mekanika batuan nilai Uji Kuat Tekan antara 33.36 MPa – 67.24 MPa hal ini menunjukkan batuan memiliki nilai kekerasan dan kekuatan berkisar dari sedang sampai keras. Nilai *Rock Quality Designation* (RQD) pada lapisan atas 0-10 m berkisar antara 13-68 % dan lapisan 10-20 m berkisar antara 83-99%.

Analisis Fragmentasi batuan hasil *blasting* menggunakan metode teori Kuz-Ram dan data aktual di lapangan dengan menghitung persentase *boulder* yang dihasilkan disetiap ledakan menggunakan *software split desktop*. Rata-rata *boulder* batuan (selama 4 kali peledakan) berukuran 100 cm ialah 18.74 %, angka ini atas ketentuan dari spesifikasi teknis yaitu sebesar 15% yang menyebabkan bertambahnya biaya untuk menanganinya salah satunya yaitu dengan *reblasting*.

Rekomendasi dalam pembangunan bendungan pada area *quarry* yaitu perlunya penyesuaian *blasting plan* terhadap faktor-faktor geologi yang terdapat dilapangan agar fragmentasi dapat tercapai dengan baik.

Kata Kunci: Bendungan Pamukkulu, Pengeboran Inti, *Blasting*, Fragmentasi

ABSTRACT

Administratively, the Pamukkulu Dam is located in the area of Kale Ko'mara Village, North Polombangkeng District, Takalar Regency, South Sulawesi Province. Astronomically it is located at coordinates 119°35'13.736"E 5°23'33.818" LS and 119°36'3.02"E 5°24'30.2" LS. The geomorphological unit in the study area is the denudational hill geomorphological unit. The lithology of the Pamukkulu Dam is included in the Baturape-Cindako Volcano Rock Formation (Tpbv) which is composed of lava and breccia lithology along with andesite intrusion. The geological structure encountered is in the form of systematic joints.

The research method used is the method of surface mapping and rock core drilling. Based on subsurface geological investigations, it was found that rock classes matched the 3B zoning criteria, namely Block B1 at a depth of 10-20 m, Block A3 at a depth of 5-10 m, and Block D at a depth of 5-20 m with a CH rock class. For zone 3A with CM rock class specifications there are drill points A3 at a depth of 10-15 m, Block B1 at a depth of 5-10 m, and Block D at a depth of 0-5 m and zone 3C is located at Block A3 at a depth of 1-5 m, Block B1 5-10 m, and Block D depth 0-5 m with CM rock class. From the results of rock mechanics laboratory tests, the compressive strength test value is between 33.36 MPa – 67.24 MPa, this shows that rocks have hardness and strength values ranging from moderate to hard. The Rock Quality Designation (RQD) value in the upper 0-10 m layer ranges from 13-68 % and the 10-20 m layer ranges from 83-99%.

Analysis of rock fragmentation resulting from blasting uses the Kuz-Ram theory method and actual data in the field by calculating the percentage of boulder produced in each explosion using split desktop software. The average boulder size of 100 cm (during 4 times of blasting) is 18.74%, this figure is based on the provisions of the technical specifications which is equal to 15% which causes an increase in the cost of handling it, one of which is by reblasting.

Recommendations in the construction of dams in the quarry area, namely the need to adjust the blasting plan to the geological factors found in the field so that fragmentation can be achieved properly.

Keywords: Pamukkulu Dam, Core Drilling, Blasting, Fragmentation

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 **“Penentuan Kualitas Batuan dan Fragmentasi Hasil Blasting Quarry Sebagai Material Timbunan pada Pembangunan Bendungan Pamukkulu 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 ini, diantaranya :

1. Bapak Dr. Sultan, S.T., M.T sebagai Dosen Pembimbing Utama sekaligus penasehat akademik yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengambilan dan pengolahan data, serta penulisan laporan.
2. Bapak Dr. Ir. Busthan Azikin, M.T. sebagai Dosen Pembimbing Pendamping yang telah sabar dalam memberikan arahan dan masukan baik dalam proses pengolahan data, serta penulisan laporan.
3. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng dan Ibu Dr. Ir. Ratna Husain L, M.T. sebagai Dosen Penguji yang telah memberikan arahan dan saran untuk kebaikan isi dan penulisan laporan.
4. Bapak Dr. Eng. Hendra Pachri, S.T., M.Eng. sebagai Ketua Program Studi S1 Teknik Geologi dan Ketua Departemen Teknik Geologi Universitas Hasanuddin.

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. Seluruh rekan-rekan mahasiswa Teknik Geologi Universitas Hasanuddin (HMG FT-UH) yang telah banyak memberikan dukungan kepada penulis.
8. 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.
9. Rekan-rekan Jurassic, mahasiswa Teknik Geologi Angkatan 2016 atas kebersamaannya saat proses pengambilan data hingga penyusunan laporan.
10. Kedua orang tua tercinta yang selalu mendoakan dan memberikan dukungan baik moril maupun materil.
11. 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, 20 Juli 2023

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
PERNYATAAN KEASLIAN.....	iii
SARI.....	iv
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR GAMBAR.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Batasan Masalah	2
1.4 Maksud dan Tujuan.....	3
1.5 Letak dan Kesampaian Daerah	3
1.6 Manfaat Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Geologi Daerah Penelitian	5
2.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian	5
2.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian.....	7
2.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	10
2.2 Pengertian, Macam Bendungan dan Jenis Pondasi.....	10
2.3 Material Timbunan Bendungan Batu (<i>Rockfill</i>)	13
2.4 Sistem Rock Mass Rating (RMR).....	16
2.4.1 Kuat Tekan Uniaksial Batuan	18
2.4.2 <i>Rock Quality Designation</i> (RQD)	19
2.4.3 Spasi Kekar	20
2.4.4 Kondisi Kekar	21

2.4.5 Kondisi Air Tanah.....	24
2.5 Klasifikasi Batuan.....	24
2.6 Tingkat Pelapukan Batuan.....	27
2.7 Peledakan (<i>Blasting</i>).....	28
2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Peledakan	28
2.8.1 Faktor Rancangan yang Tidak Dapat Dikendalikan	29
2.8.2 Faktor Rancangan yang Dapat Dikendalikan.....	32
2.9 Pola Peledakan.....	34
2.10 Penentuan Geometri Peledakan	36
2.11 Perhitungan Fragmentasi Metode Kuz-Ram	38
2.12 Faktor yang Mempengaruhi Fragmentasi Hasil Peledakan	39
BAB III METODE PENELITIAN	42
3.1 Pengumpulan Data	42
3.1.1 Studi Pustaka	42
3.1.2 Data Lapangan.....	42
3.1.2.1 Pengambilan Data <i>Logging</i>	43
3.1.3 Data Laboratorium	45
3.1.4 Data Aktual Geometri <i>Blasting</i>	45
3.2 Pengolahan Data.....	46
3.2.1. Data Lapangan	46
3.2.2 Data Laboratorium	47
3.2.3 Analisa Fragmentasi Batuan Metode Kuz-Ram.....	47
3.3 Penyusunan Laporan	47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....	49
4.1 Geologi Daerah Penelitian.....	49
4.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian	49
4.1.2 Stratigrafi Daerah Penelitian.....	53
4.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian.....	57
4.2 Uji Laboratorium Mekanika Batuan (<i>Rock Mechanic</i>)	58
4.3 Analisa Hasil Uji Laboratorium	61
4.3.1 Sample Batuan SI-08.....	61
4.3.2 Sample Batuan SI-08B	63
4.3.3 Sample Batuan SI-09.....	65
4.3.4 Sample Batuan SI-10.....	67
4.3.5 Sampel Batuan SI-11.....	69
4.3.6 Sampel Batuan SI-12.....	72

4.4	Data Aktual Geometri Peledakan	74
4.5	Karakteristik Massa Batuan.....	75
4.5.1	Sifat Mekanik Batuan di Area <i>Quarry</i>	75
4.5.2	Sifat – Sifat Massa Batuan	75
4.5.3	Indeks Kemampuledakkan Batuan (<i>Rock blastability Index</i>).....	76
4.6	Pengamatan Kegiatan Peledakan di <i>Quarry</i> I.....	76
4.7	Perbandingan Analisa Fragmentasi Metode Aktual Lapangan	78
4.7.1	Geometri I (Blok A3).....	78
4.7.2	Geometri II (Blok B1).....	80
4.7.3	Geometri III (Blok B1).....	82
4.7.4	Geometri IV (Blok D).....	85
4.8	Rekomendasi Perbaikan Pola Peledakan <i>Quarry</i> I.....	87
BAB V PENUTUP.....		92
5.1	Kesimpulan	92
5.2	Saran	93
DAFTAR PUSTAKA		94

LAMPIRAN

Pemerian Batuan (*Log Bore*)
 Data Pengujian Mekanika Batuan
 Dokumentasi Aktivitas Pengeboran dan Kotak Sampel
Rock Blastability Indeks Quarry I
Blasting plan
 Peta *Quarry* I

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Peta Lokasi Daerah Penelitian.....	4
Gambar 2. 1 Zonasi material timbunan Bendungan Pamukkulu	15
Gambar 2. 2 Cara menghitung nilai RQD (Deere, 1966)	20
Gambar 2. 3 Profil kekasaran kekar (ISRM, 1981)	22
Gambar 2. 4 Struktur Geologi Pada Perlapisan Batuan.....	31
Gambar 2. 5 Kemiringan Lubang (Hustrulid, 1999).....	32
Gambar 2. 6 Pola Pemboran (Konya, 1990)	33
Gambar 2. 7 Pola Pemboran (Konya, 1990)	34
Gambar 2. 8 Cakupan Energi Ledakan (Hustrulid, 1999)	34
Gambar 2. 9 Pola Ledakan (Konya, 1990).....	36
Gambar 3. 1 Peta Lokasi Titik Bor <i>Soil</i> Investigasi Quarry I	43
Gambar 3. 2 Perlengkapan Pengeboran	44
Gambar 3. 3 Contoh Sampel Inti Core.....	45
Gambar 3. 4 Geometri <i>Blasting plan</i>	46
Gambar 3. 5 Diagram Alir Tahapan Penelitian.....	48
Gambar 4. 1 Kenampakan satuan bentang alam perbukitan area <i>quarry</i>	49
Gambar 4. 2 Kenampakan pelapukan batuan akibat faktor biologis	50
Gambar 4. 3 Kenampakan pelapukan kulit bawang	50
Gambar 4. 4 Kenampakan residual soil pada STA 0+250.....	51
Gambar 4. 5 Kenampakan <i>channel bar</i> dan <i>point bar</i> pada h	52
Gambar 4. 6 Tipe genetik sungai insekuen pada anak Sungai Pappa	52
Gambar 4. 7 Kenampakan singkapan batuan breksi	53
Gambar 4. 8 Kenampakan petrografis sampel Breksi ST-260.....	54
Gambar 4. 9 Kenampakan Grafik XRD pada sampel STA-250 Breksi.....	54
Gambar 4. 10 Kenampakan litologi basal pada area <i>quarry</i> Blok B1	55
Gambar 4. 11 Kenampakan nikol sejajar sampel ST-250.....	56
Gambar 4. 12 Kenampakan Grafik XRD pada sampel STA- 250 Basal	56
Gambar 4. 13 Kenampakan retas andesit pada STA – 20.....	57
Gambar 4. 14 Kenampakan sistem kekar sistematis pada litologi andesit	57

Gambar 4. 15 Foto sampel batuan SI-08 kedalaman 0-5 m.....	62
Gambar 4. 16 Foto sampel batuan SI-08 kedalaman 5 – 8 m	62
Gambar 4. 17 Foto sampel batuan SI-08B kedalaman 0 – 5 m	63
Gambar 4. 18 Foto sampel batuan SI-08B kedalaman 10 – 15 m	64
Gambar 4. 19 Foto sampel batuan SI-09 kedalaman 0-5 m.....	65
Gambar 4. 20 Foto sampel batuan SI-09 kedalaman 5-10 m.....	65
Gambar 4. 21 Foto sampel batuan SI-09 kedalaman 10-15 m.....	66
Gambar 4. 22 Foto sampel batuan SI-09 kedalaman 15-20 m.....	66
Gambar 4. 23 Foto sampel batuan SI-10 kedalaman 0 – 5 m	68
Gambar 4. 24 Foto sampel batuan SI-10 kedalaman 10 – 15 m	68
Gambar 4. 25 Foto sampel batuan SI-11 kedalaman 0 – 5 m	69
Gambar 4. 26 Foto sampel batuan SI-11 kedalaman 5 – 10 m	70
Gambar 4. 27 Foto sampel batuan SI-11 kedalaman 10 – 15 m	70
Gambar 4. 28 Foto sampel batuan SI-11 kedalaman 15 – 20 m	71
Gambar 4. 29 Foto sampel batuan SI-12 kedalaman 0-5 m.....	72
Gambar 4. 30 Foto sampel batuan SI-12 kedalaman 10-15 m.....	72
Gambar 4. 31 Foto sampel batuan SI-12 kedalaman 15-20 m.....	73
Gambar 4. 32 Foto Hasil Peledakan Blok A3	79
Gambar 4. 33 Foto Hasil Peledakan Blok B1	84
Gambar 4. 34 Foto Hasil Peledakan Blok D	86
Gambar 4. 35 Metode <i>Double Deck</i>	88
Gambar 4. 36 Aplikasi Metode Double Deck pada <i>Quarry I</i>	89
Gambar 4. 37 <i>Boulder</i> yang terjadi pada kolom <i>stemming</i>	89
Gambar 4. 38 Aplikasi Penggunaan <i>Bottom Air Decking</i> pada <i>Quarry I</i>	90

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Klasifikasi massa batuan dengan sistem Rock Mass Rating	17
Tabel 2. 2 Kelas massa batuan dengan sistem Rock Mass Rating	18
Tabel 2. 3 Klasifikasi Kekuatan Masa Batuan Berdasarkan Uji.....	19
Tabel 2. 4 Hubungan RQD dan kualitas batuan (Deere, 1966).....	19
Tabel 2. 5 Klasifikasi spasi kekar (ISRM, 1981).....	20
Tabel 2. 6 Klasifikasi kemenerusan (ISRM, 1981).....	21
Tabel 2. 7 Klasifikasi kondisi bukaan kekar (ISRM, 1981).....	22
Tabel 2. 8 Klasifikasi tingkat pelapukan (ISRM, 1981)	23
Tabel 2. 9 Klasifikasi Massa Batuan oleh <i>Central Research</i>	24
Tabel 2. 10 <i>Rock Mass Classification</i> (CRIEPI,1992).....	25
Tabel 2. 11 Klasifikasi Kekuatan Batuan oleh Kikuchi, Saito.....	26
Tabel 2. 12 Tabel kekuatan batuan menurut Kikuchi (1992 dalam CRIEPI) ..	27
Tabel 2. 13 Klasifikasi tingkat pelapukan pada massa batuan (ISRM, 1981) .	27
Tabel 2. 14 Tingkat Kekerasan Batuan Berdasarkan Skala Mohs.	29
Tabel 2. 15 <i>Rock Blastability Index</i> (Lily, 1986)	41

DAFTAR GRAFIK

Grafik 4. 1 Distribusi Fragmentasi Kuz-Ram Geometri I Blok A3	78
Grafik 4. 2 Distribusi Fragmentasi Aktual Geometri I	79
Grafik 4. 3 Distribusi Fragmentasi Kuz-Ram Geometri II Blok B1	81
Grafik 4. 4 Foto Hasil Peledakan Blok B1.....	81
Grafik 4. 5 Distribusi Fragmentasi Aktual Geometri II Blok B1.....	82
Grafik 4. 6 Distribusi Fragmentasi Kuz-Ram Geometri III Blok B1.....	83
Grafik 4. 7 Distribusi Fragmentasi Aktual Geometri III Blok B1	84
Grafik 4. 8 Distribusi Fragmentasi Aktual Geometri IV Blok D	86

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Salah satu Proyek Strategis Nasional (PSN) yang dibangun di Sulawesi Selatan yaitu Bendungan Pamukkulu yang terletak di Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar. Pekerjaan pembangunan Bendungan Pamukkulu ini diharap dapat menambah tampungan air Indonesia khususnya di Sulawesi Selatan sebagai lumbung pangan nasional. Bendungan ini diperkirakan dapat menampung air sebanyak 77 juta m³ dan mengairi irigasi seluas 6.150 Ha serta penyediaan air baku Kota Takalar 160 liter/detik.

Bendungan Pamukkulu merupakan tipe bendungan Urugan Batu Membran Beton atau *Concrete Face Rockfill Dam* (CFRD). Dengan spesifikasi tinggi bendungan 64,50 m dengan panjang puncak 860 m, dan membutuhkan volume material 2,3 juta m³ tentunya Bendungan Pamukkulu akan menjadi bendungan terbesar ke-3 di Sulawesi Selatan setelah Bendungan Bilibili dan Passeloreng.

Dengan banyaknya volume material yang diperlukan maka perlu dilakukan investigasi geologi dan mekanika tanah dan batuan untuk mengetahui kondisi batuan yang akan digunakan sebagai material timbunan pada tubuh Bendungan Pamukkulu. Serta proses eksploitasi menggunakan metode peledakan (*blasting*) untuk pemberaian batuan berdasarkan ukuran fragmentasi untuk setiap zonasi timbunan pada tubuh Bendungan Pamukkulu.

Untuk mendapatkan fragmentasi dan kualitas batuan yang diharapkan maka perlunya *blasting plan* yang terukur dengan meninjau aspek geologi baik itu

permukaan dan bawah permukaan. Ukuran fragmentasi dan kualitas batuan sangat penting dalam mengklasifikasikan zonasi material timbunan bendungan. Berdasarkan uraian tersebut, dilakukanlah penelitian dengan judul : **“Penentuan Kualitas Batuan dan Fragmentasi Hasil Blasting Sebagai Material Timbunan pada Pembangunan Bendungan Pamukkulu, Kab. Takalar, Sulawesi Selatan”**.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian di atas dapat dirumuskan masalah dalam penelitian. sebagai berikut :

- 1) Bagaimana kualitas batuan sebagai material timbunan pada tubuh Bendungan Pamukkulu ?
- 2) Bagaimana ukuran fragmentasi batuan untuk material timbunan Bendungan Pamukkulu ?

1.3 Batasan Masalah

Pada penelitian yang dilakukan, penulis membatasi masalah yang akan diangkat yaitu pembahasan mengenai aspek-aspek geoteknik dalam penentuan kelas batuan dan ukuran fragmentasi hasil *blasting* sebagai material timbunan pada proyek pembangunan Bendungan Pamukkulu.

1.4 Maksud dan Tujuan

Maksud dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan informasi mengenai kualitas batuan dan ukuran fragmentasi hasil *blasting quarry* sebagai material timbunan Bendungan Pamukkulu.

Tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menentukan kualitas batuan sebagai material timbunan pada tubuh Bendungan Pamukkulu.
2. Menentukan ukuran fragmentasi batuan untuk material timbunan Bendungan Pamukkulu.

1.5 Letak dan Kesampaian Daerah

Pekerjaan pembangunan Bendungan Pamukkulu terletak di Desa Kale Ko'mara, Kecamatan Polongbangkeng Utara, Kabupaten Takalar, Provinsi Sulawesi Selatan. Daerah Irigasi (DI) Pappa dan berada di hulu Bendung Pamukkulu (*eksisting*) dengan estimasi jarak + 4 km. Jarak tempuh dari kota Makassar kurang lebih mencapai 50 km dengan waktu tempuh dengan kendaraan roda-empat sekitar 1 jam 30 menit perjalanan. Koordinat lokasi tapak Bendungan Pamukkulu Paket I terletak pada posisi 50° 24' 03" Lintang Selatan dan 119° 35' 33" Bujur Timur. Sungai Pappa berasal dari daerah pegunungan yang terletak di DAS Pappa.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Geologi Daerah Penelitian

2.1.1 Geomorfologi Daerah Penelitian

Berdasarkan Bentuk morfologi yang paling menonjol pada lembar peta adalah kerucut Gunung Api Lompobatang (2.786 m). Kerucut Gunung Api Lompobatang tersusun oleh batuan vulkanik berumur plistosen. Dua buah kerucut tererosi yang lebih sempit sebarannya terdapat disebelah barat dan utara Gunung Lompobatang. Sebelah barat terdapat Gunung Baturape (1.124m) dan sebelah utara terdapat Gunung Cindako (1.500 m). Di sebelah utara Gunung Baturape merupakan daerah berbukit, kasar di bagian timur dan halus di bagian barat. Di bagian timur dengan ketinggian kurang dari 50 m dan hampir merupakan dataran. Bentuk ini disusun oleh batuan klastika Gunung Api berumur Miosen (Tpbv).

Pesisir barat berupa dataran rendah yang sebagian besar terdiri dari daerah rawa dan daerah pasang surut. Bagian timurnya terdapat bukit-bukti terisolir yang tersusun oleh gunung api berumur Miosen dan Pliosen.

Pesisir barat daya ditempati oleh morfologi berbukti memanjang rendah dengan arah umum kira-kira barat laut-tenggara. Pantainya berliku membentuk beberapa teluk yang disusun oleh batuan karbonat dari formasi tonasa.

Bagian selatan DAS timur membentuk suatu tanjung yang ditempati sebagian besar oleh daerah berbukit kerucut dan topografi *karst*. Bagian dari daerah pamukkulu tengah ke hilir adalah tanah datar dengan undulasi kecil. Beberapa batuan tersingkap jelas yang diamati di dasar sungai dari Sungai Pamukkulu, tanah

dataran dikategorikan sebagai peneplain yang berbeda dari dataran *alluvial* yang terbentuk oleh endapan kuarter yang tebal.

Aktivitas vulkanisme Gunung Lompobatang-Bawakaraeng telah lama padam, terlihat dari batuan hasil erupsi yang terjadi kala Pleistosen dan kegiatannya tidak pernah lagi tercatat pada buku dasar gunung berapi di Indonesia yang diterbitkan oleh Direktorat Vulkanologi.

Gunung Lompobatang (2.876 m) dan Gunung Bawakaraeng (2.833 m) adalah 2 (dua) puncak tertinggi Gunung Lompobatang dengan mulut kepundan terbuka ke arah timur laut masuk ke sungai dan Bendungan Bili-bili melalui Desa Borongbule, Bulutana, Parangloe, Bili-bili. Dilaporkan bahwa pada Bendungan Bili-Bili terjadi pendangkalan akibat aliran sungai dipenuhi dengan endapan pasir vulkanik yang turun dari mulut kepundan.

Mulut kepundan gunung api tersebut juga telah terbuka ke arah timur masuk ke Salo Balantingen dan Salo Bijiwang yang mengalir ke arah tenggara. Sedangkan kepundan sebelah barat dan barat daya dari foto satelit google masih terlihat utuh dan tidak ada mulut kepundan yang terbuka mengarah ke batang pamukkulu, walaupun terlihat ada jurang pada lereng barat/barat daya yang merupakan hulu sungai Binanga Pamukkulu.

Mempelajari pola aliran batang pamukkulu umumnya masih lurus-lurus dari pola *dendritic* melalui formasi (Qlv) yaitu batuan Gunung Api Lompobatang terdiri dari Konglomerat, Lava, Breksi, Endapan Lahar dan Tufa sampai di kota Malakaji. Sedangkan dari Malakaji ke lokasi Bendungan Pamukkulu, Sungai Binanga Pamukkulu mengalir melalui formasi batuan Gunung Api Batarepe-Cindako

(Tpbv) tersusun batuan beku lava aliran, breksi dan tufa.

Dari hasil data geologi perencanaan dari ujung genangan sampai dengan lokasi as bendungan, aliran air masih deras dan jernih. Dasar sungai merupakan singkapan batu beku lava aliran, sedangkan material *alluvial* sungai umumnya adalah bongkah-bongkah kerakal lepas dan tidak dijumpai adanya pasir.

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 terubah kuat, amigdaloidal dengan mineral sekunder zeolit dan kalsit: mineral galena di Baturape kemungkinan berhubungan dengan terobosan diorit ini; daerah sekitar Baturape dan Cindako batuannya didominasi oleh lava Tpbl. Satuan ini tidak kurang dari 1250 m tebalnya dan berdasarkan posisi stratigrafinya kira-kira berumur Pliosen Akhir. (Sukamto, 1982).

Berdasarkan peta geologi regional tersebut, daerah Bendungan Pamukkulu dan sekitarnya tersusun oleh 5 satuan, dari satuan tertua hingga satuan batuan termuda, yaitu

(1). Formasi Tonasa (Temt)

Formasi Tonasa tersusun oleh batugamping, sebagian berlapis dan sebagian pejal, dengan sisipan napal yang tersebar luas di pesisir Selatan dan Barat Daya daerah rencana Bendungan Pamukkulu. Pelapisan baik setebal 10-30 cm, terlipat lemah dengan kemiringan lapisan rata-rata 25° . Formasi Tonasa terbentuk pada kala Eosen Akhir - Miosen Tengah di lingkungan laut dangkal dengan ketebalan sekitar 1.750 m.

(2) Formasi Camba (Tmc)

Formasi Camba tersusun oleh batuan sedimen terutama terdiri dari; batu pasir tufaan berlapis dengan tufa, batupasir, batulanau, batulempung, dan interkalasi batuan vulkanik (breksi vulkanik) dan dengan napal, batu gamping, dan batu bara, yang menyebar luas di dataran daerah utara dan selatan wilayah proyek. Batuan dasar tersebut dibentuk pada kala Miosen Tengah sampai Pliosen. Bersifat masif dan dengan permeabilitas yang rendah, dan mempunyai ketebalan 4.250 m. Batuan ini menutup Formasi Tonasa secara selaras.

(3) Batuan Gunungapi Baturape - Cindako.(Tpbv)

Satuan batuan ini tersusun oleh batuan vulkanik bersifat basal, tersebar di daerah hulu bendung Pamukkulu. Secara stratigrafi batuan ini berumur Pliosen menindih secara selaras Formasi Camba.

Sebagian besar satuan batuan ini terdiri dari batuan piroklastik yang terendapkan di lingkungan air laut, yaitu breksi vulkanik, tufa lapili, dan diskontinuitas lava basal, kadang-kadang berselingan dengan lapisan tipis batupasir, dengan ketebalan formasi mencapai 1.250 m. Batuan Gunungapi Baturape-Cindako umumnya bersifat keras dan masif pada kondisi lapuk ringan atau segar. Sebagian besar kekar-kekarnya tertutup dan permeabilitasnya rendah.

Penyebaran Batuan Gunungapi Baturape-Cindako umumnya membentuk perbukitan tinggi yang terjal, dan lava basal yang terhampar secara meluas. Kekar tiang dan kekar lembar berkembang pada saat pembekuan lava dan permeabilitasnya menjadi tinggi. Dalam hubungan ini, bagian dari permukaan pengendapan yang tersisa sebagai dataran tinggi, yang dikelilingi oleh tebing tinggi.

(4) Batuan Retas Basal (b)

Beberapa retas basaltik teramati mengintrusi Batuan Gunungapi Baturape-Cindako di daerah tengah Sungai Pamukulu disekitar lokasi proyek bendungan yang diusulkan dan lokasi *Quarry*. Lebar retas maksimum mencapai 3 m dan mereka mengarah baratlaut-tenggara. Basal tersebut bersifat keras, kekar berkembang tetapi mempunyai permeabilitas rendah karena kondisi kekar yang tertutup rapat.

Retas basaltik, terdapat di dataran daerah hilir Sungai Pamukulu adalah merupakan retas skala besar mengintrusi Formasi Camba. Bersifat keras dan berkekar, lebarnya mencapai 10 hingga 30 m dan panjangnya lebih dari 1 km dengan arah timur-barat atau barat laut barat - tenggara timur.

(5) Endapan *Alluvial* Pantai Dan Rawa (Qac)

Alluvial Pantai dan Rawa merupakan satuan endapan kuartar dengan material berukuran lempung, lumpur, pasir, kerikil, dan batugamping koral, terbentuk di lingkungan sungai, rawa dan pantai yang terhampar meluas sepanjang dataran pantai dari Kota Makassar di utara hingga ke Kota Takalar di selatan.

2.1.3 Struktur Geologi Daerah Penelitian

Menurut Hamilton (dalam Rajendra, 2016: 59), 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.

2.2 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. Kecedapannya 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 sesar 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, kededapan 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 diterakan terutama pada tanah tua seperti batulempung yang berkekar dan banyak bidang diskontinuitasnya.

2.3 Material Timbunan Bendungan Batu (*Rockfill*)

Semua material timbunan batu/rockfill untuk zona 3A, 3B, 3C, dan 3D akan diperoleh dari *quarry* dan sumber-sumber lain yang telah disetujui. Material timbunan batu rockfill harus sesuai dengan ketentuan sebagai berikut :

2.3.1 Material 3A

Material timbunan batu terdiri dari batuan bergradasi baik dari batuan basal atau andesit segar (*fresh*) hingga lapuk ringan (*slightly weathered*) dengan nilai kuat tekan 20-40 MPa dengan ukuran maksimum 30 cm.

2.3.2 Material 3B

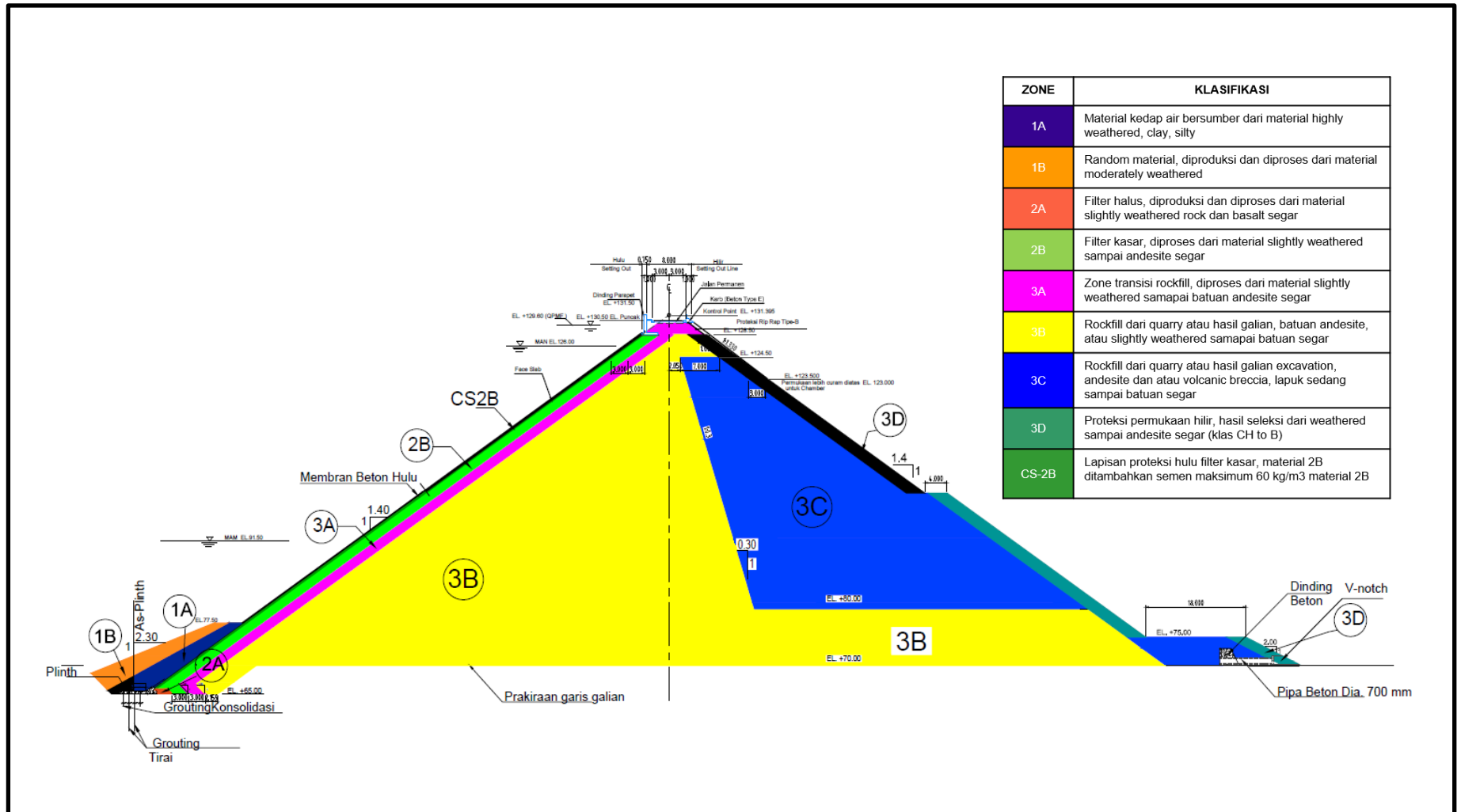
Material timbunan batu terdiri dari batuan bergradasi baik dari batuan basal atau andesit segar (*fresh*) hingga lapuk ringan (*slightly weathered*) dengan nilai kuat tekan 40-70 MPa dengan ukuran maksimum 100 cm.

2.3.3 Material 3C

Material timbunan batu terdiri dari batuan bergradasi baik dari batuan basal atau breksi lapuk ringan (*slightly weathered*) hingga lapuk sedang (*moderately weathered*) dengan nilai kuat tekan 20-40 MPa dengan ukuran maksimum 100 cm.

2.3.4 Material 3D

Material timbunan batu terdiri dari batuan bergradasi baik dari batuan basalt atau andesit *fresh* dan memiliki kuat tekan diatas 70 MPa dan ukuran lebih dari 100 cm.



Gambar 2. 1 Struktur bendungan tipe *Concrete Rock Fill Dam* (Spesifikasi Teknis Bendungan Pamukkulu, 2017)

2.4 Sistem Rock Mass Rating (RMR)

Desain empiris (*empirical design*) merupakan salah satu metodologi desain yang tidak menggunakan metode desain formal (yang pada umumnya menggunakan perhitungan atau persamaan analitis), namun lebih mendasarkan pada pengalaman kumulatif dari berbagai hasil penelitian terdahulu. Sementara itu dalam kaitannya dengan rekayasa batuan, klasifikasi massa batuan (*rock mass classification*) berarti mengumpulkan data dan mengklasifikasikan singkapan batuan berdasarkan parameter - parameter yang telah diyakini dapat mencerminkan perilaku massa batuan tersebut. Salah satu contoh skema klasifikasi yang cukup populer dan yang telah memasukan elemen desain didalamnya yaitu *Rock Mass Rating (RMR)* atau *geomechanics classification system* (Bieniawski, 1989).

Tabel 2. 1 Klasifikasi massa batuan dengan sistem Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1989)

No	Parameter		Pembobotan					
1	Kekuatan Massa Batuan	<i>Point Load Strength Index</i>	> 10 Mpa	4 -10 Mpa	2 - 4 Mpa	1 - 2 Mpa	-	
		<i>Uniaxial compressive Strength</i>	> 250 Mpa	100 – 250 Mpa	50 - 100 Mpa	25 - 50 Mpa	5 – 25 Mpa	1 -5 Mpa
	Bobot	15	12	7	4	2	1	
2	RQD		90 – 100%	75 – 90%	50 – 75%	25-50%	< 25%	
	Bobot		20	17	13	8	3	
3	Jarak Spasi Kekar		> 2 m	0,6 - 2 m	200 - 600 mm	60 - 200 mm	< 60 mm	
	Bobot		20	15	10	8	5	
4	Kemenerusan		< 1 m	1 - 3 m	3 - 10 m	10 - 20 m	> 20 m	
	Bobot		6	4	2	1	0	
	Bukaan		Tidak ada	< 0,1 mm	0,1 - 1 mm	1 - 5 mm	> 5mm	
	Bobot		6	5	4	1	0	
	Kekasaran		Sangat Kasar	Kasar	Sedikit Kasar	Halus	Slickensided	
	Bobot		6	5	3	1	0	
	Material Pengisi		Tidak ada	Keras < 5 mm	Keras > 5 mm	Lunak < 5 mm	Lunak > 5 mm	
	Bobot		6	4	2	2	0	
	Pelapukan		Tidak Lapuk	Sedikit Lapuk	Lapuk Sedang	Sangat Lapuk	Hancur	
Bobot		6	5	3	1	0		
5	Kondisi Air Tanah		Kering (dry)	Lembab (damp)	Basah (wet)	Menetes (dripping)	Mengalir (flowing)	
	Bobot		15	10	7	4	0	

Tabel 2. 2 Kelas massa batuan dengan sistem Rock Mass Rating (RMR) (Bieniawski, 1989)

Bobot	100 – 81	80 – 61	60 – 41	40 - 21	< 21
Kelas	I	II	III	IV	V
Deskripsi	Batuan Sangat Baik	Baik	Batuan Sedang	Batuan Lemah	Batuan Sangat Lemah

Menurut Bieniawski (1989) ada lima parameter dasar yang diukur atau diestimasi secara langsung di lapangan dan laboratorium, meliputi :

1. Kuat tekan uniaksial material batuan (*intact rock*)
2. RQD (*Rock Quality Designation*)
3. Spasi Kekar
4. Kondisi Kekar
5. Kondisi Air Tanah

2.4.1 Kuat Tekan Uniaksial Batuan

- *Uniaxial Compressive Test* (UCS)

Sampel batuan yang diuji berasal dari *core* yang dipilih berdasarkan kenampakan yang masih utuh tanpa gangguan diskontinuitas dan dipilih litologi yang mewakili daerah penelitian. Sampel ini diuji dalam bentuk silinder dengan perbandingan tinggi dan diameter (l/D) tertentu dimana perbandingan ini akan sangat berpengaruh pada nilai UCS yang dihasilkan. Semakin besar perbandingan panjang terhadap diameter, kuat tekan akan semakin kecil. Sampel kemudian ditekan dari satu arah (*uniaxial*) menggunakan mesin (Widiyaningsih, dkk, 2015).

Tabel 2. 3 Klasifikasi Kekuatan Masa Batuan Berdasarkan Uji *Uniaxial Compressive Strength* ISRM, 1978)

No	Klasifikasi	UCS $\sigma_c = \dots$ MPa
1	Ekstrim rendah / ekstrim lemah	< 1
2	Sangat rendah / sangat lemah	1 - 5
3	Rendah / lemah	5 - 25
4	Sedang / Kuat Sedang	25 - 50
5	Tinggi / Kuat	50 - 100
6	Sangat tinggi / Sangat kuat	100 - 250
7	Ekstrim tinggi / Ekstrim kuat	> 250

2.4.2 Rock Quality Designation (RQD)

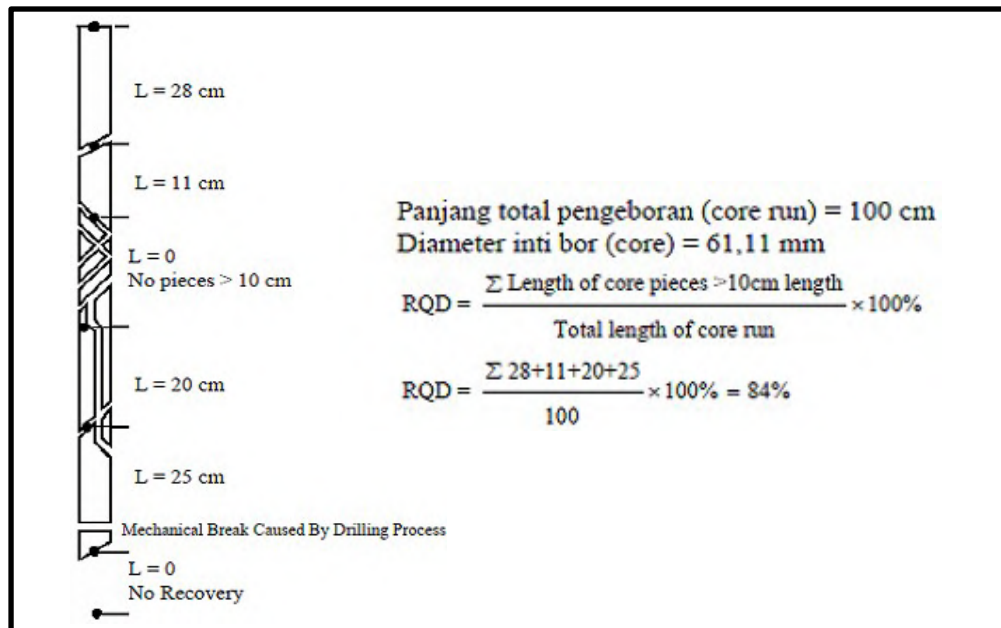
Pada tahun 1966 Deere memperkenalkan *Rock Quality Designation* (RQD) sebagai sebuah petunjuk untuk memperkirakan kualitas dari massa batuan secara kuantitatif. Sama seperti parameter UCS, terdapat dua metode untuk mendapatkan nilai RQD adalah sebagai berikut.

- Perhitungan RQD melalui hasil *core*

RQD didefinisikan sebagai persentase dari perolehan inti bor (*core*) yang secara tidak langsung didasarkan pada jumlah bidang lemah dan jumlah bagian yang lunak dari massa batuan yang diamati dari inti bor (*core*). Dengan kata lain, RQD adalah ukuran sederhana dari persentasi perolehan batuan yang baik dari sebuah interval kedalaman lubang bor.

Tabel 2. 4 Hubungan RQD dan kualitas batuan (Deere, 1966)

Kualitas Batuan	RQD (%)
Sangat Buruk	< 25
Buruk	25 - 50
Sedang	50 - 75
Baik	75 - 90
Sangat Baik	90 - 100



Gambar 2. 4 Cara menghitung nilai RQD (Deere, 1966)

2.4.3 Spasi Kekar

Jarak antar (spasi) bidang diskontinu didefinisikan sebagai jarak tegak lurus antara dua diskontinuitas berurutan sepanjang garis pengukuran yang dibuat sembarang (Widiyaningsih, dkk, 2015).

Menurut ISRM (1981), jarak antar (spasi) diskontinuitas adalah jarak tegak lurus antara bidang diskontinu yang berdekatan dalam satu set diskontinuitas.

Tabel 2. 5 Klasifikasi spasi kekar (ISRM, 1981)

Deskripsi	Spasi Kekar
Sangat Lebar	> 2 m
Lebar	0,6 – 2 m
Sedang	200 – 600 mm
Rapat	60 -200 mm
Sangat Rapat	< 60 mm

2.4.4 Kondisi Kekar

Beberapa parameter yang digunakan oleh Bieniawski dalam memperkirakan kondisi permukaan bidang diskontinu. Parameter tersebut adalah sebagai berikut.

- Kemenerusan (*persistence*)

Persistence didefinisikan sifat kemenerusan dari bidang – bidang kekar yang didefinisikan sebagai panjang dari kekar pada massa batuan dan dapat diukur panjangnya. Kemenerusan ditentukan dengan mengamati dan mengukur panjang dari bidang kekar di massa batuan. Klasifikasi kemenerusan dapat dilihat pada tabel 2.6 (ISRM, 1981)

Tabel 2. 6 Klasifikasi kemenerusan (ISRM, 1981)

Deskripsi	Panjang Kekar
Sangat Rendah	< 1 meter
Rendah	1 - 3 meter
Sedang	3 - 10 meter
Tinggi	10 - 20 meter
Sangat Tinggi	>20 meter

- Lebar bukaan (*aperture*)

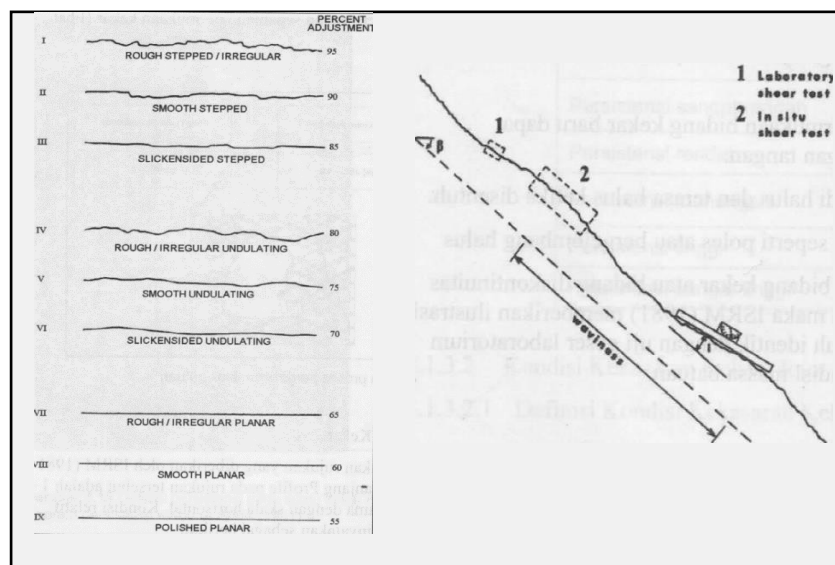
Aperture didefinisikan sebagai lebar celah pada permukaan ketidakmenerusan mengendalikan permukaan bidang kekar yang berhadapan agar saling mengunci. Lebar bukaan mengendalikan permukaan ketidakmenerusan yang berhadapan agar saling mengunci pada waktu tidak mengunci maka isian ketidakmenerusan mengendalikan kuat geser ketidakmenerusan (Rai, 2013).

Tabel 2. 7 Klasifikasi kondisi bukaan kekar (ISRM, 1981)

Aperture (mm)	Deskripsi	Panjang Kekar
< 0,1	Sangat Terkunci Rapat	Rekahan Tertutup
0,1 – 0,25	Terkunci Rapat	
0,25 – 0,5	Sebagian Terbuka	
0,5 – 2,5	Terbuka	Rekahan Celah
2,5 – 10	Terbuka Lebar	
10 – 100	Terbuka Sangat Lebar	Rekahan Terbuka
100 – 1000	Sangat Lebar Sekali	
> 1000	Celah Besar	

• Kekasaran (*roughness*)

Tingkat kekasaran permukaan kekar dapat dilihat dari bentuk gelombang permukaannya. Gelombang ini diukur relatif dari permukaan datar dari kekar. Semakin besar kekasaran dapat menambah kuat geser kekar dan dapat juga mengubah kemiringan pada bagian tertentu dari kekar tersebut (ISRM, 1981).



Gambar 2. 9 Profil kekasaran kekar (ISRM, 1981)

- Material pengisi (*infilling/gouge*)

Material pengisi berada pada celah antara dua dinding bidang kekar yang berdekatan. Beberapa material yang dapat mengisi celah diantaranya *breccia, clay, silt, mylonite, gouge, sand, quartz* dan *calcite* (ISRM, 1981).

- Tingkat pelapukan (*weathering*)

Penentuan tingkat pelapukan kekar didasarkan pada perubahan warna pada batuan dan terdekomposisinya batuan atau tidak. Semakin besar tingkat perubahan warna dan tingkat terdekomposisi, batuan semakin lapuk (ISRM, 1981).

Tabel 2. 8 Klasifikasi tingkat pelapukan (ISRM, 1981)

Kelas	Jenis	Deskripsi
I	Segar	Tidak ada tanda – tanda pelapukan, warna tidak berubah, batuan segar, warna kristal terang
II	Pelapukan Sedikit	Terjadi perubahan warna pada butiran batuan dan permukaan diskontinu. Batuan terdekomposisi menjadi tanah . Batuan segar dan atau yang hanya mengalami perubahan warna masih tetap ada
III	Pelapukan Sedang	Kurang dari setengah pada butiran batuan terdekomposisi menjadi tanah. Batuan segar dan atau yang hanya mengalami perubahan warna masih tetap ada
IV	Pelapukan Tinggi	Batuan yang dalam kondisi masih segar atau yang mengalami perubahan warna pada tekstur batuan masih tetap ada terlihat
V	Pelapukan Sangat Tinggi	Seluruh material batuan terdekomposisi menjadi tanah. Struktur massa batuan yang asli masih ada
VI	<i>Soil</i>	Seluruh material batuan berubah menjadi tanah. Ada perubahan volume tetapi tanah tidak tertransport.

2.4.5 Kondisi Air Tanah

Pengamatan kondisi air tanah dilakukan dengan memperhatikan kondisi umum dengan kategori kering (*dry*), lembab (*damp*), basah (*wet*), menetes (*dripping*), dan mengalir (*flowing*) (Bieniawski, 1989).

2.5 Klasifikasi Batuan

Klasifikasi tipe batuan untuk teknis geologi adalah berdasarkan klasifikasi Crieipi dan Dr K. Kikuci, Mr K. Saito & Mr K. Kusunoki, ICOLD, Mei, 1982. Klasifikasi ini digunakan untuk menentukan suatu kelas batuan berdasarkan tingkat pelapukan suatu batuan.

Tabel 2. 9 Klasifikasi Massa Batuan oleh *Central Research Institute of Electric Power Industry* (CRIEPI 1992), Japan

Kelas	Deskripsi
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. <i>Suara dengan pukulan palu jelas.</i>
B	Massa batuan padat/kompak. Tidak ada kekar terbuka dan celah (bahkan 1 mm). Mineral & butiran penyusun batuan mengalami sedikit pelapukan maupun alterasi sebagian. <i>Suara dengan pukulan palu jelas.</i>
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. <i>Suara pukulan palu agak lemah/redup.</i>
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. <i>Suara dengan pukulan palu agak lemah/redup.</i>

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. Suara dengan pukulan palu lemah/redup.
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. Suara dengan pukulan palu sangat lemah/redup.

Tabel 2. 10 *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. 11 Klasifikasi Kekuatan Batuan oleh Kikuchi, Saito dan Kusumoki (CRIEPI,1992)

Rock Class	Rock Grade	Uni-axial Compress strength (kg/cm ²)	Static modulus of elasticity (kg/cm ²)	Modulus of deformation (kg/cm ²)	Shear Strength		Velocity of elastic wave (kg/sec)
					Cohesion (kg/cm ²)	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. 12 Tabel kekuatan batuan menurut Kikuchi (1992 dalam CRIEPI)

<i>Rock group</i>	<i>Uni-axial compressive strength (kgf/cm²)</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>

2.6 Tingkat Pelapukan Batuan

Penilaian pelapukan pada massa batuan di lapangan mengacu pada klasifikasi pelapukan batuan menurut International *Society for Rock Mechanics* (ISRM), seperti pada tabel dibawah ini :

Tabel 2. 13 Klasifikasi tingkat pelapukan pada massa batuan (ISRM, 1981)

Istilah	Derajat Pelapukan	Singkatan	Deskripsi
Batuan Segar (<i>Fresh Rock</i>)	I	FR	Tidak ada tanda-tanda agregat mengalami pelapukan. Mungkin ada sedikit perubahan warna pada permukaan bidang lemah.
Lapuk Ringan (<i>Slightly Weathered</i>)	II	SW	Kekuatan agregat dalam golongan ini, sedikit lebih lemah daripada agregat golongan derajat pelapukan I. Dapat mengalami perubahan warna pada agregat yang rusak atau pada permukaan bidang lemah.
Lapuk Sedang (<i>Moderately Weathered</i>)	III	MW	Kurang dari setengah agregat terdekomposisi dan atau terdisintegrasi menjadi tanah. Agregat mengalami perubahan warna yang jauh lebih kontras, hingga mencapai bagian yang lebih dalam.

Lapuk Tinggi (<i>Highly Weathered</i>)	IV	HW	Lebih dari setengah agregat terdekomposisi dan atau terdisintegrasi menjadi tanah. Agregat mengalami perubahan warna yang jauh lebih kontras, hingga mencapai bagian yang lebih dalam.
Lapuk Sempurna (<i>Completely Weathered</i>)	V	CW	Seluruh massa agregat berubah menjadi tanah oleh dekomposisi kimia atau disintegrasi fisik. Struktur massa asli sebagian masih utuh.
Tanah Residu (<i>Residual Soil</i>)	VI	RS	Seluruh agregat telah berubah menjadi tanah dimana kemas (<i>fabric</i>) agregat asal telah rusak.

2.7 Peledakan (*Blasting*)

Peledakan (*blasting*) adalah proses pembeeraan material (*rock loosening*) yang memanfaatkan energi ledak dari hasil reaksi bahan-bahan peledak. Teknik peledakan digunakan sesuai dengan tujuan peledakan dan proses pekerjaan selanjutnya yang berhubungan dengan hasil peledakan untuk mendapatkan fragmentasi yang seragam dan sesuai dengan ukuran yang diharapkan maka harus memperhatikan desain ledakan dan keadaan geologi lapisan batuan (Sujiman dkk)

Suatu proses peledakan biasanya dilakukan dengan cara membuat lubang tembak yang diisi dengan sejumlah bahan peledak, dengan penerapan metode peledakan, geometri peledakan dan jumlah bahan peledak sesuai untuk mendapatkan hasil yang diinginkan. (Dokumen UKL-UPL PT Gilgal Batu Alam Lestari, 2018).

2.8 Faktor-Faktor yang Mempengaruhi Peledakan

Terdapat dua faktor yang mempengaruhi kegiatan peledakan, yaitu faktor rancangan yang tidak dapat dikendalikan (*uncontrollable variable*) dan faktor rancangan yang dapat dikendalikan (*controllable variable*).

2.8.1 Faktor Rancangan yang Tidak Dapat Dikendalikan

Faktor rancangan yang tidak dapat dikendalikan adalah faktor-faktor yang berpengaruh dan tidak dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia.

1. Karakteristik Massa Batuan

Parameter karakteristik massa batuan yang perlu diperhatikan dalam kaitannya dengan fragmentasi batuan yaitu kekerasan batuan, kekuatan batuan, elastisitas batuan, cepat rambat gelombang pada batuan, serta kuat tekan dan kuat Tarik batuan yang akan diledakkan.

2. Kekerasan Batuan (*Hardness*)

Kekerasan (*hardness*) dianggap sebagai ketahanan dari sebuah permukaan lapisan yang akan digores oleh bagian lain yang lebih keras. Berdasarkan tingkat kekerasannya, batuan dapat diklasifikasikan dengan skala (Jimeno er al,1995) seperti terlihat pada tabel :

Tabel 2. 14 Tingkat Kekerasan Batuan Berdasarkan Skala Mohs.

Classification	Mohs Scale of Hardness	Compressive Strength (MPa)
Very Hard	+7	+200
Hard	6 – 7	120 – 200
Medium Hard	4,5 – 6	60 – 120
Medium Soft	3 – 4,5	30 – 60
Soft	2 – 3	10 – 30
Very Soft	1 – 2	-10

3. Kekuatan Batuan

Kekuatan batuan adalah suatu sifat kekuatan untuk melawan kerusakan terhadap gaya luar, baik itu kekuatan statik maupun dinamik. Kekuatan dinyatakan dengan nilai kuat tekan (*compressive strength*). Semakin tinggi kuat tekan dan kuat

Tarik dari batuan maka batuan tersebut akan semakin sulit untuk diberai (Bhandari, 1997).

4. Elastisitas Batuan

Elastisitas batuan adalah sifat kecendrungan batuan untuk kembali ke bentuk atau keadaan semula setelah gaya yang diberikan dihilangkan. Elastisitas batuan biasanya dideskripsikan dalam modulus young. Yaitu perbandingan dari beda tegangan dan regangan aksial pada kurva tegangan-regangan. Apabila modulus young dari batuan tersebut tinggi, sehingga tekanan gas minimal harus 5% lebih kecil dari modulus young untuk peledakan yang efisien (Bhandari, 1997).

5. Abrasivitas Batuan

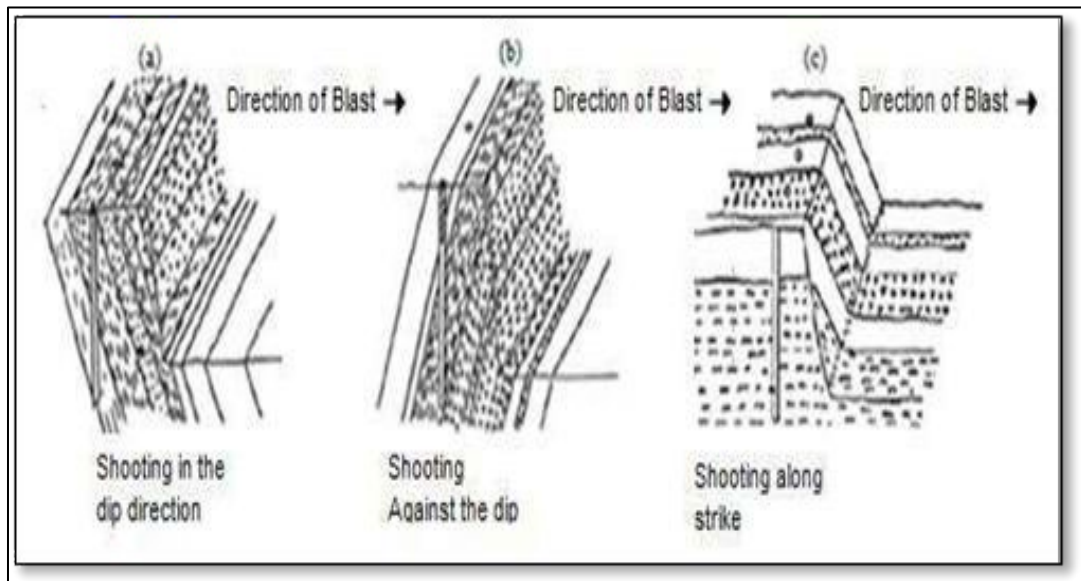
Abrasivitas batuan tergantung kepada mineral penyusun batuannya. Kandungan kuarsa (SiO_2) dari suatu batuan dianggap dapat menjadi petunjuk untuk mengetahui tingkat abrasivitas dari batuan.

6. Struktur Geologi

Variabel struktur geologi yang mempengaruhi kegiatan peledakan adalah struktur rekahan (kekar) dan struktur perlapisan batuan. Adanya bidang diskontinu ini dapat mempengaruhi distribusi energi ledakan.

Secara teoritis bila arah peledakan searah dengan arah kemiringan bidang perlapisan, maka kemungkinan terjadinya *backbreak* akan kecil, lantai jenjang tidak rata, tetapi fragmentasi yang dihasilkan akan seragam dan lemparan batuan tidak terlalu jauh. Sedangkan jika arah peledakan dibuat berlawanan dengan arah kemiringan bidang perlapisan maka kemungkinan timbulnya *backbreak* lebih besar, lantai jenjang rata, fragmentasi batuan tidak seragam, batuan akan terlempar lebih

jauh, serta kemungkinan terjadinya longsor akan lebih besar. Massa batuan yang memiliki bidang lemah tegak lurus dengan muka jenjang, umumnya mempunyai hasil peledakan yang paling baik dibandingkan pada massa batuan dengan orientasi lain .



Gambar 2. 12 Struktur Geologi Pada Perlapisan Batuan (Hustrulid, 1999)

7. Pengaruh keberadaan air

Kandungan air dengan jumlah tertentu dapat mempengaruhi stabilitas sifat kimiawi bahan peledak dalam lubang ledak, terutama peledak ANFO. Kerusakan sebagian isian bahan peledak dapat mengurangi energi peledakan, atau bahkan isian akan gagal meledak (*misfire*). Untuk mengatasi pengaruh air maka menggunakan bahan peledak *emulsion* dan kondom plastik yang diletakkan pada lubang ledak yang terisi air.

2.8.2 Faktor Rancangan yang Dapat Dikendalikan

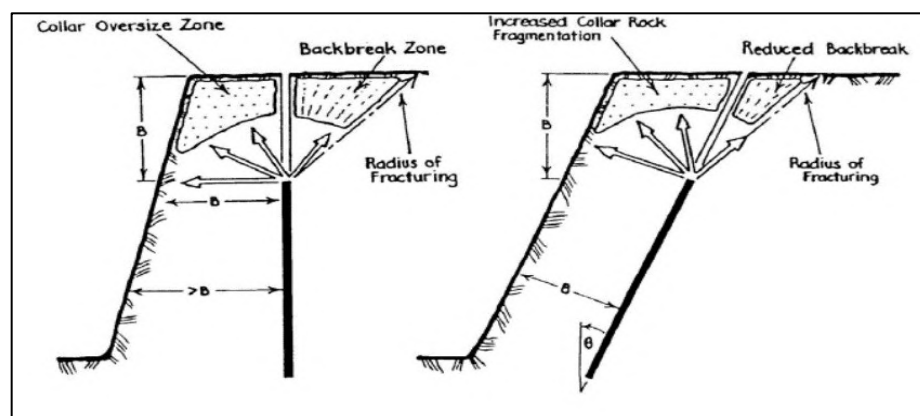
Faktor rancangan yang dapat dikendalikan oleh kemampuan manusia dalam merancang suatu peledakan untuk memperoleh hasil peledakan yang diharapkan. Adapun faktor-faktor tersebut adalah :

1. Diameter lubang ledak

Ketika diameter lubang ledak kecil maka biaya pengeboran *priming*, dan inisiasi akan tinggi serta pengisian bahan peledak *stemming* akan lebih sulit. Ketika diameter lubang ledak besar, pola pengeboran secara langsung akan membesar dan distribusi fragmentasi tidak seragam jika bidang-bidang diskontinu tersebar secara luas.

2. Kemiringan Lubang (*Hole Inclination*)

Jenis lubang ledak secara teoritis ada dua, yaitu lubang ledak tegak dan lubang ledak miring. Menurut Mc Gregor K. (1967), kemiringan lubang ledak antara 10° – 20° terhadap bidang vertikal yang biasanya digunakan pada tambang terbuka secara umum telah memberikan hasil yang baik.



Gambar 2. 15 Kemiringan Lubang Peledakan (Hustrulid, 1999)

Untuk fragmentasi batuan hasil peledakan lubang ledak miring lebih menghasilkan ukuran fragmentasi yang seragam bila dibandingkan dengan lubang ledak tegak. Hal ini disebabkan pada lubang ledak miring, bidang bebas yang terbentuk lebih luas dan hilangnya energi peledakan pada lantai jenjang lebih sedikit. Serta kemungkinan berkurangnya *backbreak* pada lubang ledak miring.

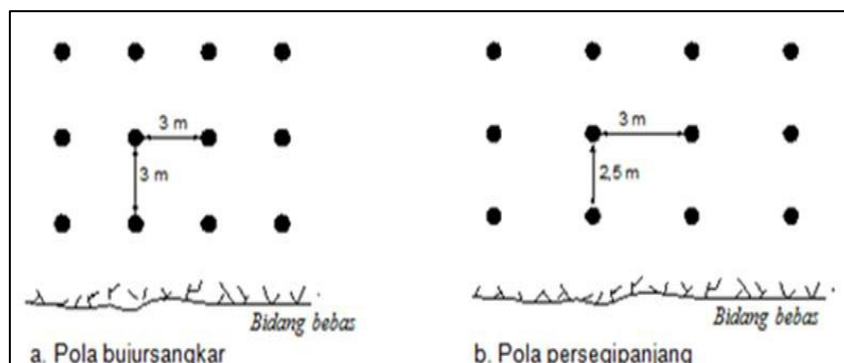
3. Pola Pemboran

Berdasarkan letak lubang ledak, maka pola pemboran terbagi menjadi dua macam, yaitu pola pemboran sejajar (*parallel pattern*) dan pola pengeboran selang-seling (*straggered pattern*).

a) *Parallel Pattern*

Merupakan pola pemboran dengan lubang ledak sejajar terhadap baris lubang ledak lainnya, berdasarkan perbandingan antara jarak *burden* dan spasi pola pengeboran sejajar menjadi dua, yaitu :

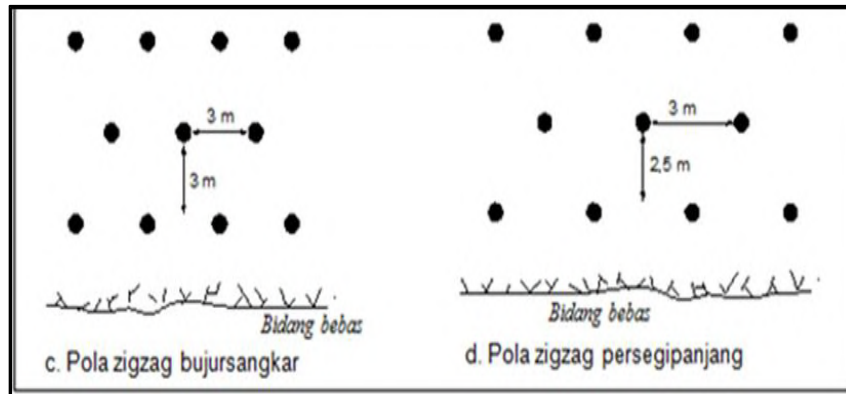
- i. *Square Pattern*, memiliki jarak *spacing* dan *burden* sama.
- ii. *Rectangular Pattern*, memiliki besar jarak spasi lebih besar dibanding *burden*.



Gambar 2. 18 Pola Pemboran Peledakan (Konya, 1990)

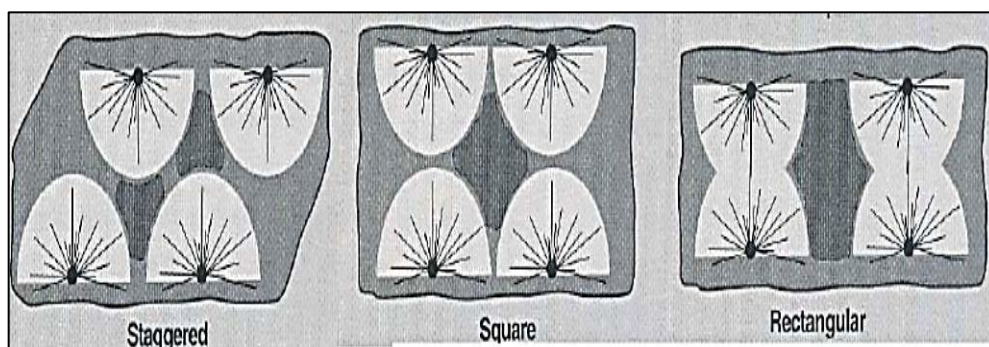
b) *Staggered Pattern*

Merupakan pola pemboran dengan lubang ledak antara satu baris dengan baris yang lainnya tidak saling sejajar



Gambar 2. 21 Pola Pemboran Peledakan (Konya, 1990)

Penentuan pola pengeboran yang baik untuk digunakan dalam suatu rancangan harus mempertimbangkan cakupan energi yang efektif dari volume batuan yang diledakkan, pola staggered pattern dengan $S/B = 1,15$ mempunyai cakupan energi yang paling optimal (AECI 1978, dalam William Hustrulid 1999).



Gambar 2. 24 Cakupan Energi Ledakan (Hustrulid, 1999)

2.9 Pola Peledakan

Pola peledakan menunjukkan urutan ledak setiap lubang pada suatu blok peledakan. Urutan peledakan mengindikasikan bahwa adanya jeda waktu diantara lubang ledak yang disebut *delay time*.

Penggunaan *delay time* memiliki beberapa keuntungan, yaitu sebagai berikut :

1. Mengurangi getaran (*ground vibration*)
2. Mengurangi *overbreak*
3. Mengurangi *airblast*
4. Dapat mengarahkan lemparan batuan yang diledakkan

Pola peledakan dibedakan berdasarkan arah lemparan batuan. Pemilihan pola peledakan juga didasari pada ketersediaan bidang bebas (*free face*) pada area yang akan diledakkan.

Berdasarkan arah runtuh batuan, pola peledakan dibedakan menjadi sebagai berikut :

a) *Box Cut*

Pola peledakan yang arah lemparan batuan ke depan dan membentuk pola seperti kotak. Pola peledakan ini digunakan pada area yang tidak memiliki bidang bebas.

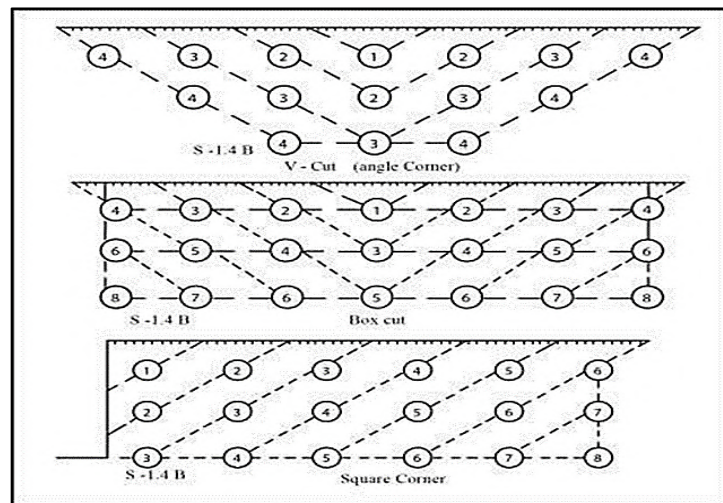
b) *V-Cut (Chevron)*

Pola peledakan yang arah lemparannya membentuk seperti huruf “V”

c) *Corner Cut (Echelon)*

Pola peledakan yang memiliki dua bidang bebas dan arah lemparan batuan ke salah satu dari dua bidang bebas tersebut.

Pada penerapannya pola peledakan beruntun lebih sering dipergunakan, karena dengan adanya waktu tunda antara lubang ledak dapat memberikan fragmentasi yang baik dan control terhadap *flyrock* dan *ground vibration*.



Gambar 2. 27 Pola Ledakan (Konya, 1990)

2.10 Penentuan Geometri Peledakan

1. *Burden* (B)

Burden adalah jarak dari lubang ledak dengan bidang bebas yang terdekat ke arah mana perpindahan batuan akan terjadi. Pada daerah ini energi ledakan adalah yang terkuat dan yang pertama kali bereaksi pada bidang bebas. Jarak *burden* yang baik adalah jarak yang memungkinkan energi secara maksimal dapat bergerak keluar dari kolom isian menuju bidang bebas dan dipantulkan kembali dengan kekuatan yang cukup untuk melampaui kuat tarik batuan sehingga akan terjadi penghancuran. Nilai *burden* yang optimum akan menghasilkan fragmentasi batuan yang sesuai dan perpindahan dari pecahan batuan sesuai dengan yang diinginkan. Jarak *burden* yang terlalu kecil akan menyebabkan batu terbang (*fly rock*) dan suara yang keras (*noise*). Sedangkan jarak *burden* yang terlalu besar akan menghasilkan bongkah dan akan menyebabkan batuan disekitar *burden* tidak akan hancur.

2. *Spacing* (S)

Spacing merupakan jarak antara lubang-lubang tembak yang dirangkai dalam satu baris dan diukur sejajar terhadap dinding jenjang. *Spacing* yang lebih kecil dari ketentuan akan menyebabkan ukuran batuan hasil peledakan terlalu hancur. Tetapi jika *spacing* lebih besar dari ketentuan akan menyebabkan banyak terjadi bongkah (*boulder*) dan tonjolan (*stump*) diantara dua lubang ledak setelah peledakan.

3. *Stemming* (T)

Stemming adalah lubang ledak bagian atas yang tidak diisi bahan peledak, biasanya diisi oleh abu hasil pemboran atau material berukuran kerikil dan dipadatkan diatas bahan peledak. Ukuran *stemming* yang terlalu pendek menyebabkan energi terbuang sia-sia dan menghasilkan *fly rock*. *Stemming* terlalu besar menyebabkan tidak kuatnya energi untuk membongkar batuan bagian atas. Ukuran *stemming* yang optimum dapat menghasilkan kegiatan peledakan yang optimum.

4. *Subdrilling* (U)

Subdrilling adalah bagian dari lubang bor yang terletak di bawah dasar jenjang. Pada peledakan jenjang, bagian dasar merupakan bagian yang paling sukar hancur, disebabkan tegangan tarik pada bagian tersebut kecil dan material tertahan bagian lain di bawahnya. Hal ini menyebabkan terjadinya tonjolan (*toe* di bagian bawah jenjang).

5. Kedalaman Lubang (H)

Kedalaman lubang tembak merupakan penjumlahan dari besarnya tinggi jenjang dengan *subdrilling*. Kedalaman lubang ledak biasanya disesuaikan dengan tingkat produksi (kapasitas alat muat) dan pertimbangan geoteknik.

2.11 Perhitungan Fragmentasi Metode Kuz-Ram

Fragmentasi merupakan batuan hasil peledakan yang dapat menjadi parameter tingkat keberhasilan dari suatu kegiatan peledakan. Peledakan yang tidak optimal dapat menimbulkan fragmentasi yang besar dan tidak seragam sehingga dalam penanganan lebih lanjut untuk pemuatan akan mengalami beberapa kendala.

Rumus perhitungan Kuz-Ram sebagai berikut :

$$X = A \times \left[\frac{V}{Q} \right]^{0.8} \times Q^{0.17} \times \left(\frac{E}{115} \right)^{-0.63} \quad (1)$$

Keterangan :

X = Ukuran Fragmentasi rata-rata (cm)

A = Faktor batuan

V_o = Volume batuan per lubang tembak (BxSxL dalam M³)

Q = Jumlah bahan peledak pada setiap lubang ledak (kg)

E = Relative Weight Strenght bahan peledak, untuk :

(ANFO=100, TNT = 115, Dabex 73 = 77)

Untuk menentukan distribusi fragmen batuan hasil peledakan digunakan persamaan Rossin – Ramler (Cunningham, 1983), yaitu:

$$R_x = e^{-\left(\frac{x}{xc}\right)^n} \quad (2)$$

R merupakan persentase material yang tertahan pada ayakan. Hal ini dapat diartikan yaitu bila dilakukan pengayakan, maka terdapat material yang tidak lolos di setiap level *mesh* ayakan.

Keterangan :

R_x = Persentase massa batuan yang tertahan dengan ukuran X (cm)

X_c = Karakteristik ukuran batuan (cm)

X = Ukuran Ayakan (*Screen*) (cm)

n = Indeks Keseragaman

e = Epsilon (2,71828)

X_c dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$X_c = \frac{X_1}{(0.693)^{1/n}} \quad (3)$$

Ada dua cara yang bisa digunakan untuk mengontrol ukuran fragmentasi hasil peledakan, yaitu memastikan kecukupan jumlah energi yang dihasilkan bahan peledak di dalam massa batuan dan pelepasan energi yang baik agar terjadi interaksi yang tepat. Bahan peledak harus ditempatkan sesuai konfigurasi geometri yang tepat sehingga energi yang dihasilkan optimum untuk menghasilkan fragmentasi yang baik.

Konfigurasi geometri ini disebut pola peledakan. Jika waktu inisiasi tidak tepat, maka dapat terjadi perbedaan pada tingkat hancuran batuan, energi getaran, energi suara, *flyrock*, dan *backbreak*.

2.12 Faktor yang Mempengaruhi Fragmentasi Hasil Peledakan

Faktor yang berpengaruh dalam pemboran dan peledakan ada yang bersifat tidak dapat dikendalikan karena prosesnya terjadi secara alami. Faktor-faktor tersebut antara lain:

1. *Specific Gravity Influence (SGI)*

Specific Gravity Influence (SGI) adalah sifat batuan terkait berat jenis dan prioritasnya. Batuan dengan bobot isi kecil pada umumnya lebih mudah mengalami deformasi dan memerlukan energi peledakan yang rendah untuk pemecahannya. Porositas menyatakan banyaknya jumlah pori dalam batuan. Porositas batuan yang besar mengindikasikan banyaknya ruang antar butir dalam batuan. Peningkatan porositas akan menghambat penjarangan gelombang kejut yang secara dominan menghasilkan *boulder*.

2. *Joint Plane Spacing (JPS)*

Joint Plane Spacing adalah jarak antara dua bidang lemah yang berurutan. Semakin jauh jarak antar bidang lemah (>2000mm), batuan dapat dikatakan memiliki bidang perlapisan yang sangat tebal. Sedangkan bila jarak antar bidang lemah kecil (<20mm), maka batuan dikatakan terdiri dari laminasi tipis atau sedimentasi.

3. *Joint Plane Orientation (JPO)*

Dalam operasi peledakan, orientasi bidang lemah utama pada massa batuan dapat mengakibatkan hal-hal berikut:

- a. Untuk orientasi bidang lemah utama dengan kemiringan mengarah kedalam pit, blok batuan pada *crest* berpotensi mengakibatkan ketidakmampuan lereng.
- b. Orientasi bidang lemah utama dengan kemiringan mengarah ke dalam massa batuan, operasi peledakan berpotensi meninggalkan *toe* yang tidak hancur serta batuan menggantung sehingga dapat membahayakan keselamatan pekerja dan alat.

- c. Kedudukan bidang lemah utama yang sejajar dengan bidang bebas atau tegak lurus arah peledakan akan menghasilkan lereng yang mantap setelah peledakan dan arah lemparan dapat terkontrol.
- d. Dan untuk orientasi bidang lemah utama yang membentuk sudut terhadap bidang bebas, hasil pembongkaran akan mengakibatkan muka jenjang berbentuk blok dan hancuran yang berlebih.

Semua faktor tersebut dijadikan sebagai data pembobotan massa batuan untuk peledakan agar didapatkan nilai faktor batuan berdasarkan indeks kemampuledakkan atau *blastability index* (BI). Nilai BI dapat ditentukan dari penjumlahan pembobotan lima variabel yang diberikan oleh Lily (dalam Hustrulid, 1999: 107-108) yaitu: *Rock mass Description* (RMD), *Joint Plane Spacing* (JPS), *Joint Plane Orientation* (JPO), *Specific Gravity Influence* (SGI), *Mohs's Hardness*

Tabel 2. 15 *Rock Blastability Index* (Lily, 1986)

Parameter	Pembobotan
1. <i>Rock Mass Description</i> (RMD)	
<i>Powdery / friable</i>	10
<i>Blocky</i>	20
<i>Totally Massive</i>	30
2. <i>Joint Plane Spacing</i> (JPS)	
<i>Close</i> (Spasi > 0,1 m)	10
<i>Intermediate</i> (Spasi 0,1-1 m)	20
<i>Wide</i> (Spasi > 1 m)	50
3. <i>Joint Plane Orientation</i> (JPO)	
<i>Horizontal</i>	10
<i>Dip out of Face</i>	20
<i>Strike Normal to Face</i>	30
<i>Dip into Face</i>	40
4. <i>Specific Gravity Influence</i> (SGI)	$SGI = 25 \times SG - 50$
5. <i>Hardness</i> (H) dalam Skala Mohs	1 - 10