

**SKRIPSI**

**ANALISIS KEKUATAN BATUAN MENGGUNAKAN UJI KUAT  
TEKAN *UNI*AKSIAL DAN UJI *SCHMIDT*  
*HAMMER* BERDASARKAN DERAJAT  
PELAPUKAN PADA BATUAN BASAL**

**Disusun dan diajukan oleh:**

**MUHAMMAD NUR AKMAL SOFYAN  
D621 16 019**



**PROGRAM STUDI SARJANA TEKNIK PERTAMBANGAN  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2023**

## LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI

### ANALISIS KEKUATAN BATUAN MENGGUNAKAN UJI KUAT TEKAN *UNI*AKSIAL DAN UJI *SCHMIDT* *HAMMER* BERDASARKAN DERAJAT PELAPUKAN PADA BATUAN BASAL

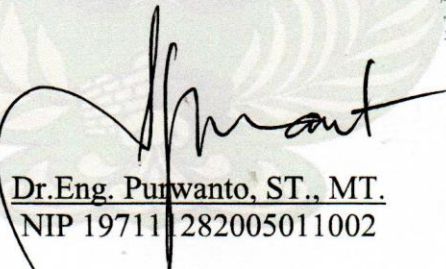
Disusun dan diajukan oleh

**Muhammad Nur Akmal Sofyan**  
**D621 16 019**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian  
Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Pertambangan  
Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin  
Pada tanggal 31 Maret 2023  
dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

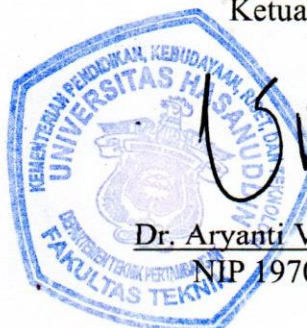
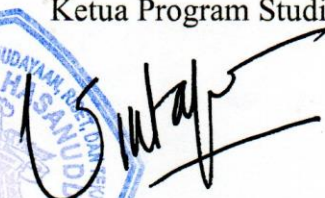
Menyetujui,

Pembimbing Utama,



Dr. Eng. Purwanto, ST., MT.  
NIP 197111282005011002

Ketua Program Studi,



Dr. Aryanti Virtanti Anas, ST., MT.  
NIP 197010052008012026



## PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Muhammad Nur Akmal Sofyan

NIM : D621 16 019

Program Studi : Teknik Pertambangan

Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

(**Analisis Kekuatan Batuan Menggunakan Uji Kuat Tekan *Uniaksial* Dan Uji *Schmidt Hammer* Berdasarkan Derajat Pelapukan Pada Batuan Basal**)

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 skripsi 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, 3 Mei 2023

Yang Menyatakan



Muhammad Nur Akmal Sofyan

## ABSTRAK

Batuan basal merupakan jenis batuan yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan konstruksi bangunan pada bidang sipil dan pertambangan. Salah satu wilayah pada kabupaten gowa yang menjadi pusat penambangan batuan basal adalah Kecamatan Patalassang. Tingkat pelapukan batuan merupakan salah satu parameter yang mempengaruhi kekuatan batuan. Variabilitas kekuatan batuan terjadi akibat adanya ketidakseragaman pada pelapukan batuan. Penelitian ini bertujuan untuk melihat kualitas kekuatan batuan sebagai bahan dasar pondasi bangunan yang di pengaruhi oleh derajat pelapukan batuan. Metode pengujian yang digunakan pada penelitian ini adalah karakterisasi derajat pelapukan, pengujian *Schmidt Hammer*, uji mineralogi, pengujian sifat fisik, pengujian kuat tekan uniaksial, dan analisis regresi linear sederhana. Terdapat 4 jenis derajat pelapukan pada hasil penelitian yaitu derajat pelapukan II, derajat pelapukan III, derajat pelapukan IV, dan derajat pelapukan V. Rata-rata nilai kuat tekan uniaksial pada derajat pelapukan II sebesar 94,61 MPa, derajat pelapukan III sebesar 81,26, derajat pelapukan IV sebesar 52,22 Mpa. Penurunan nilai kuat tekan pada setiap derajat pelapukan meng-indikasikan adanya pengaruh yang kuat negatif (berbanding terbalik). Hasil analisis regresi linear nilai kuat tekan terhadap nilai pantul Schmidt Hammer berdasarkan derajat pelapukan adalah  $UCS = 1,1478 SCH + 39,464$ , dengan nilai koefisien determinasi ( $R^2$ ) adalah 0,9271, dan koefisien korelasi ( $R$ ) adalah 0.9628. Hasil validasi data menggunakan metode MAPE pada derajat pelapukan II sebesar 2,49%, derajat pelapukan III sebesar 6,84%, dan derajat pelapukan IV sebesar 5,34%

**Kata kunci:** Kekuatan batuan, nilai kuat tekan uniaksial, *Schmidt Hammer*, derajat pelapukan, analisis regresi, validasi

## **ABSTRACT**

*Basalt rock is a type of rock that is widely used as a building construction material in the civil and mining fields. One of the areas in Gowa Regency which is the center of basalt rock mining is Patalassang District. The level of rock weathering is one of the parameters that affect the strength of the rock. Variability of rock strength occurs due to the non-uniformity of rock weathering. This study aims to look at the quality of rock strength as a basic material for building foundations which is influenced by the degree of rock weathering. The test method used in this study is the characterization of the degree of weathering, Schmidt Hammer test, mineralogy test, testing of physical properties, uniaxial compressive strength testing, and correlation linear regression analysis. There are 4 types of weathering degrees in the research results, namely weathering degree II, weathering degree III, weathering degree IV, and weathering degree V. The average value of uniaxial compressive strength at the degree of weathering II is 94,61 MPa, the degree of weathering III is 81.26 MPa, the degree of weathering IV is 52.22 Mpa. Decreasing compressive strength at each degree of weathering indicates a strong negative effect (inversely proportional). The results of linear regression analysis of the uniaxial compressive strength value to the Schmidt Hammer reflection value based on the degree of weathering is  $UCS = 1.1478 SCH + 39.464$ , with a value of the coefficient of determination ( $R^2$ ) is 0.9271, and the correlation coefficient ( $R$ ) is 0.9628. Data validation using the MAPE method at the degree of weathering II is equal to 2,49%, the degree of weathering III is equal to 6,84%, and the degree of weathering IV is equal to 5,34%.*

**Keywords:** *rock strength, uniaxial compressive strength, Schmidt Hammer, weathering grade, regression analysis, validation*

## KATA PENGANTAR

*Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh*

Salam sejahtera bagi kita semua, *shalom, om swastiastu, namo buddhaya* salam kebajikan.

*Alhamdulillah*, puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah *Subhanahu Wa Ta'ala* yang telah melimpahkan rahmat dan hidayah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir dengan judul "Analisis Kekuatan Batuan menggunakan Nilai Kuat Tekan UCS terhadap Nilai Pantul *Schmidt Hammer* berdasarkan Derajat Pelapukan pada Batuan Basal". Selawat dan salam tidak lupa kita kirimkan kepada junjungan kita nabiullah Muhammad SAW, sang revolusioner yang telah mendikte kita dari suatu sistem kejahilaaan menuju sistem manusia yang berpikir, zaman yang dipenuhi oleh ilmu pengetahuan dan teknologi.

Laporan Tugas Akhir ini membahas mengenai analisis kekuatan batuan menggunakan nilai kuat tekan uniaksial dan nilai pantul *Schmidt Hammer* berdasarkan derajat pelapukan pada batuan. Penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan laporan tugas akhir ini.

Setiap melaksanakan tugas, fungsi, dan kewajiban sebagai mahasiswa dalam menyelesaikan tugas akhir hingga penyusunan laporan ini tentunya tidak terlepas dari doa, dukungan, dan bantuan dari berbagai entitas. Penulis mengucapkan terima kasih kepada Bapak Dr.Eng. Purwanto, S.T., M.T., selaku dosen pembimbing utama yang senantiasa menerima penulis untuk bertukar pikiran dan memberikan saran yang terbaik dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Terima kasih kepada Bapak Dr. Ir. Sufriadin, S.T., M.T., Bapak Dr.Eng. Ir. Muhammad Ramli, M.T. dan Ibu Rizki Amalia, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran penulisan tugas akhir kepada penulis. Terima kasih kepada Bapak dan Ibu Dosen Departemen Teknik Pertambangan

Universitas Hasanuddin yang telah membimbing penulis dari awal kegiatan perkuliahan hingga penyusunan laporan tugas akhir ini. Terima kasih kepada Staf Administrasi Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin yang telah membantu dalam pengurusan administrasi selama pelaksanaan penelitian ini.

Penulis mengucapkan terima kasih kepada teman-teman mahasiswa yang telah membantu dalam pelaksanaan kegiatan penelitian ini. Terima kasih kepada Anggota LBE Geomekanika yang telah memberi saran yang membangun kepada penulis dalam kegiatan penelitian ini. Terima kasih kepada teman-teman Teknik Pertambangan Angkatan 2016 (ROCKBOLT) yang telah memberikan bantuan dan saran yang membangun kepada penulis selama melaksanakan penelitian. Ucapan terima kasih penulis ucapkan khusus kepada Bapak Sofyan Basir dan Ibu Hulaedah Nur selaku orang tua penulis serta Kakak Nurul Arifah Sofyan selaku kakak penulis yang senantiasa mendoakan, memotivasi, serta mendukung penulis dalam kondisi apapun.

Laporan tugas akhir ini dibuat sebagai syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik di Departemen Teknik Pertambangan Universitas Hasanuddin. Penulis berharap laporan ini dapat menjadi salah satu referensi dalam pengembangan penelitian yang relevan di masa yang akan datang.

*Ora et Labora*

*Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatu*

Makassar, 21 Januari 2023

Muhammad Nur Akmal Sofyan

## DAFTAR ISI

<b>LEMBAR PENGESAHAN</b> .....	<b>Error! Bookmark not defined.</b>
<b>PERNYATAAN KEASLIAN</b> .....	iii
<b>ABSTRAK</b> .....	iv
<b>ABSTRACT</b> .....	v
<b>KATA PENGANTAR</b> .....	vi
<b>DAFTAR ISI</b> .....	viii
<b>DAFTAR GAMBAR</b> .....	xi
<b>DAFTAR TABEL</b> .....	xiv
<b>DAFTAR PERSAMAAN</b> .....	xvi
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b> .....	xvii
<b>BAB 1 PENDAHULUAN</b> .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	3
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Manfaat Penelitian .....	4
1.5 Tahapan Penelitian .....	4
1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah.....	6
<b>BAB II STUDI PUSTAKA</b> .....	7
2.1 Batuan Basal.....	7
2.2 Pelapukan.....	9



2.3	Karakteristik Batuan.....	12
2.4	Uji Kuat Tekan Uniaksial.....	22
2.5	<i>Schmidt Hammer</i> .....	26
2.6	Sayatan Tipis .....	30
2.7	Analisis X-Ray Diffraction.....	31
2.8	Syarat Mutu Batu Alam Untuk Bahan Bangunan.....	32
2.9	Analisis Korelasi.....	33
2.10	Hasil Penelitian Terkait.....	34
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN .....</b>		<b>37</b>
3.1	Pengamatan Lapangan dan Karakterisasi Derajat Pelapukan .....	37
3.2	Pengambilan sampel .....	38
3.3	Preparasi Sampel.....	39
3.4	Pengujian Sampel.....	46
3.5	Analisis Data .....	58
<b>BAB IV ANALISIS KORELASI KEKUATAN BATUAN .....</b>		<b>61</b>
4.1	Kondisi Aktual Lokasi Penelitian .....	61
4.2	Hasil Pengamatan Mikroskopis .....	65
4.3	Hasil Pengujian Analisis XRD.....	71
4.4	Hasil Pengujian <i>Schmidt Hammer</i> .....	75
4.5	Hasil Pengujian Sifat Fisik.....	76
4.6	Hasil Pengujian Uji Kuat Tekan Batuan .....	82
4.7	Analisis Hubungan Nilai UCS Terhadap Nilai <i>Schmidt Hammer</i> .....	85

4.8	Validasi Model Regresi dengan Metode Statistik.....	86
4.9	Mutu Batu Basal untuk Bahan Bangunan.....	86
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN DAN SARAN</b> .....	<b>88</b>
5.1	Kesimpulan.....	88
5.2	Saran .....	889
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b> .....	<b>90</b>
	<b>LAMPIRAN</b> .....	<b>93</b>

## DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1	Klasifikasi batuan beku menurut Russell B. Travis (1995) ..... 8
2.2	Kurva tegangan regangan pada uji kuat tekan uniaksial (Hoek and Brown, 1980; Leba dkk., 2020)..... 15
2.3	Metode standar penentuan modulus elastisitas (Arif, 2016)..... 19
2.4	Perubahan Bentuk Contoh Batuan Pada Uji Kuat Tekan Uniaksial (Rai dkk., 2014)..... 21
2.5	Kisaran nilai <i>Poisson's ratio</i> beberapa jenis batuan (Gercek, 2007) ..... 22
2.6	Distribusi Tegangan Didalam Contoh Batuan Pada Uji Kuat Batuan (Rai dkk., 2014) ..... 23
2.7	Perubahan bentuk contoh batuan pada Uji Kuat Tekan (UCS) (Rai dkk., 2014) ..... 24
2.8	Tipe pecahan batuan hasil uji UCS (Kramadibrata, 1990; Rai dkk, 2014)... 25
2.9	Komponen <i>Schmidt Hammer</i> (Badan Standar Nasional, 2012)..... 28
2.10	Log ringkasan profil pelapukan batuan basal (Moon & Jayawardane, 2004)..... 35
3.1	Daerah penelitian Kelurahan Timbusseng, Kecamatan Pattalassang, Kabupaten Gowa..... 38
3.2	Pengambilan sampel batuan..... 39
3.3	Peralatan uji kuat tekan; (a) <i>laboratory core drill</i> ; (b) Palu; (c) mistar; (d) spidol; (e) betel besi; (f) amplas; (g) <i>laboratory saw machine</i> ..... 40
3.4	Pengecilan ukuran blok batuan ..... 41
3.5	Proses pengeboran sampel uji ..... 42
3.6	Pemotongan batuan menggunakan alat <i>precision cutting machine</i> ..... 42

3.7	Penghalusan sampel menggunakan amplas .....	43
3.8	Sampel pengujian sifat fisik.....	43
3.9	Sampel sayatan tipis.....	44
3.10	Peralatan preparasi analisis XRD; (a) sendok; (b) tissue; (c) plastic cetik; (d) <i>mortar and pastle agate</i> ; (e) <i>mortar and pastle cast iron</i> ; (f) alkohol; (g) ayakan .....	45
3.11	Pemecahan sampel menggunakan <i>mortar cast iron</i> .....	45
3.12	Proses pengayakan sampel XRD .....	46
3.13	Sampel hasil ayakan XRD.....	46
3.14	Proses perataan permukaan batuan .....	47
3.15	Pembuatan grid titik bacaan .....	48
3.16	Penggunaan alat <i>Schmidt Hammer</i> .....	48
3.17	Peralatan uji sifat fisik; (a) neraca ohaus; (b) timbangan digital; (c) wadah sampel; (d) oven; (e) <i>oven glove</i> ; (f) desikator; (g) pompa vacuum; (h) air.....	50
3.18	Sampel sifat fisik batuan .....	51
3.19	Penjenuhan sampel menggunakan desicator .....	51
3.20	Penimbangan sampel menggunakan <i>neraca ohous</i> .....	52
3.21	Peralatan uji kuat tekan; (a) hydraulic compressor machine; (b) jangka sorong; (c) kacamata safety; (d) dial gauge; (e) sepatu safety .....	53
3.22	Pengukuran sampel menggunakan jangka sorong .....	54
3.23	Proses memasukkan sampel pada alat uji kuat tekan .....	55
3.24	Proses pengambilan sampel setelah pengujian kuat tekan .....	56
3.25	Sampel XRD .....	57
3.26	Difraktometer jenis Maxima X-700 .....	58
3.27	Diagram alir penelitian.....	60

4.1	Zona pembagian derajat pelapukan .....	62
4.2	Kenampakan zona derajat pelapukan II.....	63
4.3	Kenampakan zona derajat pelapukan III .....	63
4.4	Kenampakan zona derajat pelapukan IV .....	64
4.5	Kenampakan zona derajat pelapukan V .....	65
4.6	Kenampakan mikroskopis sampel derajat pelapukan II.....	66
4.7	kenampakan mikroskopis sampel derajat pelapukan III.....	67
4.8	Kenampakan mikroskopis sampel derajat pelapukan IV.....	68
4.9	Hasil klasifikasi batuan beku menurut Russel B. Travis (1995).....	70
4.10	Hasil analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) derajat pelapukan II.....	71
4.11	Hasil analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) derajat pelapukan III.....	72
4.12	Hasil analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) derajat pelapukan IV .....	73
4.13	Hasil analisis XRD ( <i>X-Ray Diffraction</i> ) derajat pelapukan V .....	73
4.14	Hubungan nilai <i>rebound schmidt hammer</i> terhadap derajat pelapukan .....	76
4.15	Hubungan densitas natural terhadap derajat pelapukan .....	78
4.16	Hubungan kadar air asli terhadap derajat pelapukan.....	79
4.17	Hubungan kadar air jenuh terhadap derajat pelapukan .....	80
4.18	Hubungan derajat kejenuhan terhadap derajat pelapukan.....	81
4.19	Hubungan nisbah pori terhadap derajat pelapukan .....	81
4.20	Hubungan porositas terhadap derajat pelapukan .....	82
4.21	Hubungan nilai kuat tekan uniaksial terhadap derajat pelapukan.....	84
4.22	Grafik korelasi nilai UCS terhadap nilai <i>Schmidt Hammer</i> .....	85

## DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1	Komposisi dominan dari kulit bumi (Rai dkk., 2014) ..... 7
2.2	Sistem klasifikasi derajat pelapukan batuan (Irfan dan Dearman, 1978; Setiadji dkk., 2006) ..... 10
2.3	Klasifikasi pelapukan untuk material homogen (Agustawijaya, 2019) ..... 11
2.4	Klasifikasi pelapukan untuk gabungan massa dan material batuan (Agustawijaya, 2019) ..... 12
2.5	Ringkasan sifat fisik, kekerasan, sifat mekanik, dan <i>cuttability</i> ..... 13
2.6	Kategori nisbah poisson (Rai dkk., 2014) ..... 20
2.7	Kekuatan batuan berdasarkan nilai kuat tekan (Bienawski, 1974; Kurniawan, 2019) ..... 26
2.8	Syarat mutu batu alam untuk bahan bangunan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0394-1989) ..... 32
2.9	Klasifikasi korelasi (Guilford, 1956; Helistiawan, 2008) ..... 33
2.10	Kriteria nilai MAPE (Ajunu dkk, 2020) ..... 34
2.11	Formulasi empiris antara nilai ucs dan <i>Schmidt Hammer</i> 10 tahun terakhir ..... 36
4.1	Persentase mineral setiap derajat pelapukan ..... 69
4.2	Persentase mineral hasil analisis XRD ..... 74
4.3	Hasil pengujian <i>Schmidt Hammer</i> ..... 75
4.4	Densitas batuan uji ..... 77
4.5	Hasil perhitungan parameter sifat fisik ..... 78
4.6	Hasil pengujian uji kuat tekan batuan ..... 83
4.7	Hasil korelasi UCS terhadap <i>Schmidt Hammer</i> ..... 90



4.8	Mutu batu basal pada daerah penelitian .....	91
-----	--	----

## DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan	Halaman
2.1 Bobot isi asli / <i>natural density</i> ( $\rho_n$ ) .....	14
2.2 Bobot isi kering / <i>dry density</i> ( $\rho_d$ ) .....	14
2.3 Bobot isi jenuh / <i>saturated density</i> ( $\rho_s$ ).....	14
2.4 Kadar air (W) .....	14
2.5 Derajat kejenuhan (S).....	14
2.6 Porositas (n) .....	14
2.7 <i>Void ratio</i> (e) .....	14
2.8 Kuat tekan uniaksial (MPa) .....	17
2.9 Modulus Young (MPa) .....	19
2.10 Persamaan Lateral .....	19
2.11 Nisbah <i>Poisson</i> .....	20
2.12 Faktor koreksi .....	28
2.13 Persamaan korelasi linear sederhana .....	33
2.14 Turunan persamaan korelasi linear sederhana .....	33
2.15 Turunan persamaan korelasi linear sederhana .....	33
2.16 Nilai regresi .....	33
2.17 MAPE (Mean Absolute Percentage Error).....	34

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. PETA LOKASI PENGAMBILAN SAMPEL .....	94
B. LEMBAR DESKRIPSI MAKROSKOPIS BATUAN .....	96
C. ANALISIS MIKROSKOPIS .....	98
D. ANALISIS XRD .....	102
E. HASIL UJI <i>SCHMIDT HAMMER</i> .....	113
F. PERHITUNGAN SIFAT FISIK BATUAN .....	115
G. HASIL UJI KUAT TEKAN UNIAKSIAL .....	129
H. HASIL ANALISIS REGRESI LINEAR .....	156
I. VALIDASI DATA .....	158
J. KARTU KONSULTASI TUGAS AKHIR .....	160

# BAB 1

## PENDAHULUAN

### 1.1 LATAR BELAKANG

Batuan merupakan benda padat dan keras yang terdiri dari satu atau lebih mineral berbeda dan memiliki sifat heterogen, diskontinu dan anisotrop. Batuan sebagai bagian yang inheren terhadap struktur bangunan memiliki peran yang fundamental dalam perancangan konstruksi, baik pada bidang sipil maupun pertambangan. Salah satu jenis batuan yang banyak dimanfaatkan sebagai bahan bangunan adalah batuan basal. Batuan basal adalah batuan beku ekstrusif *aphanitic* yang terbentuk dari pendinginan cepat lava dengan viskositas rendah yang kaya akan magnesium dan besi (lava mafik) (Pusat Vulkanologi dan Mitigasi Bencana Geologi, 2021).

Parameter kekuatan selain dipengaruhi oleh jenis batuan, juga dipengaruhi oleh tingkat pelapukan pada batuan tersebut (Johnson & Van De Graff, 1998). Pelapukan menyebabkan perubahan kimia dalam mineral yang terdapat pada batuan (Arikan & Aydin, 2012). Kekerasan batuan sangat ditentukan dari mineral pembentuk batuan tersebut. Semakin keras mineral pembentuknya maka, semakin keras pula batuan tersebut dan akan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin besar (Rai dkk., 2014). Proses Pelapukan dapat mempengaruhi sifat mekanik batuan dan massa batuan pada kedalaman dangkal dan permukaan bumi, sehingga membuat ketidakseragaman kekuatan pada batuan.

Mekanika batuan memberikan informasi yang mendasar terhadap karakteristik batuan mengenai sifat fisik dan sifat mekanik batuan. Karakteristik kekuatan batuan dapat diperoleh melalui pengujian di lapangan dan laboratorium. Penentuan sifat

mekanik batuan yang merupakan uji merusak (*destructive test*) yang dilakukan pada tingkatan laboratorium, yaitu uji kuat tekan uniaksial (*unconfined compressive strength*), uji kuat geser (*direct shear strength test*), uji triaksial (*triaxial compression test*), uji kuat tarik dan uji cepat rambat gelombang (*ultrasonic velocity test*) (Rai dkk., 2014). Uji kuat tekan uniaksial (*unconfined compressive strength*) menggunakan mesin tekan (*compression machine*) dilakukan pada penelitian ini untuk mendapatkan hasil kuat tekan, modulus elastisitas, dan nisbah poisson. Pengujian nilai kuat tekan pada penelitian ini juga menggunakan *Schmidt Hammer*. *Schmidt Hammer* merupakan pengujian yang tidak merusak batuan, pengujian dapat dilakukan di lapangan sehingga lebih praktis, ekonomis dan memperoleh banyak data.

Menurut Badan Pusat Statistik Kabupaten Gowa (2020) dalam Kabupaten Gowa Dalam Angka 2020 Kabupaten Gowa memiliki luas 1.883,33 km<sup>2</sup> atau sama dengan 3,01% dari luas wilayah Provinsi Sulawesi Selatan. Kabupaten Gowa menjadi salah satu pusat penambangan pasir, batuan, tanah timbunan, dan bahan bangunan yang mencakup wilayah Kecamatan Pallangga, Bontomarannu, Bajeng, Bontonompo, dan Parangloe. Produksi tersebut didistribusikan ke beberapa daerah seperti Kota Makassar dan Kabupaten Takalar serta beberapa pulau di sekitarnya (Riswandi, 2016). Kabupaten Gowa memiliki iklim tropis dan memiliki curah hujan 237,75 mm/tahun dengan suhu 27,125°C. Berdasarkan data yang ada, daerah tersebut memiliki potensi terjadinya pelapukan sehingga menyebabkan terjadinya variabilitas kekuatan batuan yang dapat mempengaruhi kualitas batuan yang dijadikan sebagai bahan bangunan dalam pembangunan infrastruktur.

Pembangunan infrastruktur, perumahan, jalanan pada daerah Kabupaten Gowa dan sekitarnya telah mengalami peningkatan dari tahun ke tahun. Laju peningkatan terhadap pembangunan tidak berbanding lurus dengan ketersediaan data mengenai karakteristik batuan di daerah Kabupaten Gowa (Qaidahiyani dkk., 2021).

Ketidakteragaman pada pelapukan batuan membuat variabilitas kekuatan batuan, sehingga diperlukan basis data mengenai kondisi kualitas batuan untuk dijadikan sebagai referensi pada pembangunan berkelanjutan. Kajian geoteknik terhadap batuan dapat memberikan informasi yang prinsipial guna mencapai keberhasilan pembangunan berkelanjutan yang kuat dan aman untuk meminimalisasi terjadinya kerusakan dan ancaman bahaya bagi lingkungan dan manusia (Zakaria & Jihadi, 2016).

Penelitian ini perlu dilakukan untuk melihat kualitas kekuatan batuan sebagai bahan dasar pondasi bangunan yang di pengaruhi oleh derajat pelapukan batuan. Pengujian kuat tekan uniaksial dan pengujian *Schmidt Hammer* nantinya akan di korelasikan untuk mendapatkan persamaan kuat tekannya. Persamaan kuat tekan dari korelasi antara uji kuat tekan uniaksial terhadap uji *Schmidt Hammer* akan diimplementasikan dalam penentuan nilai kuat tekan.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Iklim tropis pada daerah penelitian menyebabkan adanya perbedaan musim, sehingga menimbulkan potensi terjadinya pelapukan. Derajat pelapukan batuan menimbulkan ketidakseragaman kekuatan batuan sehingga memengaruhi kualitas batuan. Minimnya data pada daerah penelitian mengenai karakteristik kekuatan batuan mengakibatkan kurangnya informasi/data terkait kualitas batuan. Umumnya, nilai kekuatan batuan ditentukan menggunakan alat UCS (*uniaxial compressive strength*), tetapi hal ini memerlukan waktu yang relatif lama sehingga diperlukan alat yang lebih praktis, ekonomis, dan dapat memperoleh banyak data.

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan dilakukan penelitian ini adalah sebagai berikut:



1. Mengidentifikasi derajat pelapukan pada batuan hasil penambangan di Kabupaten Gowa berdasarkan hasil pengamatan lapangan dan laboratorium;
2. Menganalisis pengaruh derajat pelapukan terhadap kekuatan batuan menggunakan uji kuat tekan uniaksial; dan
3. Menganalisis kekuatan batuan menggunakan analisis regresi linear pada nilai kuat tekan uniaksial terhadap nilai pantul *Schmidt Hammer* berdasarkan derajat pelapukannya.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat penelitian ini adalah untuk memberikan informasi terkait pengaruh derajat pelapukan terhadap nilai kuat tekan batuan. Hasil penelitian terhadap batuan akan memberikan informasi mengenai karakteristik batuan yang dapat di gunakan untuk *basis* data dalam pembangunan infrastruktur pertambangan maupun sipil.

#### **1.5 Tahapan Penelitian**

Penelitian ini memiliki beberapa tahapan, dari pengumpulan data primer dan sekunder, baik secara langsung maupun tidak langsung, hingga penyusunan laporan.

##### **1. Persiapan**

Tahap ini merupakan langkah awal dari penelitian berupa perencanaan topik yang akan diteliti, konsultasi dengan pembimbing akademik dan mengumpulkan literatur terkait penelitian.

##### **2. Studi pustaka**

Informasi yang telah dikumpulkan dari beberapa literatur kemudian dipilih untuk dijadikan landasan atau referensi penelitian. Studi literatur merupakan tahapan yang terus dilakukan dari awal hingga akhir penelitian.

### 3. Pengambilan data lapangan

Kegiatan dilakukan secara langsung di lokasi penelitian pada daerah penambangan batuan basal yang akan digunakan sebagai material fondasi bangunan. Data yang akan diambil di lapangan, yaitu kuat batuan menggunakan *Schmidt Hammer*, jenis litologi batuan, klasifikasi derajat pelapukan batuan, sampel batuan, dan titik koordinat pengambilan sampel.

### 4. Sampling

Teknik sampling yaitu cara untuk menentukan sampel yang jumlahnya sesuai dengan ukuran sampel yang akan dijadikan sumber data sebenarnya, dengan memperhatikan sifat-sifat dan penyebaran populasi agar diperoleh sampel yang representatif.

### 5. Pengujian Sifat Fisik Batuan

Pengujian sifat fisik merupakan uji tanpa merusak (*non destructive test*) yang dilakukan di laboratorium. Uji sifat fisik bertujuan untuk menentukan kadar air, bobot isi/densitas dan porositas.

### 6. Pengujian Kuat Tekan Uniaxial

Pengujian sampel batuan menggunakan standar pengujian ISRM 1979 (*Suggested methods for detterming the uniaxial compressive strength and deformability of rock materials*).

### 7. Pengujian Minerologi

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui komposisi mineral dari setiap derajat pelapukan batuan. Pengujian minerologi yang dilakukan yaitu analisis XRD dan pengamatan mikroskopis

### 8. Pengolahan dan Analisis Data

Data-data yang didapatkan dari hasil pengamatan di lapangan dan pengujian di laboratorium akan diolah dan dilakukan analisis. Analisis dilakukan untuk

menentukan korelasi antara nilai pantul *Schmidt Hammer* dengan uji kuat tekan uniaksial berdasarkan derajat pelapukan batuan.

## 9. Kesimpulan

Penarikan kesimpulan dilakukan berdasarkan hasil analisis sebagai hasil dari penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian.

## **1.6 Lokasi dan Kesampaian Daerah**

Lokasi penelitian berada di daerah Kelurahan Timbusseng, Kecamatan Pattalassang, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan. Lokasi dapat ditempuh menggunakan kendaraan roda empat dengan waktu tempuh sekitar empat puluh lima menit dari Kampus Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin, Kabupaten Gowa. Secara astronomis, kelurahan Timbusseng terletak pada koordinat S 05°13'51" dan E 119°33'28" serta lokasi berjarak 15 km dari Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin. Peta lokasi kesampaian daerah dapat dilihat pada lampiran A.

## BAB II

### STUDI PUSTAKA

#### 2.1 BATUAN BASAL

Batuan merupakan benda padat dan keras yang terdiri dari satu atau lebih mineral berbeda dan memiliki sifat heterogen, diskontinu dan anisotrop. Batuan sebagai bagian yang *inheren* terhadap struktur bangunan memiliki peran yang fundamental dalam perancangan konstruksi, baik pada bidang sipil maupun pertambangan. Rai, dkk. (2014) dalam bukunya yang berjudul "Mekanika Batuan" menjabarkan unsur yang terdapat pada kulit bumi, 99% dari beratnya terdiri dari 8 unsur; O, Si, Al, Fe, Ca, Na, Mg, dan H dan komposisi dominan dari kulit bumi tersebut dapat dilihat pada Tabel 2.1. Batuan terdiri dari batuan padat baik berupa kristal maupun yang tidak mempunyai bentuk tertentu dan bagian kosong seperti pori-pori, *fissure*, *crack*, *joint*, dll.

Tabel 2.1 Komposisi dominan dari kulit bumi (Rai dkk., 2014)

Mineral	%	Mineral	%	Mineral	%	Mineral	%
SiO <sub>2</sub>	59,8	CaO	4,9	Fe	3,39	K <sub>2</sub> O	2,98
Al <sub>2</sub> O	14,9	MgO	3,7	Na <sub>2</sub> O	3,25	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	2,69
						H <sub>2</sub> O	2,02

Batuan beku disusun oleh enam kelompok mineral seperti olivin, piroksin, ampibol, mika, feldspar dan kuarsa. Pada batuan beku unsur penyusunnya antara lain Si, Al, Ca, Na, K, Fe, Mg dan O<sub>2</sub>. Flint (1997) seperti yang dikutip Andreas dan Putra (2018) menyatakan bahwa komposisi magma hasil analisis kimia menunjukkan kisaran 45% sampai 75% SiO<sub>2</sub>. Batuan dengan kandungan SiO<sub>2</sub> sekitar 50% membentuk batuan basal dan gabro. Batuan dengan kandungan SiO<sub>2</sub> sekitar 60% membentuk batuan beku

andesit dan diorit. Batuan dengan kandungan SiO<sub>2</sub> sekitar 70% membentuk batuan riolit dan granit.

Batuan basal membentuk sebagian besar kerak samudra dan hanya mantel yang mendasari kerak bumi. Basal mengandung mineral seperti olivin, piroksen dan plagioklas, tidak ada yang mengandung air. Basal memiliki tekstur lebih halus dibandingkan dengan gabbro. Basal mengalami pendinginan diluar permukaan tanah (*extrusive*). Basal terbentuk dari pendinginan magma yang berasal dari *basaltic* magma. Magma *basaltic* meletus tanpa adanya ledakan, ini menunjukkan kandungan gas rendah karena kadar airnya rendah. Magma *basaltic* atau *mafic* memiliki kandungan SiO<sub>2</sub> 45-55%, dan mengandung banyak Fe, Mg, Ca, dan rendah kandungan K, Na (Islami, 2017)

KLASIFIKASI BATUAN BEKU MENURUT RUSSELL B. TRAVIS (1955)														
MINERAL UTAMA	K. Felspar > 2/3 Seluruh Feldspar			K. Felspar 1/3 - 2/3 seluruh Feldspar			Felspar Plagioklas > 2/3 seluruh Feldspar					Sedikit/Tidak ada Felspar		Tipe Khusus
	KWARSAS >10%	KWARSAS <10% FELSPATOID <10%	FELSPATOID >10%	KWARSAS >10%	KWARSAS <10% FELSPATOID <10%	FELSPATOID >10%	K. Felspar <10% Seluruh Feldspar					Terutama : Piroksin Dan atau Olivin	Terutama : Mineral Fe/Mg Dan Felspatoid	
							Na - Plagioklas		Ca - Plagioklas					
MINERAL TAMBAHAN KHAS	Terutama : Hornblende, Biotit, Piroksin, Muskovit Juga : Na-Amfibol, Elgirin, Kankrin, Turmalin, Sodalit			Terutama : Hornblende, Biotit, Piroksin Juga : Na-Amfibol, Elgirin			K. Felspar >10% seluruh Feldspar		Felspar Plagioklas > 2/3 seluruh Feldspar			Sedikit/Tidak ada Felspar		PEGMATIT APLIT LAMPROPRI
INDEKS WARNA	10	15	20	20	25	30	20	20	25	30	60	95	55	
<b>FANERITIK</b> EKWIGRANULAR Batolit Lapolit "stock" Lakolit luas Retas tebal Sill	GRANIT	SIANIT	SIANIT NEFELIN	MONSONIT KWARSAS (ADAMELIT)	MONSONIT	MONSONIT NEFELIN	GRANO DIORIT	DIORIT KWARSAS (TONALIT)	DIORIT	GABRO Norit Olivin satu Traktolit Anortorit Gabro kwarsas	TERALIT	PERIDOTIT Harzburgit Pikrit Dunit Piroksin Serpentin	Hornblende Biotit Bijih besi	
<b>PORFIRITIK</b> MASA DASAR FANERITIK Lakolit Retas Sill "nug" "Stock" kecil Tepi masa luas	PORFIRI GRANIT	PORFIRI SIANIT	PORFIRI SIANIT NEFELIN	PORFIRI MONZONIT KWARSAS	PORFIRI MONZONIT	PORFIRI MONZONIT NEFELIN	PORFIRI GRANO DIORIT	PORFIRI DIORIT KWARSAS	PORFIRI DIORIT	PORFIRI GABRO	PORFIRI TERALIT	PORFIRI PERIDOTIT		
<b>AFANITIK</b> MASA DASAR AFANITIK Retas Sill Lakolit Aliran Permukaan Tepi Masa Luas	PORFIRI RIOLIT	PORFIRI TRAKIT	PORFIRI FONOLIT	PORFIRI LATIT KWARSAS	PORFIRI LATIT	PORFIRI LATIT NEFELIN	PORFIRI DASIT	PORFIRI ANDESIT	PORFIRI BASAL		PORFIRI TEFRIT	PORFIRI LIMBURGIT		
<b>AFANITIK</b> MIKROKRISTALIN Retas Sill Aliran Permukaan Tepi masa luas "welded tufts"	RIOLIT	TRAKIT	FONOLIT	LATIT KWARSAS (DELENIT)	LATIT (TRAKIT-ANDESIT)	LATIT NEFELIN	DASIT	ANDESIT	BASAL		TEFRIT	LIMBURGIT	Nefelit Lesit Melilit Olivin Nephelinit Dsb.	TRAP FELSIT
<b>AFANITIK</b> GELAS Aliran permukaan Tepi retas dan Sill "Welded tufts"	OBSIDIAN "PITCHSTONE" VITROFIR PERLIT BATUAPUNG SKOREA													

Gambar 2.1 Klasifikasi batuan beku menurut Russell B. Travis (1995)

Tabel diatas adalah tabel pengklasifikasian batuan beku yang dibuat oleh Dr. Russel B. Travis dimana pemberian nama batuan dilihat dari aspek mineral penyusun batuan tersebut (*essential mineral, accessory minerals*), komposisi kimia, *color index*,

dan teksturnya. Berdasarkan teksturnya, Russel B. Travis juga membedakan kedalam kelompok besar yaitu *faneritik*, *porfiritik*, dan *afanitik*.

## **2.2 PELAPUKAN**

Pelapukan didefinisikan sebagai proses alterasi dan hancurnya materi batuan dan tanah di permukaan atau dekat permukaan bumi, oleh adanya proses dekomposisi kimia dan disintegrasi fisika (Agustawijaya, 2019). Mineralogi, tekstur, dan sifat litologi batuan berubah karena pelapukan, dan dengan demikian sifat rekayasa dari batuan juga berubah (Undul & Tugrul, 2012).

Proses pelapukan merupakan hal yang umum dijumpai pada batuan. Apalagi di daerah yang beriklim tropis, adanya pelapukan akan terlihat lebih intensif bahkan dapat terjadi secara simultan (Zhao dkk., 1994; Setiadji dkk., 2006). Hal ini akan tercermin pada tebalnya tanah residu (*residual soil*) yang menjadi hasil akhir dari suatu proses pelapukan. Kondisi iklim tropis ikut berperan dalam mempengaruhi sifat keteknikan batuan, terutama kekuatan batuan (Setiadji dkk., 2006). Pelapukan merupakan proses geologi secara destruktif terhadap singkapan batuan di permukaan atau dekat permukaan akibat sentuhan batuan dengan atmosfer. Dua faktor utama dalam proses pelapukan, yaitu air dan suhu. Kedua faktor tersebut bereaksi dengan batuan, sehingga terjadi dekomposisi mineral batuan dan terjadi disintegrasi fisik batuan. Kemampuan batuan terhadap proses pelapukan sangat tergantung pada mineralogi, sifat fisik dan intensitas reaksi kedua faktor tersebut dengan material batuan (Agustawijaya, 2019).

Penelitian yang dilakukan (Setiadji dkk., 2006) mengenai "Pengamatan dan Pengujian Lapangan dalam Karakterisasi Pelapukan Andesit di Purwakarta" membagi klasifikasi pelapukan andesit di Purwakarta menjadi tujuh kelas, yaitu batuan segar (I), batuan lapuk ringan (II), batuan lapuk ringan (III), batuan lapuk kuat (IV), batuan lapuk



sempurna bagian bawah (V b), batuan lapuk sempurna bagian atas (V a) dan tanah residu (VI) (tabel 2.2)

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi derajat pelapukan batuan (Irfan dan Dearman, 1978; Setiadji dkk., 2006)

<b>Istilah</b>	<b>Deskripsi</b>	<b>Derajat</b>
Batuan segar	Tidak ada tanda-tanda material batuan mengalami pelapukan; mungkin terdapat sedikit perubahan warna pada permukaan diskontinuitas utamanya.	I
Lapuk Ringan	Perubahan warna menunjukkan pelapukan pada material batuan dan permukaan diskontinuitas.	II
Lapuk sedang	Kurang dari 35% material batuan telah terkomposisi dan/atau terdisintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau perubahan warna pada batuan masih dapat dijumpai sebagai kerangka diskontinuitas atau inti batuan.	III
Lapuk Kuat	Lebih dari 35% material batuan telah terdekomposisi dan/atau tersisintegrasi menjadi tanah. Batuan segar atau perubahan warna pada batuan masih dapat dijumpai sebagai kerangka diskontinuitas atau inti batuan.	IV
Lapuk Sempurna	Seluruh material batuan telah terdekomposisi dan/atau terdisintegrasi menjadi tanah. Struktur massa yang asli sebagian besar masih utuh.	V
Tanah residu	Seluruh material telah berubah menjadi tanah. Struktur massa dan kemas (fabric) material telah rusak. Disini terjadi perubahan volume menjadi lebih besar tetapi tanah belum mengalami transportasi.	VI

Beberapa pendekatan telah diperkenalkan untuk mengklasifikasikan pelapukan, Agustawijaya (2019) dalam bukunya yang berjudul "Geologi Teknik" mengatakan pengklasifikasian derajat pelapukan dibagi berdasarkan tiga pendekatan yang bisa langsung diterapkan terhadap material batuan homogen, massa batuan heterogen, dan klasifikasi pelapukan batuan yang mempunyai ciri sekaligus material batuan dan massa batuan. Klasifikasi pelapukan batuan homogen dapat diterapkan pada material batuan seragam yang mempunyai kekerasan menengah hingga tinggi dalam kondisi segar serta

menunjukkan perubahan yang jelas pada sifat-sifat keteknikannya dalam pelapukan. Pengklasifikasian pelapukan batuan homogen dibagi atas grade I hingga grade VI (tabel 2.3).

Tabel 2.3 Klasifikasi pelapukan untuk material homogen (Agustawijaya, 2019)

<b>Deskriptor</b>	<b>Ciri Khas</b>	<b>Grade</b>
Segar	Tidak ada perubahan dari kondisi asal .	I
Sedikit lapuk	Ada perubahan warna, permukaan sedikit lunak.	II
Lapuk	Permukaan lunak, perubahan warna sudah banyak, batuan sudah mulai terombak menjadi blok batuan.	III
Sangat Lapuk	Blok batuan sudah bisa dipatahkan dengan tangan, tapi blok batuan belum pecah Ketika direndam dalam air.	IV
Lapuk menyeluruh	Sangat lunak, blok batuan pecah dalam air, walau ciri batuan masih ada.	V
Tanah residu	Tanah hasil pelapukan, ciri batuan sudah tidak tampak.	VI

Agustawijaya (2009) dalam buku "Geologi Teknik" juga mengembangkan klasifikasi yang telah diberikan oleh Geological Society. Klasifikasi batuan tersebut merupakan klasifikasi pelapukan gabungan massa dan material batuan, seperti (tabel 2.4). Hal penting yang tidak banyak didiskusikan dalam pelapukan atau profil pelapukan adalah penjelasan tentang pelapukan material batuan (*weathering of rock material*) dan pelapukan massa batuan (*weathering of rock mass*). Kedua istilah tersebut memiliki arti dan implikasi berbeda pada penyelidikan geologi teknik. Deskripsi material batuan biasanya dilakukan pada contoh berukuran kecil (*scale of hand specimen*), sedangkan deskripsi massa batuan dilakukan pada skala ukuran yang lebih besar (Goodman, 1976; Setiadji dkk., 2006).

Tabel 2.4 Klasifikasi pelapukan untuk gabungan Massa dan material batuan (Agustawijaya, 2019)

	<b>Kelas</b>	<b>Deskriptor</b>	<b>Ciri khas</b>	<b>Batas sudut (%)</b>	<b>Nilai pantulan Palu Schmidt</b>
	A	Segar	Keteguhan utuh, warna asli, sedikit retak	<5	>25
	B	Setengah lapuk	Keteguhan sedikit berkurang, retak makin banyak, retakan sedikit berubah oleh oksidasi	5-30	25-15
	C	Sangat lapuk	Permukaan batuan sudah lunak, retakan sudah banyak, permukaan batuan berwarna abu-abu	30-45	15-10
	D	Batuan sudah berubah	Batuan sudah lunak, Sebagian batuan sudah terpisah jadi bagian lebih kecil (lithorelics), bidang pelapisan sudah berubah.	45-50	<10
	E	Residu	Seluruh batuan sudah berubah, masih tersisa sedikit (lithorelics), bidang pelapisan sudah hilang.	>50	<10

### 2.3 KARAKTERISTIK BATUAN

Batuan mempunyai sifat-sifat tertentu yang perlu diketahui dalam mekanika batuan dan dapat dikelompokkan menjadi dua bagian besar, yaitu sifat fisik dan sifat mekanik. Ringkasan parameter mekanik dan nama ujinya diberikan pada Tabel 2.5.

Paramater umum pada sifat fisik adalah bobot isi, berat jenis, porositas, absorpsi, dan *void ratio*. Sifat mekanik standard dikenal sifat mekanik statik dan sifat mekanik dinamik. Selain sifat mekanik standard dikenal juga sifat mekanik dan *cuttability* yang

diperoleh dari uji indeks. Parameter lainnya yang sering digunakan untuk memperkirakan sifat abrasivitas ditentukan melalui sifat kekerasan dan abrasivitas.

Tabel 2.5 Ringkasan sifat fisik, kekerasan, sifat mekanik, dan *cuttability* (Rai dkk., 2014)

Sifat Batuan	Parameter
Sifat Fisik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kandungan air</li> <li>▪ Bobot isi</li> <li>▪ Porositas</li> <li>▪ Kekerasan minerogi</li> <li>▪ Kekerasan mohs &amp; Rosival</li> <li>▪ Koefisien Cementasi</li> </ul>
Kekerasan Material	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Cone indenter</i></li> <li>▪ <i>Uji Dinamic rebound</i></li> <li>▪ <i>Shore sclerescope</i></li> <li>▪ <i>Schmidt rebound hammer</i></li> <li>▪ <i>Modified Schmidt Hammer</i></li> </ul>
Standard Kuat Batuan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kuat Tekan – UCS</li> <li>▪ Kuat Tarik Brazilian</li> <li>▪ Kuat Geser</li> <li>▪ <i>Young's Modulus</i></li> </ul>
Perilaku Konstitutif Uji UCS	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Spesifik Fraktur Energi</li> <li>▪ <i>Toughness Index</i></li> <li>▪ Indek kegetasan</li> <li>▪ <i>Point Load Index-PLI</i></li> <li>▪ <i>Impact Strength Index-ISI</i></li> <li>▪ <i>O&amp;K Wedge Test</i></li> </ul>
Indeks Kekuatan Batuan	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Hardgroove Grindability Index</i></li> <li>▪ <i>Breaking Characteristic</i></li> <li>▪ <i>Rock Drillability</i></li> <li>▪ <i>Drilling Rate Index</i></li> <li>▪ <i>Drillability Barre Granite</i></li> </ul>
Sifta Dinamik	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Kecepatan Seismik Lab</li> </ul>
Abrasivitas	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Schimazek Factor</i></li> <li>▪ <i>Cerchar Abrasivity Index (CAI)</i></li> </ul>
Uji <i>Cuttability</i>	<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <i>Core Cuttability</i></li> <li>▪ VARI</li> </ul>

### 2.3.1 Sifat Fisik

Menurut (Rai dkk., 2014) sifat fisik batuan merupakan uji tanpa merusak (*non destructive test*). Parameter umum pada sifat fisik adalah bobot isi, berat jenis, porositas, absorpsi, dan *void ratio*. Rumus yang di gunakan untuk menentukan parameter-parameter sifat yaitu:

a. Bobot isi asli/*natural density* ( $\rho_n$ )

$$\rho_n = \frac{w_n}{(w_s - w_o)} \text{ (gr/cm3) ..... 2.1}$$

b. Bobot isi kering / *dry density* ( $\rho_d$ )

$$\rho_d = \frac{w_o}{(w_w - w_s)} \text{ (gr/cm3) ..... 2.2}$$

c. Bobot isi jenuh / *saturated density* ( $\rho_s$ )

$$\rho_s = \frac{w_w}{(w_w - w_s)} \text{ (gr/cm3) ..... 2.3}$$

d. Kadar air (W)

$$W = \frac{w_n - w_o}{w_o} \times 100\% \text{ ..... 2.4}$$

e. Derajat kejenuhan (S)

$$S = \frac{w_n - w_o}{w_s - w_o} \times 100\% \text{ ..... 2.5}$$

f. Porositas (n)

$$n = \frac{w_s - w_o}{w_s - w_w} \times 100\% \text{ ..... 2.6}$$

g. *Void ratio* (e)

$$e = \frac{n}{(1-n)} \text{ ..... 2.7}$$

Keterangan:

$W_n$  = Berat sampel asli (natural)

$W_o$  = Berat sampel kering

$W_w$  = Berat sampel jenuh

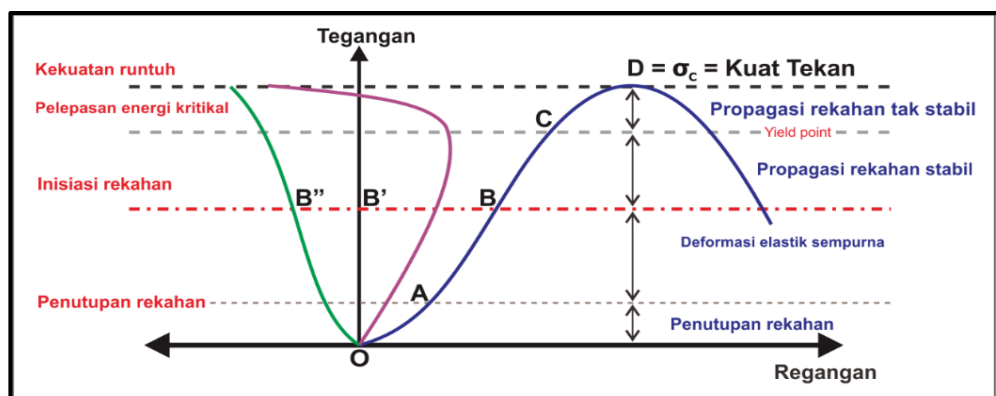
$W_s$  = berat sampel jenuh di dalam air

### 2.3.2 Sifat Mekanik

Sifat mekanik batuan ditentukan dengan melakukan pengujian di laboratorium dengan bantuan alat-alat untuk menentukan karakteristik dari setiap sifat mekanik batuan. Penentuan sifat mekanik batuan yang merupakan uji merusak (*destructive test*) yang dilakukan pada tingkatan laboratorium. Uji kuat tekan uniaksial (*unconfined compressive strength*) untuk mengidentifikasi sifat mekanik batuan pada batuan. Tujuan utama uji kuat tekan uniaksial (*unconfined compressive strength*) untuk mendapatkan informasi, seperti kurva tegangan-regangan, kuat tekan uniaksial, modulus elastisitas, nisbah *poisson* (Arif, 2016).

#### A. Kurva tegangan regangan

Hasil uji kuat tekan uniaksial yang meliputi pengukuran beban, perpindahan aksial dan lateral dan dengan memperhitungkan luas kontak dan panjang contoh batuan akan diperoleh kurva tegangan regangan. Contoh yang memiliki  $(L/D) > 2,5$  akan mempunyai nilai UCS lebih kecil dan lebih cepat mengalami keruntuhan. Contoh yang memiliki  $(L/D) < 2$  akan mempunyai nilai UCS lebih besar dan lebih kuat. Untuk kondisi contoh dengan  $(L/D) = 1$ , kondisi tegangan akan saling bertemu sehingga akan memperbesar nilai kuat tekan. Kurva tegangan regangan pada uji kuat tekan uniaksial dapat dilihat pada gambar 2,2.



Gambar 2.2 Kurva tegangan regangan pada uji kuat tekan uniaksial (Hoek and Brown, 1980; Leba dkk., 2020).



Menurut (Rai dkk., 2014) dalam bukunya yang berjudul "Mekanika Batuan" beberapa faktor yang mempengaruhi kurva tegangan-regangan yaitu

a. Geometrik dan bentuk contoh batuan

Geometri contoh batuan yang berbentuk silindir, kubus, atau persegi panjang akan mempengaruhi hasil uji kuat tekan uniaksial dan triaksial. Ukuran atau diameter juga mempengaruhi nilai kuat tekan. Martin & Chandler (1994) dalam Rai dkk. (2014) menjelaskan, uji laboratorium dan *in-situ* pada batuan *Lac du Bonnet Granite* menunjukkan bahwa kuat tekan *in-situ* batuan hanya sekitar 70% daripada kuat tekan batuan utuhnya.

b. Kondisi pelat penekan

Uji kuat tekan harus memenuhi beberapa persyaratan seperti karakteristik plat penekan yaitu, kekerasan, tebal, dan diameter (ISRM, 1981). Jika diameter plat penekan melebihi batas yang ditentukan maka akan terjadi yang disebut pembatas gesek antara plat penekan dan contoh batuan dan mengakibatkan nilai kuat tekan yang tidak murni.

c. Kekuatan mesin tekan

Kekuatan mesin tekan akan mempengaruhi proses runtuh batuan dalam uji kuat tekan, apakah akan runtuh secara *violently* atau tidak.

d. Kondisi lingkungan contoh batuan – kandungan air`

Kondisi air yang terkandung pada batuan akan menentukan nilai kuat tekan batuan tersebut. Semakin jenuh batuan tersebut, semakin lemah nilai kuat tekannya.

e. Temperatur

Temperatur akan mempengaruhi hasil uji kuat tekan uniaksial batuan, terutama nilai *modulus young* (E), semakin tinggi temperatur pengujian, semakin rendah nilai *modulus young* yang didapat.

f. Bobot Isi, kandungan mineral, ukuran butir dan sifat isotropik

Bobot isi menunjukkan kerepatan suatu benda, sehingga semakin besar nilai bobot isinya maka semakin padat benda tersebut dan semakin besar nilai kuat tekannya. Kekuatan batuan ditentukan dari mineral pembentuk batuan tersebut. Semakin keras mineral pembentuknya maka semakin keras batuan tersebut dan akan menghasilkan nilai kuat tekan yang semakin besar. Sifat anisotrop batuan akan membuat hasil uji kuat tekan uniaksial dari batuan akan berbeda satu dengan yang lain meskipun batuan tersebut berjenis sama. Sementasi atau material pengisi (kuarsa, kalsit, lempung dll) mempersulit penentuan kuat tekan.

#### B. Kuat tekan uniaksial

Kuat tekan merupakan kemampuan batuan untuk menerima beban hingga mengalami keruntuhan ketika di berikan beban dan tekanan (Leba dkk., 2020). Pengujian kuat tekan dimaksudkan untuk menentukan ketahanan material batuan bila diberikan beban (Purwanto dkk., 2017). Menurut New York State Department of Transportation (2013) dalam bukunya *Geotechnical Design Manual Chapter 6*, kuat tekan adalah kapasitas material untuk menahan gaya tekan tekan yang diarahkan secara aksial. Kuat tekan uniaksial ( $\sigma_c$ ) adalah gambaran dari nilai tegangan maksimum yang dapat ditanggung sebuah contoh batuan sesaat sebelum contoh tersebut hancur (*failure*) tanpa adanya pengaruh dari tegangan pemampatan (tegangan pemampatan sama dengan nol). Persamaan kuat tekan uniaksial adalah (Rai dkk., 2014)

$$\sigma_c = \frac{F}{A} \dots\dots\dots 2.8$$

Keterangan:

$$\sigma_c = \text{Kuat tekan uniaksial (Mpa)}$$

F = Gaya yang bekerja pada saat sampel batuan hancur (kN)

A = Luas penampang awal sampel uji yang tegak lurus arah gaya (mm<sup>2</sup>)

### C. Modulus *young*

Modulus *young* atau modulus elastisitas adalah ukuran kemampuan batuan untuk mempertahankan kondisi elastisnya. Modulus elastisitas diperoleh melalui uji kuat tekan uniaksial dan didefinisikan sebagai perbandingan antara tegangan yang diberikan terhadap suatu material pada salah satu sumbu terhadap regangan yang dialami sepanjang sumbu tersebut. Ada lima fase yang dialami contoh batuan di setiap pengujian kuat tekan. Lima fase tersebut adalah sebagai berikut

- a. Fase pertama adalah contoh batuan yang mengalami konsolidasi, yaitu akan terjadi penampatan rongga pada batuan. Fase ini ditandai oleh garis lengkung terbuka ke atas, di mana jika fase ini dihentikan dalam pengujian, garis lengkung tersebut akan Kembali ke titik noil tanpa mengalami perubahan apapun pada contoh batuan.
- b. Fase kedua adalah fase elastis, yaitu batuan mengalami tegangan secara cepat dan ditandai oleh garis lurus pada grafik tegangan-regangan. Pada fase inilah batuan mengalami regangan sejalan dengan kenaikan tegangan. Fase ini mencirikan sifat keteknikan batuan dengan membandingkan kenaikan tegangan terhadap regangan yang dialami secara vertikal dan diametral.
- c. Fase ketiga adalah fase transisi dari fase elastis ke fase plastis. Fase ini sering kali tidak terbaca saat pengujian, tetapi biasanya ada perubahan garis lurus menjadi garis lengkung.
- d. Fase keempat adalah fase plastis, yaitu batuan mengalami deformasi permanen. Perubahan Panjang sumbu vertical dan diametral berubah

secara permanen. Fase ini ditandai oleh garis lengkung yang tertutup ke bawah pada grafik tegangan-regangan.

- e. Fase kelima adalah fase luluh (*yield*) sekaligus juga fase puncak (*peak*), yaitu batuan menerima tegangan maksimum sebelum batuan yang diuji mengalami keruntuhan.

Pada uji kuat tekan uniaksial, contoh batuan yang diberi tekanan akan mengalami beberapa tahap deformasi yakni deformasi elastik dan deformasi plastik. Nilai modulus *Young* diturunkan dari kemiringan kurva tegangan-regangan pada bagian linear karena pada saat itulah contoh batuan mengalami deformasi elastik (Pratama, 2016). Persamaan untuk menentukan modulus elastisitas adalah:

$$E = \frac{\Delta\sigma}{\Delta\varepsilon_a} \dots\dots\dots 2.9$$

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L} \dots\dots\dots 2.10$$

Keterangan:

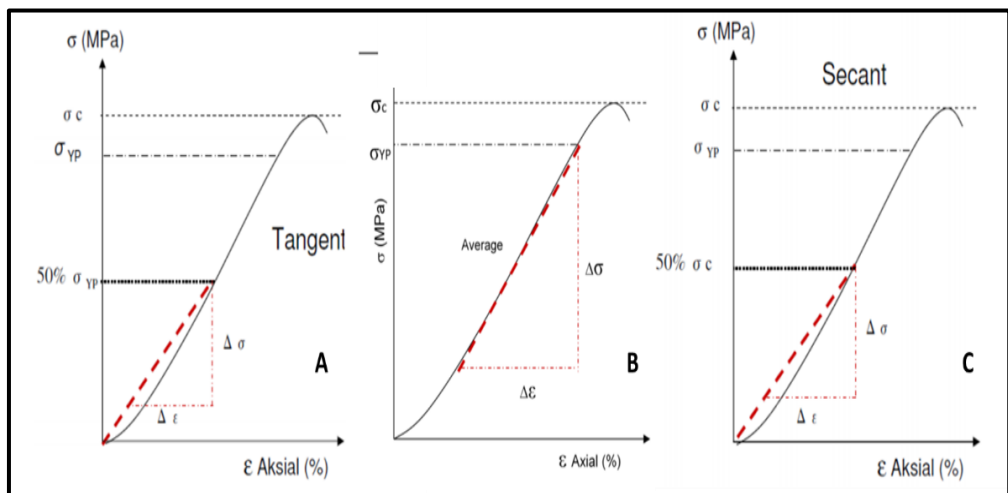
E = Modulus Young (MPa),

$\Delta\sigma$  = Perbedaan tegangan (MPa)

$\Delta\varepsilon_a$  = Perbedaan regangan aksial (%),

L = Panjang awal contoh batuan (mm)

$\Delta l$  = Perubahan panjang contoh batuan (mm)



Gambar 2.3 Metode standar penentuan modulus elastisitas (Arif, 2016)

Kurva tegangan-regangan untuk deformasi aksial adalah cara terbaik untuk menguji elastisitas batuan dan untuk menentukan modulus elastisitas (modulus *Young*). *International Society of Rock Mechanics* (ISRM) menyarankan tiga standar untuk penentuannya. Standarnya sebagai berikut:

- a. *Tangent Young's modulus* ( $E_t$ ), diukur pada tingkat tegangan = 0 sampai tegangan tertentu, biasanya 50%  $\sigma_{yp}$  (Gambar 2.3a);
- b. *Average Young's modulus* ( $E_{av}$ ), diukur dari rata-rata kemiringan kurva atau bagian linear yang terbesar dari kurva (Gambar 2.3b);
- c. *Secant Young's modulus* ( $E_s$ ), diukur dari tegangan = 0 sampai nilai tegangan tertentu, biasanya 50%  $\sigma_c$  (Gambar 2.3c).

D. Nisbah *Poisson*

Nisbah *Poisson* ( $\nu$ ) adalah nilai mutlak dari perbandingan antara regangan lateral terhadap regangan aksial. Jika suatu material diregangkan pada satu arah, maka material tersebut cenderung mengkerut dan jarang, mengembang pada dua arah lainnya. Sebaliknya, jika suatu material ditekan, maka material tersebut akan mengembang dan jarang mengkerut pada dua arah lainnya (Gambar 2.4).

Kategori nisbah *Poisson* dapat dilihat pada tabel 2.6

Tabel 2.6 kategori nisbah poisson (Rai dkk., 2014)

Nilai Poisson Ratio ( $\nu$ )	Kategori
$0 < \nu < 0.1$	Sangat rendah
$0.1 < \nu < 0.2$	Rendah
$0.2 < \nu < 0.3$	Medium
$0.3 < \nu < 0.4$	Tinggi
$0.4 < \nu < 0.5$	Sangat Tinggi

$$\nu = -\frac{\epsilon_l}{\epsilon_a} = \frac{\Delta d/d}{\Delta l/l} \dots\dots\dots 2.11$$

Keterangan:

$\nu$  = nisbah Poisson,

$\epsilon_l$  = regangan lateral, dan

$\epsilon_a$  = regangan aksial.

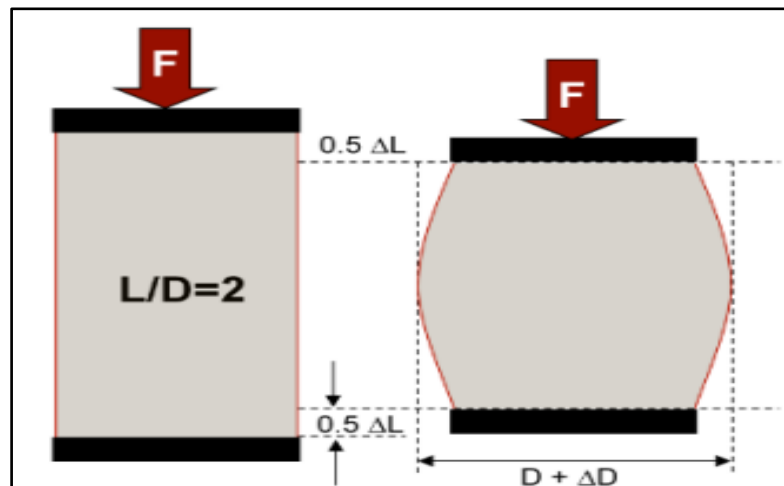
$\Delta d$  = Perubahan diameter batuan uji (mm)

$d$  = Diameter awal batuan uji (mm)

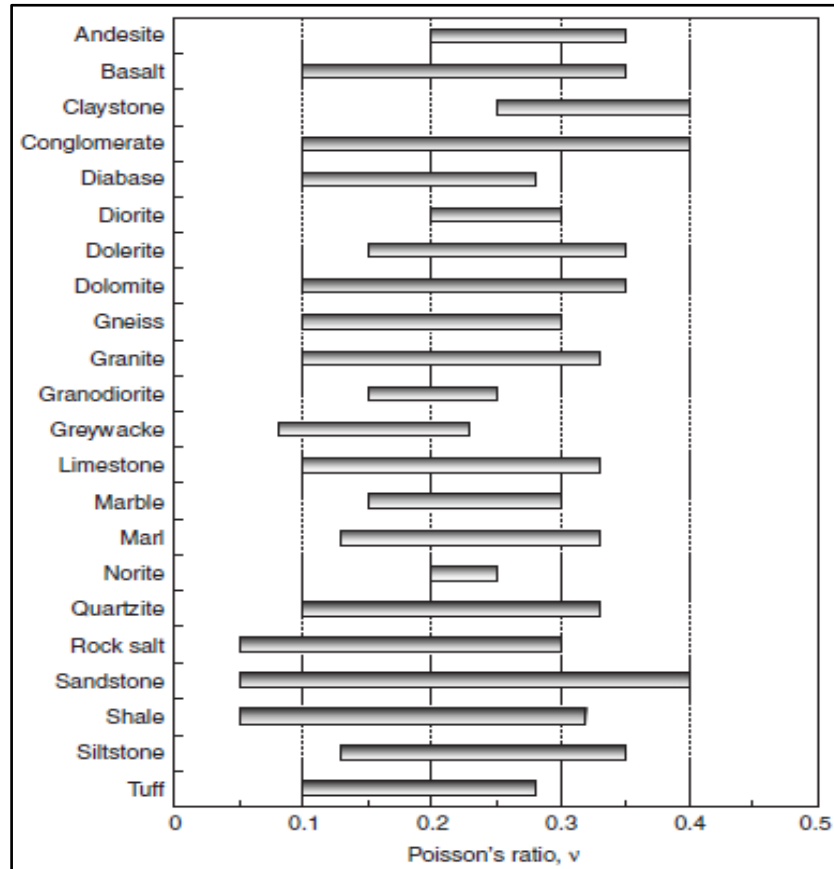
$\Delta l$  = Perubahan panjang batuan uji (mm)

$l$  = Panjang awal batuan uji (mm)

Perubahan bentuk pada contoh batuan pada uji kuat tekan uniaksial dapat dilihat pada Gambar 2.4. Nisbah *Poisson* sangat tergantung pada tingkat tegangan serta dipengaruhi oleh pembukaan dan penutupan rekahan dalam batuan saat pengujian dilakukan dan nilainya bervariasi sesuai dengan deformasi batuan tersebut. Nisbah *Poisson* sangat jarang bernilai negatif atau lebih besar dari 0,5. Untuk batuan isotropik nilainya berada di antara 0-0,5. Sementara itu, untuk batuan pada umumnya nilai Nisbah *Poisson* berkisar 0,05-0,45, sedangkan untuk aplikasi rekayasa nilainya sekitar 0,2-0,3 dan untuk batubara berkisar 0,25-0,346. Kisaran nilai *Poisson's ratio* (Gambar 2.5) (Rai dkk., 2014).



Gambar 2.4 Perubahan Bentuk Contoh Batuan Pada Uji Kuat Tekan Uniaksial (Rai dkk., 2014)



Gambar 2.5 Kisaran nilai *Poisson's ratio* beberapa jenis batuan (Gercek, 2007)

Beberapa kasus dengan nilai nisbah *Poisson* negatif atau lebih besar dari 0,5 mungkin terjadi dikarenakan batuan yang sangat anisotropik; terdapat kasus di mana retakan mikro yang diinduksi secara termal pada granit menyebabkan nisbah *Poisson* negatif dalam kompresi dan tegangan.

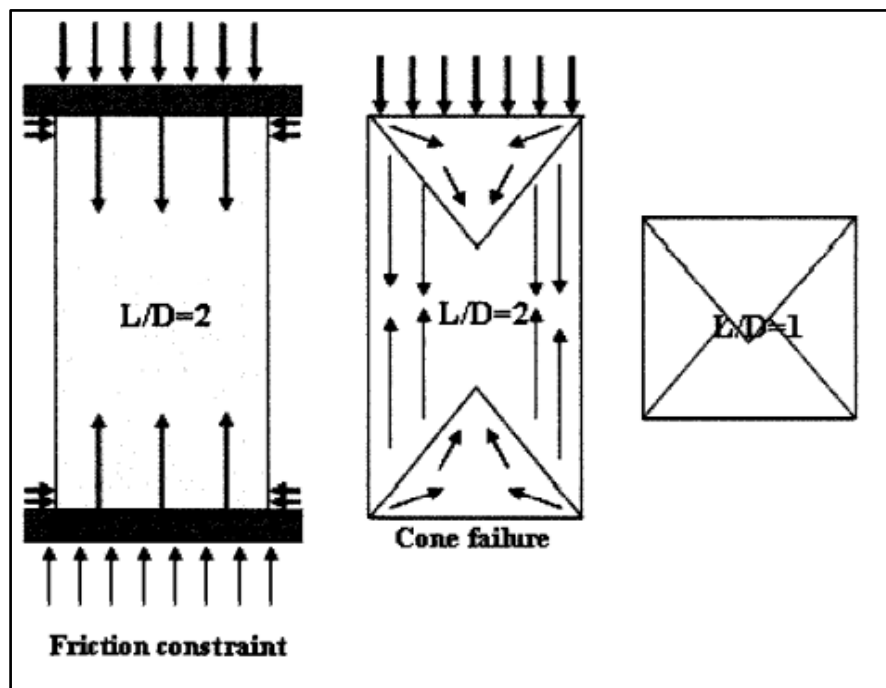
## 2.4 Uji Kuat Tekan Uniaksial

Penelitian mengenai uji kuat tekan uniaksial telah banyak dilakukan di beberapa wilayah termasuk Indonesia. Kekuatan batuan merupakan kriteria yang sangat penting untuk klasifikasi batuan agar dapat mengoptimalkan penggunaan konstruksi dan desain struktur permukaan dan bawah permukaan (Yilmaz, 2009). Uji kuat tekan uniaksial merupakan uji sifat mekanik yang paling banyak dilakukan terhadap suatu contoh batuan

(Rangga dkk., 2019). Kuat tekan uniaksial sebagai parameter yang paling banyak digunakan untuk mengevaluasi kekuatan batuan, membutuhkan pengujian yang mahal dan memakan waktu dengan persiapan sampel yang cermat (Karakus, dkk ; Guskarnali dkk., 2020).

Prosedur untuk mengukur kuat tekan uniaksial telah distandarisasi oleh *American Society for Testing and Materials* (ASTM) dan *International Society for Rock Mechanics* (ISRM). Sampel dengan perbandingan antara diameter dan panjang sebesar lebih dari 2 dipercaya sebagai nilai kuat tekan uniaksial yang sebenarnya atau *uniaxial compressive strength true* (Siegesmund & Snethlage, 2011).

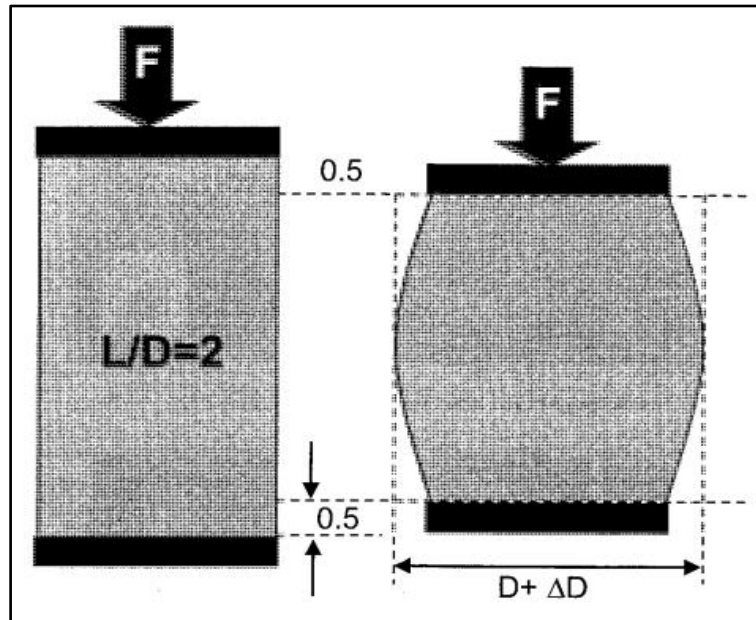
Selain perbandingan antara diameter dan panjang sampel, preparasi sampel seperti kualitas kedua ujung sampel harus data dengan akurasi 0,1%, menjadi hal yang penting dalam melakukan pengujian kuat tekan uniaksial. Beban yang diterapkan pada sampel dilakukan dengan tingkat regangan  $10^{-5}$  per detik sampai mengalami keruntuhan (Siegesmund & Snethlage, 2011)



Gambar 2.6 Distribusi Tegangan Didalam Contoh Batuan Pada Uji Kuat (Rai dkk., 2014).



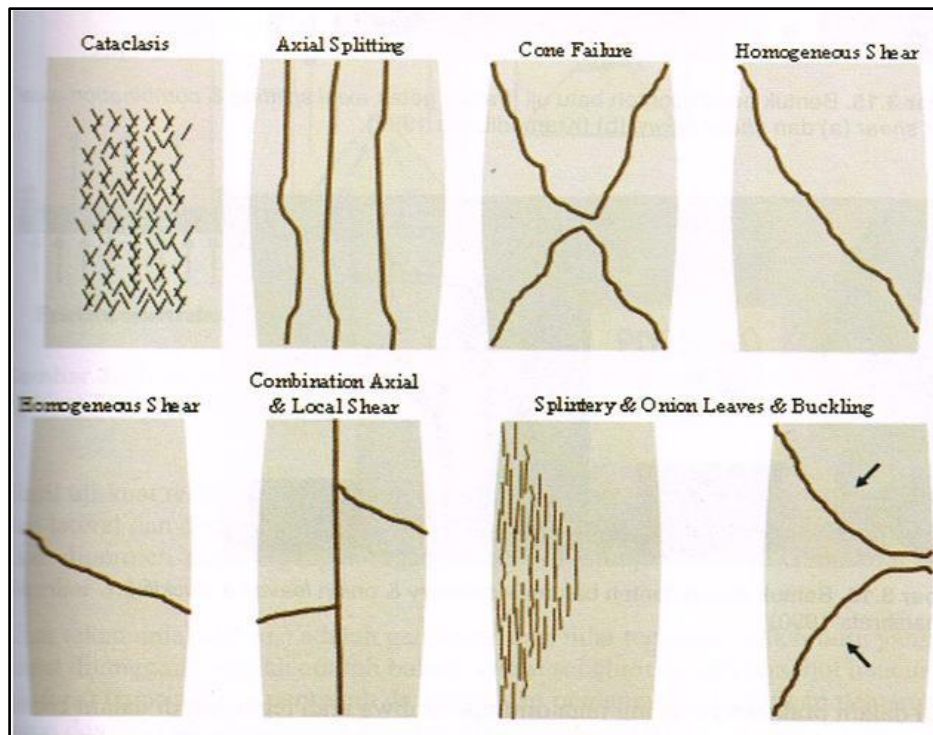
Ketika penekanan dilakukan terhadap contoh batu uji maka contoh batu akan mengalami pemendekan pada sisi aksial dan penggelembungan pada sisi lateral seperti ditunjukkan pada gambar 2.7



Gambar 2.7 Perubahan bentuk contoh batuan pada Uji Kuat Tekan (UCS) ((Rai dkk., 2014)

Mekanisme pecahnya batuan getas (*brittle*) dengan kondisi kekakuan mesin tekan yang tidak terlalu besar akan bersifat *violent* dan disebut sebagai fraktur getas (*brittle fracture*). Menurut Griffith (1921) seperti dikutip Rai dkk. (2014) bahwa arah retakan dari sebuah material getas akan sesuai dengan tegangan utama maksimumnya. Sehingga bila persyaratan kondisi ideal pengujian telah dipenuhi maka sampel uji batuan getas akan pecah secara vertikal yang searah dengan pembebanan maksimumnya, yaitu tegangan aksial dan mekanisme pecahnya bersifat *fractur* getas. Tetapi dalam prakteknya sering juga dijumpai bahwa arah tegangan di dalam sampel batuan uji tidak 100% searah dengan gaya yang dikenakan pada sampel batuan tersebut karena adanya pengaruh dari pelat penekan mesin tekan yang menghimpit sampel sehingga bentuk pecahan tidak berbentuk bidang pecah yang searah dengan gaya melainkan berbentuk kerucut. Pecahan kerucut akan dijumpai jika  $L/D$  sampel batuan uji lebih kecil dari 2

(dua). Tergantung dari jenis batuan, kondisi rekahan awal (*pre-existing cracks*) pada sampel batuan uji dan sistem mesin kuat tekan yang digunakan untuk pengujian maka bentuk pecah sampel batuan uji akan bervariasi mulai *cataclasis*, *axial splitting*, pecahan kerucut (*cone failure*), *homogeneous shear*, *combination axial and local shear*, *splintery and onion leaves*, dan *buckling*.



Gambar 2.8 Tipe pecahan batuan hasil uji UCS (Kramadibrata, 1990; Raddok, 2014)

Secara umum, ada tiga tipe pecahan batuan yang sering terjadi pada uji kuat tekan uniaksial, yaitu *shear failure*, *axial splitting*, dan *multiple cracking*. *Shear failure* terjadi ketika rekahan tunggal atau beberapa rekahan merambat ke seluruh sampel batuan sehingga terjadi pergeseran sepanjang rekahan yang terbentuk. Bidang geser tempat terjadinya geseran akan membentuk sudut tertentu terhadap tegangan aksial yang diberikan. *Axial splitting* terbentuk jika rekahan yang terjadi searah atau paralel dengan arah tegangan aksial. Hal ini menunjukkan bahwa ikatan butiran pada sampel akan runtuh karena tarikan. Sedangkan *multiple cracking* terjadi ketika sampel pecah

sepanjang bidang pada arah yang tidak beraturan dan merupakan kombinasi dari runtuh geser serta *axial splitting*.

Bienawski (1974) seperti yang dikutip Kurniawan (2019) mengklasifikasikan batuan berdasarkan nilai kuat tekan batuan. Penentuan nilai kuat tekan batuan dilakukan melalui pengujian kuat tekan batuan uniaksial dan *point load*. Bienawski membagi kekuatan batuan ke dalam lima kelas berdasarkan nilai kuat tekan yang diperoleh dari pengujian kuat tekan uniaksial (tabel 2.7).

Tabel 2.7 Kekuatan batuan berdasarkan nilai kuat tekan (Bienawski, 1974; Kurniawan, 2019)

<b>Description</b>	<b>Uniaxial compressive strength (Mpa)</b>	<b>Point load strength index (MPa)</b>
Very high strength	>200	>8
High Strength	100-200	4-8
Medium strength	50-100	2-4
Low strength	25-50	1-2
Very low strength	<25	<1

Kuat tekan batuan bergantung pada bentuk, kualitas permukaan plat penekan, permukaan sampel batuan, porositas dan kadar air dari batu, laju pembebanan dan ukuran sampel. Kekuatan tekan batuan berkurang dengan adanya peningkatan porositas. Air di pori-pori batuan mengurangi besarnya gesekan internal batu sehingga mengurangi kekuatan batuan. Sampel dalam keadaan basah biasanya memiliki kekuatan 1/3 dari sampel kering (Indian Bureau of Mines, 2014)

## **2.5 SCHMIDT HAMMER**

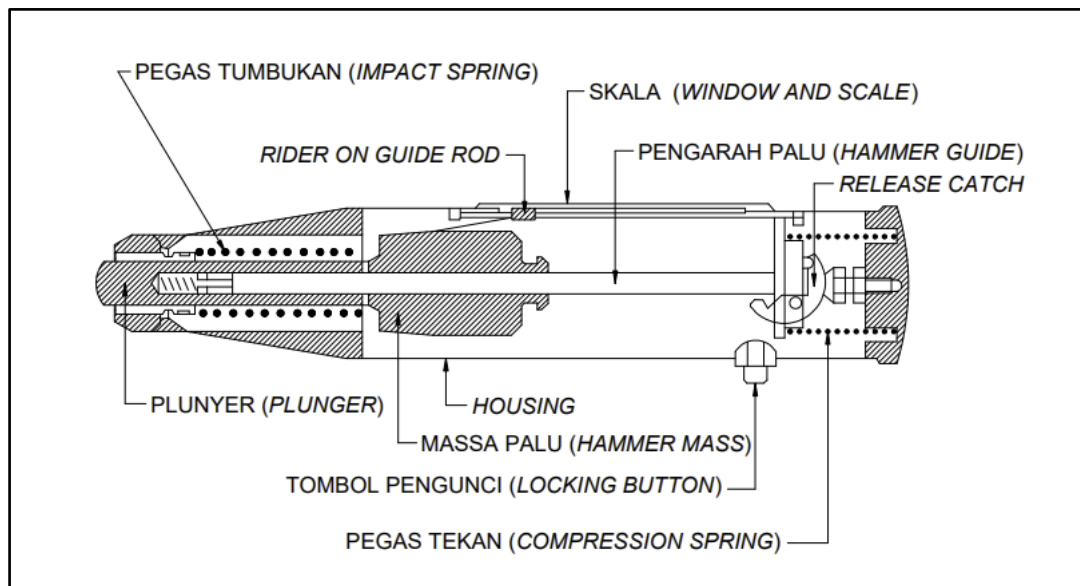
*Schmidt Hammer* merupakan alat untuk mengukur sifat elastis atau kekuatan beton atau batu, terutama kekerasan suatu batuan (Hanifah dkk., 2020). *Schmidt Hammer* dikembangkan di akhir tahun 1940-an sebagai indeks peralatan untuk

pengujian *non-destruktif* dari beton *insitu* (pengujian di lapangan) telah digunakan dalam praktik mekanika batuan sejak awal 1960-an, terutama untuk memperkirakan kekuatan tekan uniaksial (UCS) dan modulus *Young* ( $E_t$ ) dari material batuan (Aydin & Basu, 2005).

Metode *hammer test* akan memperoleh cukup banyak data dalam waktu yang relatif singkat dengan biaya yang murah. Metode pengujian ini dilakukan dengan memberikan beban *intact* (tumbukan) pada permukaan beton dengan menggunakan suatu massa yang diaktifkan dengan menggunakan energi yang besarnya tertentu. Prinsip kerja *hammer test* adalah menghasilkan sebuah nilai *rebound* sesaat setelah baja (*plunger*) masuk ke dalam *hammer* karena ada gaya dorongan ke arah permukaan beton atau batuan. Nilai *rebound* ini dihasilkan dari gaya reaksi hantaman beban di dalam *hammer test* melalui *plugger* ke permukaan beton atau batuan, gaya reaksi tadi memberikan tolakan berlawanan kepada beban yang kemudian menggerakkan sebuah *pointer* sampai ke titik tertentu yang terbaca pada skala ukur. Nilai *rebound* inilah yang kemudian akan menunjukkan kuat tekan beton setelah dikonversi melalui grafik atau tabel yang ada pada *hammer* beton sesuai sudut penembakan (Simanjuntak & Saragi, 2015).

*Schmidt Hammer* terbagi atas dua tipe yaitu, tipe L dan tipe N. *Schmidt Hammer* didesain dengan level energi impact yang berdeda-beda pada setiap tipe-nya. Tipe L mempunyai energi impact 0,735 J yang hanya sepertiga dari energi impact tipe N sebesar 2,207 J. Tipe L biasanya digunakan untuk menguji contoh batuan silinder sedangkan tipe N biasanya digunakan untuk menguji contoh batuan yang lebih besar seperti blok batuan ataupun langsung pada massa batuan (Aydin & Basu, 2005; Rai dkk., 2014). Aydin & Basu (2005) juga mengemukakan bahwa *Schmidt Hammer* tipe N kurang sensitif ke permukaan yang mengalami penyimpangan atau dalam hal ini memiliki pengujian lemah, berpori dan batuan lapuk, sedangkan tipe L memiliki sensitivitas yang lebih besar

di kisaran rendah dan memberikan hasil yang lebih baik saat pengujian lemah, berpori, dan batuan lapuk. Menurut Shorey dkk. (1984) seperti dikutip Aydin & Basu (2005) mengatakan bahwa *Schmidt Hammer* tipe N harus digunakan untuk batuan yang memiliki nilai UCS lebih dari 20 MPa.



Gambar 2.9 Komponen *Schmidt Hammer* (Badan Standar Nasional, 2012)

Nilai pantul *Schmidt Hammer* adalah rata-rata dari 10 nilai pantulan terbesar untuk setiap pengujian. Jarak pantulan ini merupakan fungsi dari jumlah energi impak yang hilang akibat deformasi *plastic* dan *failure* dari batu di tempat terjadinya impak (Hudson, 1970; Rai dkk., 2014). Pengujian dengan menggunakan *Schmidt Hammer* terlebih dahulu dilakukan kalibrasi. Proses kalibrasi dilakukan dengan melakukan sepuluh kali pembacaan nilai pantul *Schmidt Hammer* pada anvil standar yang telah diketahui nilai pantul *Schmidt Hammer*-nya. Faktor koreksi (*k*) ini dapat dituliskan dalam bentuk persamaan berikut (Rai dkk., 2014)

$$k = \frac{\text{nilai pantul standar dari anvil}}{\text{rata-rata dari 10 pembacaan nilai pantul}} \dots\dots\dots 2.12$$

Pada penelitian ini, metode pengambilan nilai pantul mengacu pada SNI ASTM C805:2012. Pengujian dilakukan pada 10 titik bacaan pada setiap daerah pengujian dengan jarak masing-masing titik bacaan tidak boleh lebih kecil dari 25 mm. Hasil

pembacaan yang berbeda lebih dari 6 satuan dari rata-rata 10 titik bacaan diabaikan dan nilai rata-rata dihitung dari pembacaan data yang memenuhi syarat. Bila lebih dari 2 titik bacaan memiliki perbedaan lebih dari 6 satuan dari nilai rata-rata, maka seluruh rangkaian pembacaan harus dibatalkan (Badan Standar Nasional, 2012)

*Schmidt Hammer* memiliki banyak kelebihan untuk penelitian geomorfologi tetapi untuk penggunaan yang efektif perlu juga diketahui bahwa *Schmidt Hammer* memiliki beberapa keterbatasan atau kelemahan (Goudie, 2006). Berikut kelebihan dan kekurangan *Schmidt Hammer*.

#### 2.5.1 Kelebihan *Schmidt Hammer*

- a. Portabilitas atau mudah dibawa (berat antara 1,7 dan 2,3 kg).
- b. Murah (US \$ 670 untuk tipe N).
- c. Mampu untuk membuat banyak bacaan secara langsung di lapangan.
- d. Sederhana.
- e. Bukti empiris menunjukkan bahwa nilai-nilai R (nilai pantul) berkorelasi dengan baik dengan sifat batuan lainnya (Goudie, 2006).
- f. Suhu tidak memiliki pengaruh yang cukup besar pada nilai R (Day & Goudie, 1977; Goudie, 2006).
- g. Tidak merusak sampel.

#### 2.5.2 Kekurangan *Schmidt Hammer*

- a. Hal ini sangat sensitif terhadap diskontinuitas dalam batuan. Oleh karena itu, belahan, foliasi erat dan laminasi yang terdapat pada batuan tidak dapat dengan mudah diselidiki dengan metode ini (Goudie, 2006).
- b. Pengujian *Schmidt Hammer* sensitif terhadap kadar air, terutama dalam batuan lemah (Sumner and Nel, 2002).

- c. Apabila menggunakan sampel berbentuk blok, maka blok yang digunakan harus menunjukkan massa batuan secara signifikan, dan pengujian tidak dapat digunakan blok batuan yang kecil dan ringan (Goudie, 2006).
- d. Jenis palu, normalisasi nilai Pantulan, spesimen dimensi, kehalusan permukaan, pelapukan dan kadar air, dan pengujian, reduksi data dan prosedur analisis akan mempengaruhi konsistensi dan reliabilitas hasil pengujian *Schmidt Hammer* (Aydin & Basu, 2005).
- e. Umur palu memengaruhi nilai hasil pengujian (Goudie, 2006).

## 2.6 SAYATAN TIPIS

Pengamatan mineragrafi adalah kegiatan yang dilakukan untuk mengetahui jenis-jenis mineral atau hubungan antar mineral logam dengan mengamati tekstur mineral bijih. Pengamatan mineragrafi yang akan dilakukan menggunakan sayatan poles/ sayatan tipis dan alat mikroskop. Sifat optik dan sifat fisik merupakan bentuk identifikasi mineral bijih yang mana sifat optik itu sendiri antistropisme, warna, refleksi ganda, dan refleksi dalam sedangkan sifat fisik meliputi bentuk kristal, habit, belahan dan kembaran (Craig & Vaughan, 1994)

Sampel batuan dianalisis menggunakan Mikroskop Polarisasi Nikon Eclipse 50i POL dengan lensa polarisator bawah (pengamatan nikol sejajar) dan polarisator atas/analisisator (pengamatan nikol bersilang). Sampel batuan sebelum dianalisis terlebih dahulu dipreparasi menjadi sayatan tipis dengan ketebalan standar  $\pm 30 \mu\text{m}$  dan direkatkan ke *glass slide* dan *glass cover* menggunakan epoksi (indeks bias: 1,54). Untuk mengidentifikasi mineral, maka karakter mineral yang diamati dalam pengamatan nikol sejajar meliputi bentuk mineral, belahan (*cleavage*), warna, perubahan warna (jika ada), relief atau perbedaan indeks bias mineral terhadap epoksi. Analisis sayatan tipis

umumnya dilakukan tanpa menggunakan *compensator plate (gypsum plate)* (Sasmita dkk., 2017).

## 2.7 ANALISIS X-RAY DIFFRACTION

*X-Ray diffraction (XRD)* adalah teknik analisis yang digunakan untuk mencirikan fase kristalin dari berbagai macam bahan, XRD biasanya digunakan dalam analisis mineralogi dan identifikasi bahan yang tidak diketahui. Data difraksi secara fundamental diturunkan oleh susunan atom dan molekul yang dijelaskan oleh kristalografi material (Bunaciu dkk., 2015).

Analisis mineralogi dengan XRD mempunyai keunggulan dibandingkan analisis petrografi karena dapat mengidentifikasi dengan jelas jenis mineral lempung. Sebagai objek yang sangat penting dalam penelitian yang berbasis batuan atau material, Teknik preparasi sampel XRD yang berkualitas dan berstandar riset mutlak dibutuhkan dalam setiap kegiatan riset (Wicaksono dkk., 2017).

Ada beberapa keuntungan dari teknik XRD di laboratorium (Bunaciu dkk., 2015).

- a. Tidak merusak sampel, cepat, dan mudah;
- b. Akurasi tinggi untuk perhitungan *d-spacing*;
- c. Dapat dilakukan insitu; 23
- d. Memungkinkan karakterisasi kristal tunggal, poli, dan bahan amorf;
- e. Tersedia untuk ribuan sistem material.

Komponen utama XRD (*X-Ray Diffraction*) yaitu terdiri dari tabung katoda (tempat terbentuknya sinar-X), sampel holder dan pendeteksi. XRD memberikan data-data difraksi dan kuantisasi intensitas difraksi pada sudut-sudut dari suatu bahan. Data yang diperoleh dari XRD berupa intensitas difraksi sinar-X yang terdifraksi dan sudut-sudut  $2\theta$ . Tiap pola yang muncul pada pola XRD mewakili satu bidang kristal yang memiliki orientasi tertentu (Widyawati, 2012).



Hasil yang diperoleh dari pengukuran dengan menggunakan instrumen *X-Ray Diffraction* (XRD) adalah grafik difraktogram. Difraktogram adalah output yang merupakan grafik antara  $2\theta$  (*diffraction angle*) pada sumbu X versus intensitas pada sumbu Y. Bentuk keluaran dari difraktometer dapat berupa data analog atau digital. Data analog berupa grafik garis-garis yang terekam per menit sinkron, dengan detektor dalam sudut  $2\theta$  per menit, sehingga sumbu X setara dengan sudut  $2\theta$ . Sedangkan rekaman digital menginformasikan intensitas sinar-X terhadap jumlah intensitas cahaya per detik. Pola difraktogram yang dihasilkan berupa deretan puncak difraksi dengan intensitas relatif bervariasi sepanjang nilai  $2\theta$  tertentu. Besarnya intensitas relatif deretan puncak bergantung pada jumlah atom atau ion yang ada dan distribusinya di dalam sel satuan material. Pola difraksi setiap padatan kristalin sangat khas, yang bergantung pada kisi kristal, unit parameter dan panjang gelombang sinar-x yang digunakan (Warren, 1969).

## 2.8 SYARAT MUTU BATU ALAM UNTUK BAHAN BANGUNAN

Batu alam untuk bahan bangunan yang dipergunakan sebagai pondasi, penutup lantai, batu tempel/batu hias, dan batu tonggak memiliki standar kuat tekan batuan. Berdasarkan syarat mutu batu alam untuk bangunan yang dikeluarkan oleh Standar Nasional Indonesia nomor 03-0394-1989 mengklasifikasikan peruntukan batu alam berdasarkan kuat tekan batuan tabel (2.8).

Tabel 2.8 Syarat mutu batu alam untuk bahan bangunan Standar Nasional Indonesia (SNI 03-0394-1989)

Sifat-Sifat	Peruntukan batu Alam					
	Pondasi bangunan			Tonggak dan batu Tepi jalan	Penutup lantai /trotoar	Batu Hias Atau Batu Tempel
	Berat	Sedang	Ringan			
Kuat tekan rata-rata minimum (MPa)	147	98	78,45	49	58,84	19,61

## 2.9 Analisis Korelasi

Analisis korelasi menggunakan analisis korelasi linear sederhana program Microsoft excel. Korelasi ini akan menentukan hubungan antara dua variabel, berdasarkan nilai r atau koefisien korelasi yang telah dibagi oleh Guild (tabel 2.9) ke dalam beberapa kategori. Apabila nilai  $r = -$ , maka variabel tersebut memiliki hubungan berbanding terbalik, begitupun sebaliknya. Hasil dari analisis regresi sederhana di tentukan menggunakan aplikasi statistic Microsoft excel. Rumus korelasi linear sederhana yaitu sebagai berikut.

$$Y = a + bx \dots\dots\dots 2.13$$

$$a = \frac{\sum Xi^2 \sum Yi - \sum Xi \sum (XiYi)}{nXi^2 - (\sum Xi)b^2} \dots\dots\dots 2.14$$

$$b = \frac{\sum X(XiYi) - \sum Xi \sum Yi}{n \sum Xi^2 - (\sum XiYi)^2} \dots\dots\dots 2.15$$

Model korelasi telah diuji tingkat kerataan datanya dengan menentukan nilai regresi (r). Rumus yang digunakan untuk menentukan nilai regresi data sebagai berikut.

$$r = \frac{n \sum XiYi - (\sum Xi)(\sum Yi)}{\sqrt{[n(\sum Xi^2) - (\sum Xi)^2][n(\sum Yi^2) - (\sum Yi)^2]}} \dots\dots\dots 2.16$$

Tabel 2.9 Klasifikasi korelasi (Guilford,1956; Helistiawan, 2008)

Koefisien Korelasi	Hubungan
0-0,2	Tidak ada korelasi
0,21-0,4	Rendah atau Kurang
0,41-0,7	Cukup
0,71-0,9	Tinggi
0,91-1	Sangat Tinggi

Model matematika yang telah didapatkan dari hasil pengolahan dan analisis data akan divalidasi dengan menggunakan analisis *mean absolute percentage error* (MAPE). MAPE (*Mean Absolute Percentage Error*) adalah metode yang digunakan untuk

menghitung perbedaan antara data asli dan data hasil peramalan. Besar nilai MAPE dimaksudkan untuk mengukur keakuratan hasil peramalan. *Mean Absolute Percentage Error* (MAPE) dihitung dengan menggunakan kesalahan absolut pada tiap periode dibagi dengan nilai observasi yang nyata untuk periode itu. Suatu model mempunyai kinerja sangat baik jika nilai MAPE berada di bawah 10%, dan mempunyai kinerja baik jika nilai MAPE berada di antara 10% dan 20% (Ajunu dkk., 2020). Nilai MAPE dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 2.17. Teknik peramalan dikatakan semakin baik jika nilai MAPE yang diperoleh semakin kecil seperti pada Tabel 2.5 mengenai kriteria nilai MAPE.

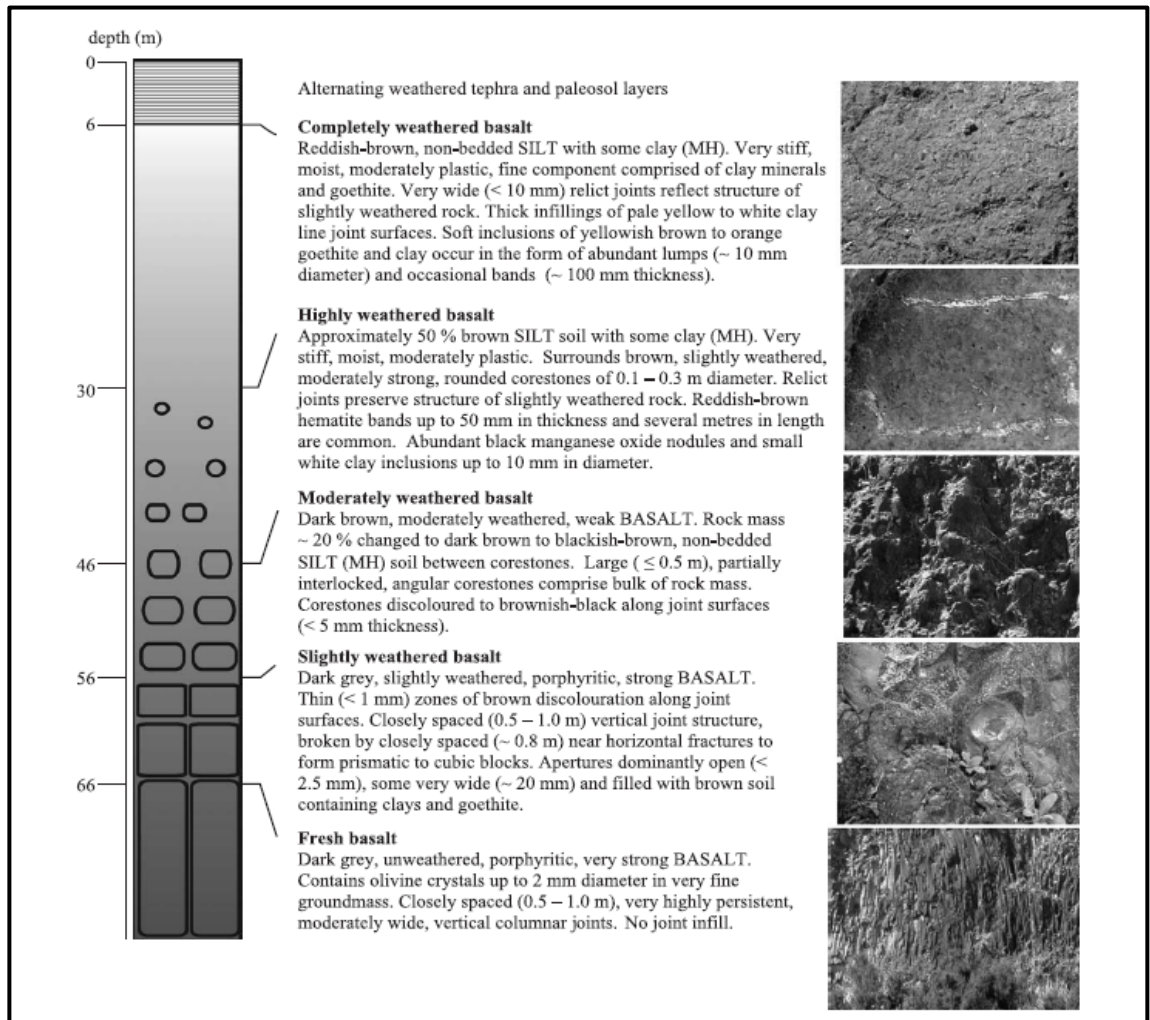
$$\text{MAPE} = \frac{\sum_{t=1}^n \left| \frac{(X_t - F_t)}{X_t} \right| (100)}{n} \dots\dots\dots 2.17$$

Tabel 2.10 Kriteria nilai MAPE (Ajunu dkk, 2020)

Nilai	Keterangan
$x < 10\%$	Sangat baik
$10\% < x < 20\%$	Baik
$20\% < x < 50\%$	Cukup baik
$x \geq 50\%$	Buruk

## 2.10 Hasil Penelitian Terkait

Penelitian pelapukan yang diteliti pada batuan Basal oleh (Moon & Jayawardane, 2004) dengan judul jurnal "*Geomechanical and geochemical changes during early stages of weathering of Karamu Basal, New Zealand*" membahas tentang pelapukan batuan basal dilihat dari sisi geokimia dan geomekanikny. Gambar 2.10 di bawah merupakan ringkasan dari profil kuarri di karamu, sekitar 17 km bagian selatan dari Hamilton, New Zealand, menunjukkan dari yang paling lapuk hingga yang paling segar pada batuan.



Gambar 2.10 Log ringkasan profil pelapukan batuan basal (Moon & Jayawardane, 2004)

Gambar di atas adalah log ringkasan profil tambang. Profil tersebut dibagi menjadi lima kelas pelapukan berdasarkan karakteristik visual seperti yang didefinisikan oleh standar New Zealand Geomechanics Society (1988): Batuan segar (F) menunjukkan tidak ada bukti pelapukan; sedikit lapuk (SW) batu telah berubah warna permukaan rekahan; cukup lapuk (MW) berubah warna dengan beberapa material tanah; sangat lapuk (HW) rock > material tanah 50% tapi mungkin berisi *corestones*; dan benar-benar lapuk (CW) batu sepenuhnya material tanah, tetapi mempertahankan batuan peninggalan struktur (Moon dan Jayawardane, 2004)

Menurut Kong dkk. (2021) sejak tahun 1960-an, estimasi nilai UCS menggunakan nilai uji *Schmidt Hammer* telah dilakukan oleh akademisi untuk mendapatkan formula

empiris antara nilai UCS dan nilai *Schmidt Hammer*. Formulasi empiris antara nilai UCS dan *Schmidt Hammer* telah penulis himpun sejak 10 tahun terakhir yang dilakukan di beberapa wilayah di belahan dunia termasuk Indonesia dapat dilihat pada tabel 2.10.

Tabel 2.11 Formulasi empiris antara nilai ucs dan *Schmidt Hammer* 10 tahun terakhir

No	Referensi	Litologi	Formulasi empiris
1	(Purwanto <i>et al.</i> , 2017)	Basal	$UCS = 3,67836SCH - 61,016$
2	(Simatupang, 2018)	Batubara	$UCS = 0,3095SCH - 3,8317$ $UCS = 5,25451 - 14,426$
3	(Hasanah <i>et al.</i> , 2019)	Batulempung	$UCS = 0,9035 SH - 17,0160$
4	(Karaman and Kesimal, 2014)	47 batuan berbeda	$UCS = 0,1383 \times R_L^{1,743}$
		10 batuan sedimen berbeda	$UCS = 0,097 \times R_L^{1,8776}$
		29 batuan beku berbeda	$UCS = 4,2423 \times R_L - 81,92$
5	(Wang, Lin and Cao, 2016)	Batuan tanpa specific expression	$UCS = 4,52927e^{0,05609RL}$
6	Wang dan Wan (2019)	Semua tipe Batuan kecuali batuan yang sangat lunak dan sangat keras	$UCS = \frac{6222}{88,15 - SCH} - 70,38$ ( $10 \leq SCH \leq 70$ )
7	(Nazir <i>et al.</i> , 2013)	Limestone	$UCS = 12,83e^{0,0487RL}$
8	(Minaeian and Ahangari, 2013)	Konglomerat	$UCS = 0,678SCH$