

PENELITIAN

SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2020-2021

PROGRAM STUDI : TEKNIK SIPIL S-1

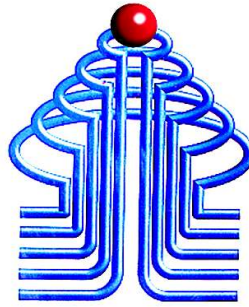


DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

PROGRAM TEKNIK SIPIL S-1

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL
JAKARTA
2021

LEMBAR PENGESAHAN PENELITIAN



ISTN

Pengaruh PC Type-2 Terhadap Ketahanan Clay Shale
Cariu, Jonggol, Jawa Barat Yang Telah Mengalami
Pelapukan

Penulis:

DR. Ir. Idrus M.Sc (Peneliti Utama)

Mengetahui :

Ketua Program Teknik Sipil I.S.T.N

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Heralyadi MT', is written over a faint blue grid background.

(Ir. Heralyadi MT)

Program Studi Teknik Sipil
Institut Sains dan Teknologi Nasional

Jakarta , Mei 2021



YAYASAN PERGURUAN CIKINI
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

Jl. Moh. Kahfi II, Bumi Brengseng Indah, Jagakarsa, Jakarta Selatan 12640
Telp. 021-7270090 (hunting), Fax. 021-7866955, hp: 081291030024
Email : humas@istn.ac.id Website : www.istn.ac.id

SURAT PENUGASAN TENAGA PENDIDIK
Nomor : *19* /03.1-F/III/2021
SEMESTER GENAP TAHUN AKADEMIK 2020/2021

Nama	: Dr. Ir. Idnis M Alatas, M.Sc	Status Pegawai	: Tetap
NIK	: 0518016301	Program Studi	: Teknik Sipil – S1
Jabatan Akademik	: Lektor		

Bidang	Perincian Kegiatan	Tempat	Jam/ Minggu	Kredit (sks)	Ket	
I PENDIDIKAN DAN PENGUJARAN	1. MENGAJAR DI KELAS (KULIAH/RESPONSI DAN LABORATORIUM)					
	1. Desain Pondasi 2	S.1 Reg	06.00-09.40	2	Kamis	
	2. Mekanika Tanah 1	S.1 Reg	17.00-18.40	2	Selasa	
	3. Stabilitas Lereng dan Perbaikan Tanah	S.1 Reg	13.00-14.40	2	Kamis	
	4. Mekanika Tanah 1	D.3 Reg	17.00-18.40	2	Selasa	
	2. PEMBIMBING					
	1. Seminar				1	
	2. Kerja Praktek				1	
	3. Tugas Akhir				1	
	4. Pembimbing Akademik				1	
	1. PENGUJI					
	1. Tugas Akhir				1	
2. Kerja Praktek						
II PENELITIAN	1. Penelitian Ilmiah					
	2. Penulisan Karya Ilmiah			1		
	3. Penulisan Diklat Kuliah					
	4. Menerjemahkan Buku Ilmiah					
	5. Pengembangan Program Kuliah Kurikulum					
	6. Pengembangan Bahan Ajar					
III PENGABDIAN DAN MASYARAKAT	1. Menduduki Jabatan di Pemerintah					
	2. Pengembangan Hasil Pend & Penelitian untuk Pengabd Masyarakat					
	3. Memberikan Penyuluhan, Pelatihan, Penataran, Ceramah pada Masyarakat					
	4. Memberikan Pelayanan Kepada Masyarakat			1		
	5. Menulis Karya Pengabdian Pada Masyarakat yang Tidak Dipublikasikan					
IV UNSUR-UNSUR PENUNJANG	1. Menjadi Anggota Panitia / Badan pada Suatu Perguruan Tinggi					
	2. Menjadi Anggota Badan Lembaga Pemerintah					
	3. Menjadi Anggota Organisasi Profesi			1		
	4. Mewakili PT/Lembaga Pemerintah, Duduk dalam Panitia antar Lembaga					
	5. Menjadi Anggota Delegasi Nasional ke Pertemuan-pertemuan Internasional				1	
	6. Berpartisipasi Aktif dalam Pertemuan Ilmiah / Seminar					
	7. Anggota Dalam Tim Penilai Jabatan Dosen					
Jumlah Total				16		

Kepada yang bersangkutan akan diberikan gaji/honorarium sesuai dengan peraturan penggajian yang berlaku di Institut Sains dan Teknologi Nasional Perugasian ini berlaku tanggal 01 Maret 2021 sampai dengan 31 Agustus 2021

Tembusan :

- Direktur Akademik - ISTN
- Direktur Non Akademik - ISTN
- Ka. Biro Sumber Daya Manusia – ISTN
- Kepala Program Studi Teknik Sipil
- Arsip

Jakarta, 1 Maret 2021
 Dengan,

 (Dr. Lely Mustika, MT)

LAPORAN PENELITIAN



Pengaruh PC Type-2 Terhadap Ketahanan Clay Shale Cariu, Jonggol, Jawa Barat Yang Telah Mengalami Pelapukan

Tim Peneliti

Ketua : DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

NIDN : 0316016101

Anggota: Ayu Kartika Redyananda ST.

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI NASIONAL

MEI 2021

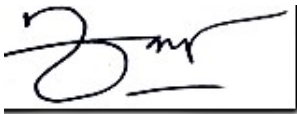
PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- | | | | |
|---|-----------------------|---|---|
| 1 | Judul Penelitian | : | Pengaruh PC Type-2 Terhadap Ketahanan Clay Shale Cariu, Jonggol, Jawa Barat Yang Telah Mengalami Pelapukan |
| 2 | Ketua Peneliti | : | |
| | a. Nama Lengkap | : | DR.Ir. Idrus M. Alatas M.Sc |
| | b. Jenis Kelamin | : | Laki-laki |
| | c. NIP | : | 11860032 |
| | d. Disiplin ilmu | : | Geoteknik (Teknik Sipil) |
| | e. Pangkat/Golongan | : | Lektor /III d |
| | f. Jabatan | : | Dosen |
| | g. Fakultas/Prodi | : | Teknik Sipil dan Perencanaan / Teknik Sipil |
| | h. Alamat | : | Jl. Moh. Kahfi II, Srengseng Sawah Jak-Sel. |
| | i. Telpon/Faks/E-mail | : | 0218410387/hb_idrus@yahoo.com |
| 3 | Anggota Peneliti | : | Ayu Kartika Redyananda ST |
| 4 | Lokasi Penelitian | : | Cariu, Jonggol, Jawa Barat, Lab. Geoinves Jakarta |
| 5 | Jumlah biaya | : | 22.500.000,- |

Jakarta, Mei 2021

**Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil**

Ketua Peneliti



Ir. Nasir Djalili, MT



**Menyetujui,
Ketua LP2M – ISTN**




DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS	ii
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	vii
DAFTAR TABEL	viii
1. PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang Penelitian	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Masalah	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
2. TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1. Hasil Penelitian Sejenis	7
2.2. Karakteristik Tanah Lempung	12
2.3. Karakteristik <i>Clay Shale</i>	15
2.4. Ketahanan (<i>durability</i>) <i>Clay Shale</i>	19
2.5. Analisis Laboratorium Geoteknik	21
2.5.1. Kadar air (<i>Water Content</i>).....	22
2.5.2. Berat Jenis Tanah (<i>Specific Gravity</i>)	22
2.5.3. Batas-Batas Atterberg (<i>Atterberg Limits</i>)	23
2.5.4. Analisis Ukuran Butir Tanah (<i>Grain Size Analysis</i>)	25
2.5.5. Uji Pemadatan Tanah	26
2.5.6. <i>Triaxial UU</i>	27
2.5.7. Uji Sifat Tahan Lekang Batu (<i>Slake Durability</i>)	27

2.5.8. Stabilisasi Tanah	29
2.6. Parameter Geoteknik <i>Clay Shale</i>	29
2.7. Analisis Parameter Geoteknik <i>Clay Shale</i>	35
3. METODOLOGI PENELITIAN	37
3.1. Model Penelitian	37
3.2. Lokasi Penelitian	37
3.3. Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data	38
3.3.1. Jenis dan Sumber Data	38
3.3.2. Teknik dan Pengumpulan Data	38
3.3.3. Persiapan Sampel Uji	39
3.3.4. Prosedur Penelitian Laboratorium	40
3.4. Metode Analisis Data	53
3.5. <i>Flow Chart</i>	54
4. ANALISA DAN PEMBAHASAN	55
4.1. Umum	55
4.2. Karakteristik Tanah <i>Clay Shale</i>	57
4.3. Uji Pematatan Standar	61
4.4. Uji <i>Triaxial UU</i>	63
4.5. Uji <i>Slake Durability Index</i>	71
5. KESIMPULAN DAN SARAN	74
5.1. Kesimpulan	74
5.2. Saran	74
DAFTAR PUSTAKA	75
LAMPIRAN	

KATA PENGANTAR

Dengan mewujudkan rasa syukur kepada Allah swt, alhamdulillah penelitian ini yang berjudul **Pengaruh PC Type-2 Terhadap Ketahanan Clay Shale Cariu, Jonggol, Jawa Barat Yang Telah Mengalami Pelapukan** selesai kami kerjakan dan di susun dalam laporan penelitian ini. Penelitian ini merupakan bagian dari seri penelitian yang menyangkut penelitian tentang clay shale yang sedang kami intensifkan untuk diteliti dalam 6 tahun belakangan ini. Kami bersyukur bahwa ini dalam penelitian ini didapat suatu yang sangat bermanfaat dalam melanjutkan seri penelitian clay shale selanjutnya,

Kami ucapkan terima kasih kepada semua pihak yang terus menerus mensupport kami dalam hal penelitian ini. Terutama kepada rekan kerja kami yang mendukung dan sangat membantu dalam mensukseskan penelitian ini.

Kami sadari bahwa penelitian ini masih jauh dari sempurna, namun adalah suatu titik awal yang sangat baik untuk mengembangkannya dimasa depan. Untuk itu kami berharap masukannya dari rekan rekan seprofesi untuk menyumbang saran agar dapat menyempurnakan penelitian ini berkembang dimasa depan.

Semoga Allah swt selalu memberikan kekuatan kepada kita semua untuk terus menjalankan penelitian yang bermanfaat untuk perkembangan teknologi dimasa depan.

Peneliti



DR Ir. Idrus M. Alatas M.Sc

ABSTRAK

Material *clay shale* mempunyai karakteristik yang berbeda dari material lempung biasa. *Clay shale* akan mengembang apabila berada pada kondisi basah dan akan menyusut pada kondisi kering. Apabila material ini mengalami kontak langsung dengan air dan udara, material ini akan mengalami pelapukan yang akan menyebabkan turunnya nilai kuat geser dan durabilitas karena adanya degradasi. Adanya lapisan *clay shale* pada suatu area menjadikan ketidakstabilan tanah meskipun berada di kontur yang rata. Material *clay shale* sangat sering dijumpai di beberapa wilayah di Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Maka dari itu, harus dilakukan investigasi dan perencanaan yang tepat agar permasalahan selama dan sesudah proses konstruksi dapat dihindari. Parameter-parameter tanah yang sangat berpengaruh pada perhitungan perencanaan struktur bawah antara lain kuat geser (*shear strength*) dan *slake durability*. Pada penelitian ini, studi kasus yang diambil adalah *clay shale* yang dijumpai di daerah Cariu, Jonggol, Bogor. Pada penelitian ini sampel *clay shale* diamati perilakunya selama 3 hari, 8 hari dan 16 hari dengan ditambahkan variasi semen 5%, 10%, 15% dan 20% serta ditambahkan variasi kadar air $<W_{opt}$, W_{opt} dan $>W_{opt}$. Kadar air optimum (W_{opt}) pada tanah asli *clay shale* yang sudah lapuk adalah sebesar 11,52 % dengan berat isi kering max (γ_d max) sebesar 1,942 gr/cm³, sedangkan pada *fresh clay shale* Hambalang berat isi keringnya didapat 2,21 – 2,37 gr/cm³. Setelah *clay shale* tersebut terganggu, berat isi kering mengalami penurunan (nilai berat isi kering tidak kembali seperti nilai awal sebelum terganggu). Hasil pengujian kadar air pada sampel setelah ditambahkan variasi semen dan kadar air, didapat kesimpulan bahwa semakin banyak persentase semen yang dicampurkan maka kadar air yang didapat semakin kecil. Pada sampel dengan tambahan 10%PC dapat meningkatkan nilai TX-UU dan SDI pada kondisi yang terganggu tapi dengan berjalannya waktu dan pengaruh air dan udara akan menyebabkan penurunan nilai TX-UU dan SDI. Namun, walaupun demikian perilaku tersebut tidak dapat kembali seperti kondisi asli *clay shale* (*fresh clay shale*).

Kata Kunci: *Clay shale*, kuat geser, *slake durability*, semen Portland

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Menurut Zhang (2010), berdasarkan pembentukannya, batuan terbagi menjadi 3 (tiga) kelompok besar, yaitu: *Igneous Rock*, *Metamorphic Rock* dan *Sedimentary Rock*. *Igneous Rock* atau yang biasa disebut batuan beku merupakan jenis batuan yang terbentuk karena pembekuan magma. Para ahli seperti Turner dan Verhoogen (1960), F. F. Groun (1947), Takeda (1970), mendefinisikan magma sebagai cairan silikat kental yang pijar terbentuk secara alamiah, bertemperatur tinggi antara 1500–2500°C dan bersifat *mobile* (dapat bergerak) serta terdapat pada kerak bumi bagian bawah. 95% batuan beku berada di kerak bumi hingga kedalaman sekitar 10 mil (Clarke and Washington, 1924).

Metamorphic Rock (batuan metamorf) atau juga disebut batuan malihan adalah jenis batuan hasil malihan dari batuan yang telah ada sebelumnya yang ditunjukkan dengan adanya perubahan komposisi mineral, tekstur dan struktur batuan yang terjadi pada fase padat (*solid state*) akibat adanya perubahan temperatur, tekanan dan kondisi kimia di kerak bumi (Ehlers and Blatt, 1982). Sehingga dapat dikatakan bahwa batuan ini terbentuk karena adanya perubahan metamorfosa.

Sedimentary Rock (batuan sedimen) adalah batuan yang terbentuk karena pengendapan. Adapun material penyusun batuan ini antara lain pasir, lumpur dan kerikil yang selanjutnya akan mengeras setelah melalui proses pengendapan. Salah satu jenis batuan sedimen adalah batu serpih atau *shale*. *Shale* tersusun dari

mineral utama berukuran halus atau lempung (dan atau lanau). Menurut Blatt (1970) batu serpih merupakan batuan yang membentuk sekitar 69 persen dari jumlah total batuan sedimen di lapisan kulit bumi.

Seiring dengan perkembangan zaman saat ini, pemerintah gencar melakukan pembangunan di setiap daerah di Indonesia, khususnya pembangunan infrastruktur. Selain karena alasan untuk pertumbuhan ekonomi, juga ditujukan guna menunjang dan menggerakkan dinamika pembangunan yang lain serta mendukung mobilitas manusia, barang dan jasa. Dengan kata lain pembangunan infrastruktur sangat penting untuk mempersatu segala aspek dalam negara. Maka dari itu diperlukan perencanaan yang matang guna mengantisipasi adanya masalah - masalah yang mungkin timbul selama proses pembangunan berlangsung. Salah satu jenis tanah yang kemungkinan menimbulkan permasalahan selama proses atau setelah masa konstruksi adalah tanah jenis *clay shale*.

Clay shale terbentuk dari mineral lempung dan batuan lempung (Terzaghi, 1967). Sedangkan menurut Deen (1981) *clay shale* merupakan material transisi antara tanah dan batuan. Material *clay shale* mempunyai karakteristik yang berbeda dari material lempung biasa. *Clay shale* akan mengembang apabila berada pada kondisi basah dan akan menyusut pada kondisi kering. Apabila material ini mengalami kontak langsung dengan air dan udara, material ini akan mengalami pelapukan yang akan menyebabkan turunnya nilai kuat geser dan durabilitas karena adanya degradasi.

Adanya lapisan *clay shale* pada suatu area menjadikan ketidakstabilan tanah meskipun berada di kontur yang rata. Material *clay shale* sangat sering dijumpai di beberapa wilayah di Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Salah satu kasus kegagalan pada bangunan infrastruktur yang terjadi adanya lapisan *clay shale* adalah longsornya timbunan Jalan Tol Cipularang km. 97+500 pada tahun 2006 yang menghubungkan Bandung dan Jakarta. Selain itu, terjadi pergerakan tanah pada Jembatan Penggaron yang merupakan bagian dari Jalan Tol Semarang – Solo ruas Semarang Ungaran. Lapisan tanah *clay shale* juga dijumpai di daerah Cariu, Jonggol, Jawa Barat.

Maka dari itu, harus dilakukan investigasi dan perencanaan yang tepat agar permasalahan selama dan sesudah proses konstruksi dapat dihindari. Parameter-parameter tanah yang sangat berpengaruh pada perhitungan perencanaan struktur bawah antara lain kuat geser (*shear strength*) dan *slake durability*. Kekuatan geser tanah (*soil shear strength*) dapat didefinisikan sebagai kemampuan maksimum tanah untuk bertahan terhadap usaha perubahan bentuk pada kondisi tekanan (*pressure*) dan

kelembaban tertentu (Head, 1982). Dengan menggunakan sampel tanah *clay shale* berdiameter 38 mm yang didapatkan dari lereng yang sudah digali, Skempton (1977) melakukan penelitian kuat geser residual melalui pengujian triaksial dan menghasilkan nilai parameter kekuatan puncak dari *clay shale* sebesar $c = 14 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi = 20^\circ$. Pengujian triaksial lain juga dilakukan oleh Sandroni (1977) menggunakan tanah *clay shale* dengan sampel yang ukurannya lebih besar yaitu 250 mm dan menghasilkan nilai kohesi lebih kecil yaitu sebesar $c = 7 \text{ kN/m}^2$ dan $\phi = 20^\circ$.

Sedangkan uji *slake durability* adalah suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh pelapukan terhadap batuan. Dengan kata lain, pengujian ini dilakukan untuk mencari nilai kerusakan batuan selama periode waktu ketika mengalami perendaman di dalam air. Pengujian ini disebut juga pengujian pelapukan batuan. Franklin dan Chandra (1972) mengindikasikan bahwa mekanis yang terdapat di dalam uji durabilitas adalah akibat adanya pertukaran ion dan tekanan kapiler. Dengan durasi tes yang hanya berlangsung selama 10 menit, proses pembasahan mungkin hanya terjadi di beberapa bagian batuan, terutama di permukaan, tapi dengan kecepatan rotasi dan ketinggian air maka hampir seluruh bagian batuan menjadi basah.

Karena sifat material *clay shale* yang tidak stabil apabila terkontaminasi langsung dengan air dan udara, maka diperlukan stabilisasi tanah untuk meningkatkan sifat-sifat dan kekuatan tanah dengan menggunakan zat aditif, salah satunya adalah semen. Semen berasal dari bahasa Latin *cementum* yang berarti bahan perekat. Semen *Portland* merupakan salah satu jenis dari bermacam-macam semen yang ada. Semen ini memiliki sifat, yaitu sebagai berikut: dapat mengeras apabila dicampur dengan air, tidak larut dalam air, plastis sementara apabila dicampur dengan air dan dapat melekatkan batuan apabila dicampur dengan air. Dengan keempat sifat semen tersebut, diharapkan dapat meningkatkan kekuatan geser tanah dan ketahanan batuan.

1.2 Perumusan Masalah

Adapun yang menjadi permasalahan di dalam penelitian ini dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimanakah parameter mekanis dan karakteristik mineralogy *clay shale* daerah Cariu, Jonggol?
2. Bagaimanakah pengaruh kadar air dan semen *Portland* terhadap *clay shale* yang telah mengalami pelapukan jika dipadatkan dengan *standard proctor*?
3. Bagaimanakah pengaruh persentase kadar air dan penggunaan semen *Portland* untuk mencapai *shear strength* dan ketahanan batuan yang efektif pada *clay shale* jika dipadatkan dengan *standard proctor*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah, maka dapat ditentukan tujuan dilakukannya penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Untuk menganalisis parameter mekanis dan karakteristik mineralogy *clay shale* daerah Cariu, Jonggol.
2. Untuk menganalisis pengaruh kadar air dan semen *Portland* terhadap *clay shale* yang telah mengalami pelapukan jika dipadatkan dengan *standard proctor*.
3. Untuk menganalisis pengaruh persentase kadar air dan penggunaan semen *Portland* terhadap *shear strength*, *ratio shear strength* dan ketahanan batuan dan yang efektif pada *clay shale* lapuk yang dipadatkan dengan *standard proctor*.

1.4 Manfaat Penelitian`

Penelitian ini diharapkan untuk memberikan kontribusi berupa masukan kepada:

1. Institut Sains dan Teknologi Nasional, khususnya Fakultas Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil sebagai almamater, dalam melengkapi data base bidang geoteknik dan analisis parameter tanah lempung.
2. Bagi semua pihak yang terlibat dalam proyek agar dapat mengidentifikasi kondisi sumber material yang dapat digunakan untuk pelaksanaan konstruksi pekerjaan tanah, sehingga dapat melakukan suatu tindakan antisipasi untuk mengurangi atau bahkan menghilangkan risiko yang timbul, serta penentuan

jenis material dapat menghasilkan konstruksi yang sesuai dengan spesifikasi teknis.

1.5 Batasan Masalah

Berdasarkan tujuan penelitian, maka yang menjadi batasan dalam pembahasan masalah penelitian ini sebagai berikut:

1. Percobaan laboratorium dilakukan terhadap benda uji *clay shale* yang diambil di daerah Cariu, Jonggol, Jawa Barat yang termasuk kelompok formasi Jatiluhur.
2. Sampel *clay shale* diambil pada dinding-dinding galian lereng atau sisi tepi galian dengan dimensi batuan berupa bongkahan.
3. Sampel dicetak dengan menggunakan alat cetak triaksial dengan berat 209,15 gram, tinggi 6,41 cm dan diameter 3,08 cm, dengan 2 siklus pembasahan dan pengeringan pada material uji.
4. Kuat geser berupa nilai *triaxial UU* dan nilai ketahanan yang ingin diketahui adalah berupa nilai uji durabilitas sebagai parameter yang digunakan untuk mengetahui pengaruh semen *Portland* dan kadar air pada material uji.

1.6 Sistematika Penulisan

Adapun yang menjadi sistematika pada penulisan tesis ini adalah yang merupakan bagian inti, yaitu sebagai berikut:

BAB. I Pendahuluan

Bab ini mencakup latar belakang penelitian, tujuan penelitian, batasan masalah, manfaat penelitian, dan sistematika penulisan.

BAB. II Tinjauan Pustaka

Bab ini berisi tentang teori yang mendasari penelitian dan digunakan dalam penyelesaian masalah.

BAB. III Metodologi Penelitian

Bab ini membahas tentang diagram alir dan prosedur-prosedur dalam penyelesaian masalah.

BAB. IV Hasil dan Pembahasan

Bab ini membahas tentang hasil pembahasan dan menganalisis data yang diperoleh dari pembahasan.

BAB. V Kesimpulan dan Saran

Menyimpulkan hasil-hasil yang didapat dari pengolahan data dan memberikan saran serta implikasi penelitian untuk hasil tersebut.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Hasil Penelitian Sejenis

Hasil rangkuman penelitian sejenis dari beberapa jurnal penelitian nasional dan internasional dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 berikut:

Tabel 2.1 Jurnal Penelitian Nasional

No	MAPPING JURNAL PENELITIAN NASIONAL	
1	Nama Peneliti	Aprilia, Lita et.al
	Tahun	2020
	Judul	Analisis Petrofisika dan Penyebab <i>Low Resistivity Reservoir Zone</i> Berdasarkan Data Log, Sem, Xrd Dan Petrografi Pada Lapangan X Sumatera Selatan
	Variabel	Resistivitas, Petrofisika, Kejenuhan air
	Metode	<i>Well Logging</i>
	Hasil	Hasil analisis diketahui bahwa model hubungan yang sesuai Resistivitas Rendah juga disebabkan oleh keberadaan <i>Lamination Clay</i> jenis <i>shale</i> (serpih) yang terdiri dari beberapa jenis <i>Clay</i> yang dapat menyebabkan zona reservoir berada pada nilai resistivitas rendah. Jenis <i>Clay</i> ini terdiri dari mineral <i>Kaolite</i> 20%, <i>Illite</i> 4%, dan <i>Chlorite</i> 4% serta adanya mineral lain sebagai pendukung resistivitas rendah yaitu <i>Quartz</i> 60%, <i>Plagioclase</i> 9% dan <i>Calcite</i> 3% sebagai mineral konduktif. = 0,9145
2	Nama Peneliti	Alatas, Idrus M dan Pintor T. Simatupang
	Tahun	2017
	Judul	Pengaruh Proses Pelapukan <i>Clay Shale</i> terhadap Perubahan Parameter Rasio Disintegritas (DR)
	Variabel	Rasio Disintegritas, <i>Slake Durability Index</i>
	Metode	Pembasahan dan pengeringan, Uji Laboratorium
	Hasil	Pengaruh dari kekerapan rendaman sangat mempengaruhi perubahan rasio disintegritas (DR).

		Pelapukan <i>clay shale</i> Semarang-Bawen yang didominasi mineral <i>Smectite</i> (50%) akibat proses siklus pembasahan pengeringan lebih cepat terjadi bila dibandingkan <i>clay shale</i> Hambalang yang didominasi mineral <i>Kaolinite</i> dan <i>Illite</i> (50%). Pada umumnya <i>clay shale</i> Semarang-Bawen akan lebih lebih cepat melapuk bila dibandingkan <i>clay shale</i> Hambalang.
No	MAPPING JURNAL PENELITIAN NASIONAL	
3	Nama Peneliti	Wirmanda, Anindya Y., et al.
	Tahun	2017
	Judul	Perilaku <i>Clay Shale</i> Terhadap Kuat Geser Residual Pada Lokasi Banyumeneng, Penawangan, Dan Wonosegoro
	Variabel	Kuat geser, sudut geser, <i>properties index</i>
	Metode	<i>Free Swell, Direct Shear</i>
	Hasil	Hasil sudut geser residual dan <i>Liquid Limit</i> di plot dalam grafik Stark (1994) didapat hasil yang memuaskan karena mendekati hasil pengujian dari <i>Stark</i> . Uji pengembangan bebas dilakukan untuk mengetahui persentase <i>Swelling</i> pada <i>Clay Shale</i> , didapatkan nilai persentase sebesar 10-25%. Hubungan korelasi dalam penelitian diperoleh dari hasil pengujian <i>Properties Index</i> , pengujian <i>Direct Shear</i> dalam parameter kuat geser residual serta pengujian pengembangan bebas dalam parameter <i>Free Swell Index</i> (FSI) dapat digunakan sebagai bahan referensi dalam perencanaan geoteknik.
4	Nama Peneliti	Somantri, Andri Krisnandi, M. Shouman dan Azmi M. Fathurrohman
	Tahun	2018
	Judul	Penentuan Parameter Kuat Geser <i>Clay Shale</i> Berdasarkan Variabel Kejenuhan Terhadap Kelongsoran
	Variabel	Kejenuhan, koefisien β , <i>triaxial</i>
	Metode	Pengujian sifat fisis, pengujian sifat mekanis, pengujian secara kimia, <i>software</i> PLAXIS
	Hasil	Analisis pengujian kuat geser <i>clay shale</i> dilakukan terhadap kelongsoran dengan bantuan program PLAXIS. Hasil yang didapatkan, derajat kejenuhan semakin tinggi, waktu yang dibutuhkan untuk penjenahan pun semakin tinggi. Peningkatan nilai derajat kejenuhan meningkatkan berat isi kering dengan nilai terbesar 15,88 kN/m ³ saat derajat kejenuhan sebesar 1,21, menurunkan nilai kohesi dengan terkecil sebesar 3,5 kN/m ² saat derajat kejenuhan sebesar 1,19, menurunkan nilai sudut geser dalam dengan nilai terkecil 17,1° saat derajat kejenuhan sebesar 1,21. Berdasarkan variasi parameter lapisan <i>clay shale</i> yang diperoleh dari pengujian triaksial, dilakukan 10

		pemodelan lereng jembatan Cisomang dan pembebanannya yang masing-masing menghasilkan FK. Peningkatan nilai derajat kejenuhan mengakibatkan penurunan nilai FK dengan nilai terkecil sebesar 0,901 saat derajat kejenuhan sebesar 1,19. Sedangkan FK yang paling mendekati 1,0 ialah 0,997 saat nilai derajat kejenuhan sebesar 0,95.
No	<i>MAPPING JURNAL PENELITIAN NASIONAL</i>	
5	Nama Peneliti	Tantra, Hans dan Aniek Prihatiningsih
	Tahun	2019
	Judul	Analisis Kuat Geser Tanah <i>Clay Shale</i> yang Terendam dan Tidak Terendam dengan <i>Unconfined Compression Test</i>
	Variabel	Kuat tekan, kuat geser
	Metode	<i>Unconfined Compression Test</i>
	Hasil	Analisis kuat geser dilakukan pada tanah <i>clay shale</i> yang terendam dan tidak terendam. Nilai kuat tekan dan kohesi terbesar untuk sampel tidak rendam berada pada sampel kondisi pendiaman selama 5 minggu dan akan menurun ketika sampel memasuki pendiaman selama 7 minggu. Nilai kuat tekan dan kohesi terbesar untuk sampel rendam berada pada sampel kondisi perendaman selama 1 minggu dan akan menurun ketika sampel memasuki perendaman selama 3 minggu. Persen perbedaan nilai kuat tekan dan kohesi terbesar antara sampel tidak rendam dan sampel rendam berada pada sampel dengan durasi 5 minggu sebesar 99,173%.

Tabel 2.2 Jurnal Penelitian Internasional

No	MAPPING JURNAL PENELITIAN INTERNASIONAL	
1	Nama Peneliti	Oktaviani, Revia., Paulus P Rahardjo, Imam A Sadisun
	Tahun	2018
	Judul	<i>The Clay Shale Durability Behavior of Jatiluhur Formation Based on Dynamic and Static Slaking Indices</i>
	Variabel	<i>Durability, Slaking Index</i>
	Metode	<i>Slake Dynamic Test</i>
	Hasil	<i>With a submerge variation it was found that the slaking index value ranged from 0,17 % to 11,15 % with the slaking classification from very low to medium. Size distribution that was produce from 1/4 and 1/2 sample submerge show bigger rock breakage than rock with 3/4 sample submerge and sample fully submerge. Observations of the sample in room temperature without contact of water and no additional mass were also done. The sample still intact untill the end of research work. Slaking index test with submerge variation shows that clay shale were classified in very low to medium slaking properties with the value of index slaking (Is) of 0,17 % to 11,15 %. Changes in the weakness of the sample in the first and second cycles is bigger when compare to the next cycles that decrease in slaking. From the observations on the samples left in the open it can be seen that if one of the factors causing the weakening of clay shale in the form of temperature and water is eliminated, the process of weakening clay shale will run very slowly</i>
2	Nama Peneliti	W, Diana, E Hartono and A S Muntohar
	Tahun	2019
	Judul	<i>The Permeability of Portland Cement-Stabilized Clay Shale</i>
	Variabel	<i>Strength, durability improvement, permeability characteristic</i>
	Metode	<i>Constant head permeability</i>
	Hasil	<i>The result shows that both the liquid limits and plastic limits decrease with increased Portland cement content,</i>

		<i>hence the plasticity index of the soil-PC mixing decrease. The permeability coefficient of the soil mixed with 2% of cement increased about 14 times greater than the untreated soil. Increase in cement content tends to decrease the coefficient of permeability.</i>
No	MAPPING JURNAL PENELITIAN INTERNASIONAL	
3	Nama Peneliti	Alatas, I.M, Pintor T. Simatupang, Wawan Kuswaya and Panji
	Tahun	2019
	Judul	<i>Re-weathering of Stabilized Clay Shale With Portland Cement Behavior</i>
	Variabel	<i>Durability</i>
	Metode	<i>Slake durability test, disintegration ratio test</i>
	Hasil	<i>The strength of clay shale that has fully weathered will increase again when it is stabilized with a minimum of 6% PC (Portland Cement). It was found from the wetting drying cycle process testing that durability of re-weathering of stabilized clay shale with PC is increased compared to natural clay shale. Disintegration ratio of natural clay shale DR was smaller than stabilized clay shale with 6% PC. Additionally, more than 6% PC increased the durability of re-weathering of clay shale.</i>
4	Nama Peneliti	Alatas, Idrus M, Samira A Kamaruddin, Ramli Nazir and Masyhur Irsyam
	Tahun	2016
	Judul	<i>Effect of Weathering on Disintegration and Shear Strength Reduction of Clay Shale</i>
	Variabel	<i>Disintegration ratio, shear strength reduction</i>
	Metode	<i>Wetting-drying cycles, triaxial test, disintegration ratio test</i>
	Hasil	<i>Disintegration ratio, DR and shear strength parameters of clay shale samples from Semarang and Hambalang subjected to different weathering conditions were determined in the laboratory. The DR of Semarang-Bawen clay shale reached zero (completely non-durable) after 32 days, while the DR of Hambalang clay shale showed a range of values between 0,09 and 0,147 on the 80th day. Wetting-drying cycles showed greater impact than natural drying on shear strength parameters reduction. Triaxial tests could only be performed on samples which were exposed to wetting-drying cycles up to 24 and 32 days of test, respectively beyond which the samples were completely disintegrated. The Hambalang</i>

		<i>clay shale that did not contain smectite minerals but high in quartz content was more durable than the Semarang clay shale with smectite mineral.</i>
No	<i>MAPPING JURNAL PENELITIAN INTERNASIONAL</i>	
5	Nama Peneliti	Alatas, Idrus M, Samira A K, Ramli N, Irsyam M, Himawan A
	Tahun	2015
	Judul	<i>Shear Strength Degradation of Semarang-Bawen Clay shale Due To Weathering Process</i>
	Variabel	<i>Shear strength</i>
	Metode	<i>Triaxial test</i>
	Hasil	<i>The effect of weathering processes in decreasing the shear strength of clay shale had been done in this study. The drying process of clay shale with sunlight in the laboratory up to 80 days had been conducted to create the conditions of weathered sample. The peak and residual shear strength parameters of unsaturated and saturated clay shale were obtained from triaxial laboratory test, and all samples were tested on each 8 days of weathering process. Decrease of shear strength in peak and residual condition was obtained during 80 days of the drying process. The residual shear strength parameters were distinguished between residual shear strength without stress release and with stress release of confining pressure. The results up to 80 days of unsaturated clay shale showed that the cohesion at peak stress conditions reduced to 30% based on initial shear strength before the occurrence weathering, while the internal angle friction reduced to 64%. Residual cohesion without and with stress release reduced to 4% and 1%, respectively while residual internal angle friction without and with stress release reduced to 15% and 5%. Similar situation also occurs for the saturated clay shale samples.</i>

Berdasarkan Tabel 2.1 dan Tabel 2.2 hasil rangkuman beberapa jurnal penelitian nasional dan internasional yang pernah dilakukan sebelumnya, maka penelitian ini merupakan penelitian yang baru dan berbeda dengan penelitian

sejenisnya, letak perbedaan dari penelitian sebelumnya adalah penelitian ini menganalisis karakteristik parameter tanah *clay shale* dan menganalisa hubungan antara hasil pengujian triaksial UU dan slake durability index pada sampel tanah Cariu, Jonggol, Jawa Barat.

2.2 Karakteristik Tanah Lempung

Langkah awal untuk memulai penelitian ini adalah dengan memperoleh definisi, tujuan dan metode kerja dari pengujian karakteristik material *clay* (tanah lempung) berupa pengujian *index properties* berupa pengujian *water content*, *specific gravity*, *atterberg limits* dan *grain size distribution*. Selain itu juga dilakukan pengujian *engineering properties* berupa pengujian *triaxial UU* dan *slake durability*. Seluruh standar pengujian yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan standar ASTM.

Salah satu jenis tanah yang bermasalah ialah tanah lempung ekspansif. Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang memiliki sifat kembang susut yang besar dan prilakunya sangat dipengaruhi oleh air, tanah yang memiliki fluktuasi kembang susut tinggi disebut lempung ekspansif. Tanah ekspansif ini sering menimbulkan kerusakan pada bangunan seperti retaknya dinding, terangkatnya pondasi, jalan bergelombang dan sebagainya. Semua tanah lempung yang mengandung mineral ekspansif akan mempunyai sifat mengembang dan menyusut yang besar, apabila terjadi penambahan atau pengurangan kadar airnya. Proses kembang tanah lempung ekspansif dipengaruhi oleh faktor lingkungan, di antaranya faktor perbedaan iklim, curah hujan, sistem drainasi dan fluktuasi muka air tanah. Jenis tanah ekspansif terbentuk salah satunya akibat adanya proses pelapukan.

Pelapukan adalah proses perubahan pada batuan di atau dekat permukaan bumi oleh dekomposisi kimia dan disintegrasi fisik. Diagram ideal proses pelapukan pada batuan dapat dilihat pada Gambar 2.1. Dalam pelapukan, proses perubahan batuan secara umum dicapai melalui dua proses utama, yaitu:

a) Pelapukan Fisik atau Mekanik

Pelapukan fisik melibatkan disintegrasi fisik-mekanik pada partikel-partikel batuan, umumnya ditandai pula dengan hancurnya struktur (*fabric*) batuan,

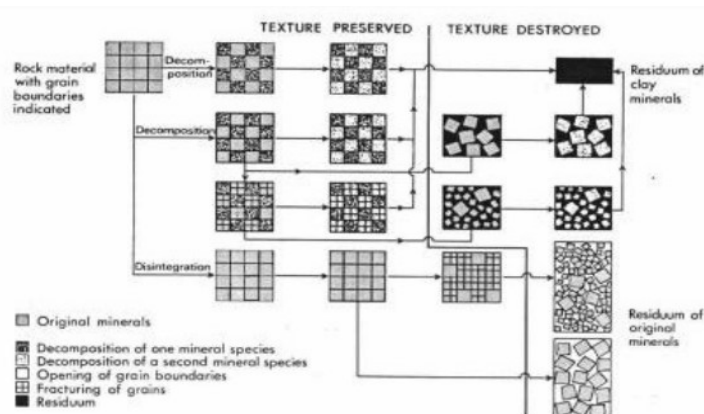
dan lebih lanjut akan menghasilkan pola kemas baru.

b) Pelapukan Kimia

Pelapukan kimia melibatkan proses dekomposisi batuan di mana akan terjadi ubahan kimia mineral-mineral induk (*parent minerals*) penyusun batuan membentuk mineral-mineral sekunder (*secondary minerals*), umumnya ditandai dengan perubahan warna pada batuan.

Penerapan sistem identifikasi derajat pelapukan pada batu lempung juga didasarkan atas hadirnya beberapa efek perubahan pada batuan tersebut, meliputi perubahan warna batuan, perubahan intensitas rekahan (*fracture intensity*), serta perubahan tekstur dan struktur batuan. Secara umum, hasil observasi terhadap perkembangan derajat pelapukan batuan dirangkum Irfan dan Dearman (1978) pada Tabel 2.3. Uraian tersebut dibuat dengan mempertimbangkan syarat-syarat umum klasifikasi massa batuan dalam kaitannya dengan proses pelapukan antara lain:

- Cepat dan mudah, termasuk dalam proses preparasi contoh batuanya,
- Memiliki keterkaitan dengan sifat-sifat fisik massa dan material batuanya,
- Memungkinkan untuk membedakan sifat-sifat keteknikan atas dasar indeks pengujian yang sederhana,
- Memiliki keterkaitan dengan masalah rekayasa pada batuan



Gambar 2.1 Diagram Ideal Proses Pelapukan pada Batuan (Sadisun, 2006)

Tabel 2.3 Skema Klasifikasi Derajat Pelapukan Batuan (Irfan dan Dearman, 1978)

Istilah	Derajat Pelapukan	Singkatan	Ciri Utama
Batuan Segar (<i>Fresh Rock</i>)	I	FR	Tidak berkurang kekuatannya dan perubahan warna sedikit terlihat pada permukaan massa batuan yang rusak atau pada butirannya
Lapuk Ringan (<i>Slightly Weathered</i>)	II	SW	Massa batuan sedikit lebih lunak daripada batuan segar. Perubahan warna terjadi pada batuan yang rusak atau pada bagian yang sedikit terbuka/pecah.
Lapuk Sedang (<i>Moderately Weathered</i>)	III	MW	Massa batuan sangat lebih lunak daripada batuan yang segar dan sebagian batuan berubah ke arah tanah. Material batuan mengalami perubahan warna dan rusak serta permukaan butiran telah mengalami perubahan warna yang jauh lebih kontras, hingga mencapai bagian yang lebih dalam.
Lapuk Tinggi (<i>Highly Weathered</i>)	IV	HW	Kekuatan massa batuan asal banyak berkurang. Material berubah warna dan lebih dari setengah material telah berubah menjadi tanah oleh dekomposisi kimia atau disintegrasi fisik.
Lapuk Sempurna (<i>Completely Weathered</i>)	V	CW	Kekuatan batuan asal hilang dan massa batuan berubah menjadi tanah oleh dekomposisi kimia atau disintegrasi fisik.
Tanah Residu (<i>Residual Soil</i>)	VI	RS	Batuan seluruhnya berubah menjadi tanah di mana kemas batuan asal telah rusak. Hasil pelapukan seperti ini dibahas sebagai tanah dalam istilah pedologi.

Klasifikasi keteknikan batuan lapuk juga digunakan untuk mengetahui adanya urutan perubahan akibat adanya proses pelapukan fisik dan kimia yang berperan dalam individu atau kombinasinya beserta sifat-sifat keteknikan pada masing-masing derajat pelapukannya. Dalam pengujian in situ, tingkat pelapukan batuan dapat diperoleh melalui peralatan *Hand Penetrometer*, *Point Load*, dan *Schmidt Hammer* (Irfan dan Dearman, 1978).

2.3 Karakteristik *Clay Shale*

Clay shale mempunyai sifat (*intermediate behavior*) tanah lempung dan batuan. Hal ini didukung oleh pernyataan Budijanto (2001) bahwa “*clay shale* merupakan material transisi antara tanah dan batuan”. Hal ini yang menyebabkan *clay shale* sangat mudah sekali mengalami penurunan durabilitasnya dan penurunan kuat gesernya (*strength degradation*) apabila terekspos langsung oleh perubahan iklim, cuaca dan *stress relieve*, sehingga menimbulkan masalah di bidang geoteknik.

Clay shale merupakan hasil pelapukan atau transportasi batuan sedimentasi tipe mekanik dengan material penyusun utamanya adalah berukuran lempung. *Clay shale* sendiri menjadi terkenal karena sering memunculkan banyak problem geoteknik seperti kesulitan dalam memilih material timbunan, daya dukung pondasi, kestabilan lereng kontruksi bawah tanah dan lain sebagainya.

Clay shale merupakan hasil pelapukan atau transportasi batuan sedimentasi tipe mekanik dengan material penyusun utamanya adalah berukuran lempung. Material ini terdiri dari mineral lempung yang berbentuk lempeng pipih dan partikel-partikel mika serta mineral penyusun lainnya. Ada tiga jenis mineral lempung yang sering dijumpai:

- a. Kaolinit (*Kaolinite*) merupakan jenis mineral lempung yang tidak aktif. Mineral ini dihasilkan oleh pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif dan bisa juga terbentuk karena pelapukan batuan.
- b. Illit (*Illite*) merupakan jenis mineral ini mempunyai bentuk susunan dasar hampir sama dengan *montmorillonite* terdiri dari sebuah lembaran oktahedral yang terikat diantara dua lembaran silika tetrahedral, pembedanya terdapat pada ikatan dalam

lembaran oktahedral yang terdapat substitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi dan dalam lembaran tetrahedral terdapat pada substitusi silicon oleh aluminium.

- c. Montmorilonit (*Montmorillonite*) bisa disebut juga sebagai smectile dalam satu lapis, tersusun dari dua lembar silica mengapit satu lembar alumina (*gibbsite*). Ujung tetrahedral tercampur dengan hidroksil dari ujung octahedral sehingga ikatan menjadi menyatu.

Ekspansivitas tanah juga dapat diidentifikasi melalui mineral yang terkandung dalam tanah. Setiap jenis mineral mengandung nilai aktivitas yang menggolongkan bahwa tanah tersebut dapat dikatakan sebagai tanah ekspansif atau tidak. Tanah yang bersifat aktif dan ekspansif mempunyai Ac (*activity*) $> 1,25$. Tanah digolongkan normal adalah yang mempunyai nilai aktivitas antara $0,75 > Ac > 1,25$. Sedangkan tanah yang tidak aktif mempunyai $Ac < 0,75$. Berikut merupakan hubungan mineral lempung dengan aktivitasnya menurut Skempton dan Mitchel:

Tabel 2.4 Hubungan Mineral Lempung dengan Aktivitas Tanah (Skempton dan Mitchell, 1976)

Mineral	Activity
Na-Montmorillonite	4 – 7
Ca-Montmorillonite	1,5
Illite	0,5 – 1,3
Kaolite	0,3 – 0,5
Halloysite (dehydrated)	0,5
Halloysite (hydrated)	0,1
Attapilgite	0,5 – 1,2
Allophane	0,5 – 1,2
Mica	0,2
Cacite	0,2
Quartz	0

Menurut Skempton (1953), tingkat keaktifan suatu tanah dapat ditentukan dari persamaan:

$$Ac = \frac{PI}{CF} \quad (2.1)$$

Dimana:

Ac	=	tingkat keaktifan
PI	=	indeks plastisitas (%)
CF	=	persentase fraksi lempung (%)

Tabel 2.5 Korelasi Tingkat Keaktifan dengan Potensi Pengembangan
(Skempton, 1953)

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
<0,75	Rendah
0,75 – 1,25	Sedang
1,25 – 2,00	Tinggi
>2,00	Sangat Tinggi

Pada umumnya karakteristik dari *clay shale* diidentifikasi berdasarkan parameter teknik (Wakim, 2005), antara lain:

- a. *Overconsolidated*
- b. Durabilitas rendah pada saat mengalami pembasahan
- c. Tekanan pengembangan (*swelling pressure*) tinggi
- d. Mengalami disintegrasi yang signifikan setelah mengalami kontak dengan air.

Shale sendiri dapat diidentifikasi dengan cara melakukan pengujian ketahanan batuan (*slake durability*). *Slake durability* adalah pengujian yang sering digunakan untuk mengukur derajat degradasi *shale*. Menurut Hopkins (1988), apabila *shale* digunakan sebagai bahan konstruksi, dapat menyebabkan masalah besar karena cenderung untuk mengalami degradasi dari massa keras atau mengeras (*indurated*) menjadi massa tanah halus. Namun, *shale* belum dapat diidentifikasi sebagai *clay shale* berdasarkan parameter inisial awal, melainkan potensi turunnya properties mekanis yang signifikan setelah mengalami interaksi dengan air (Belviso, 1977).

Perubahan karakteristik pada *clay shale* yang berupa perubahan fisik dan kimia disebabkan oleh adanya reaksi dengan *atmosphere* dan *hidrosfere* yang akan menyebabkan pelapukan. Oleh Sadisun et al (2006), ilustrasi pelapukan pada *clay shale* digambarkan sebagai berikut.



Gambar 2.2 Ilustrasi Proses Umum Keretakan *Clay Shale* karena Pelapukan akibat Eksposur dari Luar (Sumber : Sadisun et al, 2006)

Clay shale yang awalnya sangat keras, menurut Irsyam et al (1999) berubah menjadi tanah liat dengan sangat buruk sifat kekuatan geser. Duncan dan Stark (1991) menyebutkan bahwa kuat geser *clay shale* berkurang drastis hingga mencapai sangat lunak (*fully softened strength*) apabila dalam kondisi basah dan terendam. Selain itu, pada tahun 1992, Duncan dan Stark juga menyatakan bahwa kekuatan geser *clay shale* menurun sangat cepat dan sepenuhnya melunak untuk nilai sisa, dengan kata lain ketika *clay shale* menerima beban berulang (*cyclic loading*), kekuatannya akan mengalami penurunan dari sangat lunak hingga mencapai kekuatan sisa (*residual strength*).

2.4 Ketahanan (*durability*) *Clay Shale*

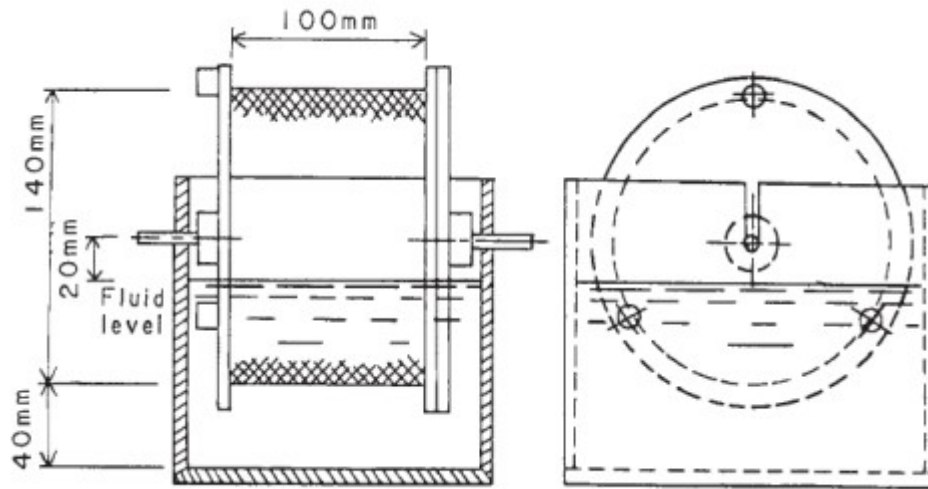
Ketahanan batuan terhadap pengaruh cuaca dan air adalah sangat penting pada batuan untuk diketahui. Khususnya pada pelaksanaan batuan sebagai bagian dari konstruksi dilapangan. Perubahan sifat dari batuan karena cuaca dan air dapat mengakibatkan antara lain terkelupasnya lapis permukaan batuan, hidrasi pada batuan, penuaan pada batuan, terlarut, oksidasi, abrasi, dan proses-proses lainnya akibat proses pelapukan (Soetojo, 2009). Pada beberapa *shale* dan beberapa batuan vulkanik menunjukkan terjadinya kemerosotan kualitas batuan yang cepat ketika batuan tersebut terbuka diudara atau terlepas dari penutup yang menimbunnya.

Degradasi yang terjadi pada permukaan batuan terjadi secara cepat, sedangkan pada bagian inti lebih lambat. Sehingga diperlukan suatu harga indeks yang mengindikasikan perubahan dari batuan. Namun pola perubahan dari berbagai macam batuan memiliki perbedaan yang besar dan sangat bervariasi, sehingga harga indeks tidak dapat ditentukan secara baik. Oleh karena itu batuan hanya dapat diidentifikasi dengan harga indeks yang menunjukkan adanya

perubahan sebagai ketahanan dari batuan secara relative dan merupakan rangking dari durabilitas yang sangat tinggi (*very high durability*) sampai yang sangat rendah (*very low durability*) (Soetojo, 2009).

Pengujian terhadap indeks ketahanan batuan yang diusulkan oleh Franklin & Chandra (1972) yang disebut *Slake Durability Test* banyak digunakan dalam menentukan ketahan suatu batuan. Peralatan ini terdiri dari drum dengan diameter 140 mm dan panjang 100 mm. Pada dindingnya terdapat lubang-lubangsaringan dengan diameter 2 mm. 500 gram batuan dipecahkan menjadi 10 butiran dan dimasukkan kedalam drum tersebut dan drum, kemudian drum diputar dengan kecepatan 20 putaran per menit dalam kondisi terendam dalam air. Setelah 10 menit, persentase batuan yang tertinggal didalam drum diukur dalam persen berat kering dan dinyatakan sebagai harga *Slake Durability Index* (Soetojo, 2009).

Prosedur uji *slaking dynamic (slake durability)* dilakukan sesuai dengan SNI 340.2011, standar ASTM D4644-87 (menurut ISRM 1979), tentang cara uji untuk *slake durability* dari *shales* dan batuan lemah. Beberapa contoh dipotong dengan ukuran yang representatif untuk setiap siklus, dengan berat contoh total berkisar 400 – 550 gram. Uji dilakukan dengan material kering yang telah dioven, sehingga tidak mencerminkan kondisi alami. Terutama untuk material batuan yang memiliki daya tahan batuan yang rendah dalam kondisi alami. Alat uji *durability* di laboratorium Geoteknik ISTN Jakarta, Indonesia terdiri dari satu set drum dengan diameter 140 mm dan panjang 100 mm dengan lubang dinding saringan kawat berukuran 2 mm. Drum diputar dengan air di dalamnya setinggi 150 mm pada suhu 24° C – 27° C.



Gambar 2.3 Dimensi Peralatan Pengujian *Slake Durability* (ASTM D 4644-04).

Dimensi peralatan pengujian *slake durability* yang digunakan disesuaikan dengan ketentuan peraturan ASTM D 4644-04, dimana dimensi tersebut disajikan pada Gambar 2.3. *Slake Durability Index* pada serpihan batuan atau jenis batuan lain yang sejenis ditentukan setelah mengalami 2 kali siklus pengeringan dan pembasahan yaitu dengan pengeringan dengan oven dan 10 menit pembasahan dengan direndam air sesuai dengan *standart tumbling* (jatuh) dan abrasi. Perhitungan nilai *Slake Durability Index* (pada siklus kedua) dapat ditentukan menggunakan perumusan sebagai berikut.

$$I_d(2) = \left[\frac{W_F - C}{B - C} \right] \times 100 \quad (2.2)$$

dengan:

$I_d(2)$ = Nilai *Slake Durability Index* (siklus/putaran kedua),

B = Berat drum ditambah dengan berat kering oven sampel sebelum dilakukan putaran kedua,

W_F = Berat dari drum ditambah berat kering oven sampel yang tertahan setelah putaran yang kedua,

C = Berat dari drum.

Nilai indeks durabilitas ini tidak dapat dikaitkan dengan umur geologi batuan. Besar durabilitas batuan berbanding lurus dengan densitasnya dan berbanding terbalik dengan kadar air asli batuan. Gamble (1971) memberikan

klasifikasi batuan dari hasil pengujian durabilitas seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.5 berikut.

Tabel 2.6 Klasifikasi Durabilitas dari Gamble

Nama Grup Batuan	% Tertinggal Setelah Putaran	% Tertinggal Setelah Putaran
	1 x 10 menit	2 x 10 menit
	(Berat kering)	(Berat Kering)
<i>Very high durability</i>	> 99	> 98
<i>High durability</i>	98 - 99	95 - 98
<i>Medium high durability</i>	95 - 98	85 - 95
<i>Medium durability</i>	85 - 95	60 - 85
<i>Low durability</i>	60 - 85	30 - 60
<i>Very low durability</i>	< 60	< 30

Sumber: Soetojo, 2009

2.5 Analisis Laboratorium Geoteknik

Sesuai SNI 8460:2017, program pengujian laboratorium harus disusun dengan memperhatikan korelasinya dengan program penyelidikan lainnya. Pada penelitian ini, jenis-jenis pengujian yang diujikan terhadap contoh tanah yang telah terambil antara lain kadar air, berat jenis tanah, batas-batas Atterberg, distribusi ukuran butiran, *triaxial UU*, *slake durability* dan uji standar kompaksi.

2.5.1. Kadar Air (*Water Content*)

Berdasarkan SNI 1965:2008, kadar air pada suatu material adalah perbandingan berat air yang mengisi rongga pori material tanah atau material batuan terhadap berat partikel padatnya, yang dinyatakan dalam persen. Pada tanah yang berbutir halus (kohesif), konsistensi tanah yang diberikan tergantung pada kadar airnya.

Secara singkat, prosedur pengujian kadar air dilakukan dengan mengeringkan benda uji dalam oven selama 12 sampai 16 jam hingga beratnya konstan. Kehilangan berat akibat pengeringan merupakan berat air. Kadar air

dihitung menggunakan berat air dan berat benda uji kering dengan hitungan sebagai berikut:

$$w = \frac{W_1 - W_2}{W_2 - W_3} \times 100\% \quad (2.3)$$

Dimana:

- w = kadar air, (%)
- W_1 = berat cawan dan tanah basah, (gram)
- W_2 = berat cawan dan tanah kering, (gram)
- W_3 = berat cawan, (gram)
- $(W_1 - W_2)$ = berat air, (gram)
- $(W_2 - W_3)$ = berat tanah kering (partikel padat), (gram)

2.5.2. Berat Jenis Tanah (*Specific Gravity*)

Berdasarkan SNI 1964:2008, berat jenis merupakan angka perbandingan antara berat isi butir tanah dan berat isi air suling pada temperature dan volume yang sama. Contoh tanah yang digunakan adalah contoh tanah yang lolos saringan 4,75 mm (No. 4) atau saringan 2,00 mm (No. 10).

Berat jenis tanah dihitung dengan rumus sebagai berikut:

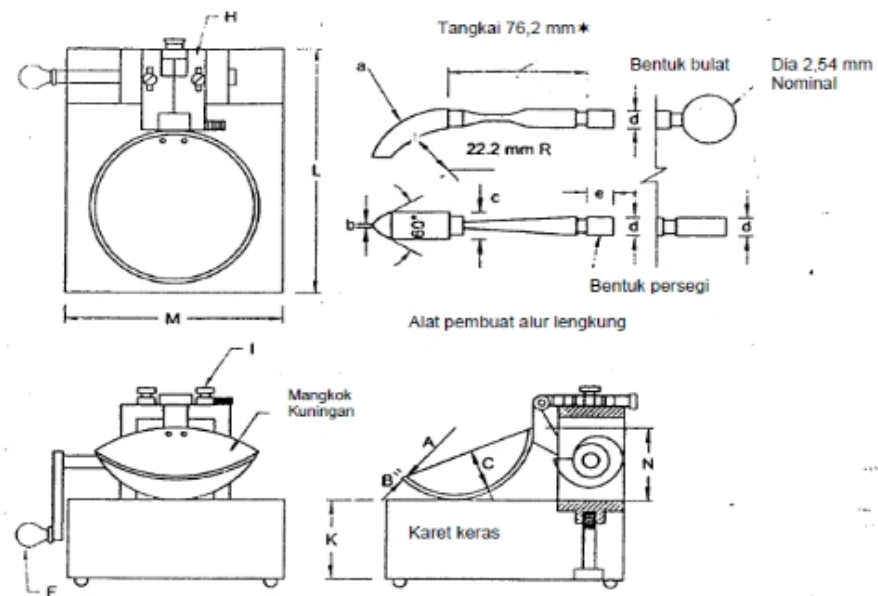
$$\frac{\text{Berat Jenis, } T_x}{(20^\circ\text{C})} = \frac{W_t}{[W_t + (W_4 - W_3)]} \quad (2.4)$$

Dimana:

- W_t = berat contoh tanah kering oven, (gram)
- W_4 = berat piknometer berisi air pada temperatur T_x , (gram)
- W_3 = berat piknometer berisi air dan tanah pada temperatur T_x , (gram)
- T_x = temperature air dalam piknometer ketika berat W_3 ditentukan, ($^\circ\text{C}$)

2.5.3. Batas-Batas Atterberg (*Atterberg Limits*)

Berdasarkan SNI 1967:2008, batas cair tanah (*liquid limit/LL*) adalah kadar air, ketika sifat tanah pada batas dari keadaan cair menjadi plastis, sedangkan batas plastis tanah (*plastic limit/PL*) adalah batas terendah kadar air, ketika tanah masih dalam keadaan plastis. Selisih antara batas cair dan batas plastis disebut indeks plastisitas (*plasticity index/PI*).



Gambar 2.4 Peralatan Batas Cair Tanah Manual

(Sumber : SNI 1967:2008)

Kandungan air dalam tanah harus dinyatakan sebagai kadar air dalam persen dari berat tanah kering oven dan harus dihitung sebagai berikut:

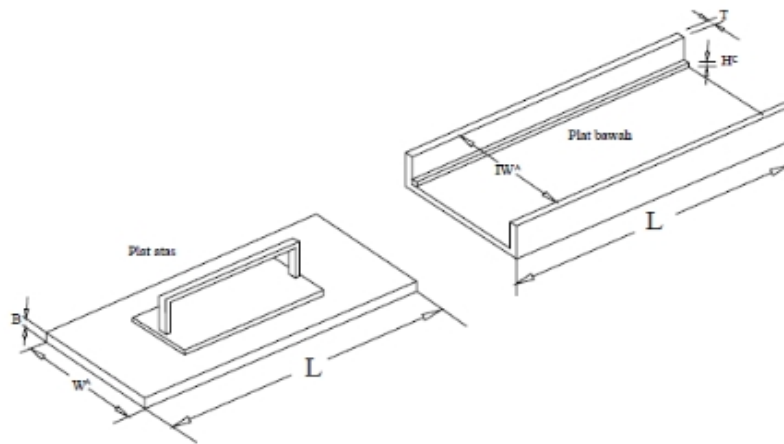
$$\text{Presentase kadar air} = \frac{\text{Berat air}}{\text{Berat tanah kering oven}} \times 100\% \quad (2.5)$$

Perhitungan batas plastis adalah sebagai berikut:

$$\text{Batas plastis} = \frac{\text{Berat massa air}}{\text{Berat massa tanah kering}} \times 100\% \quad (2.6)$$

Sedangkan perhitungan indeks plastisitas tanah adalah sebagai berikut:

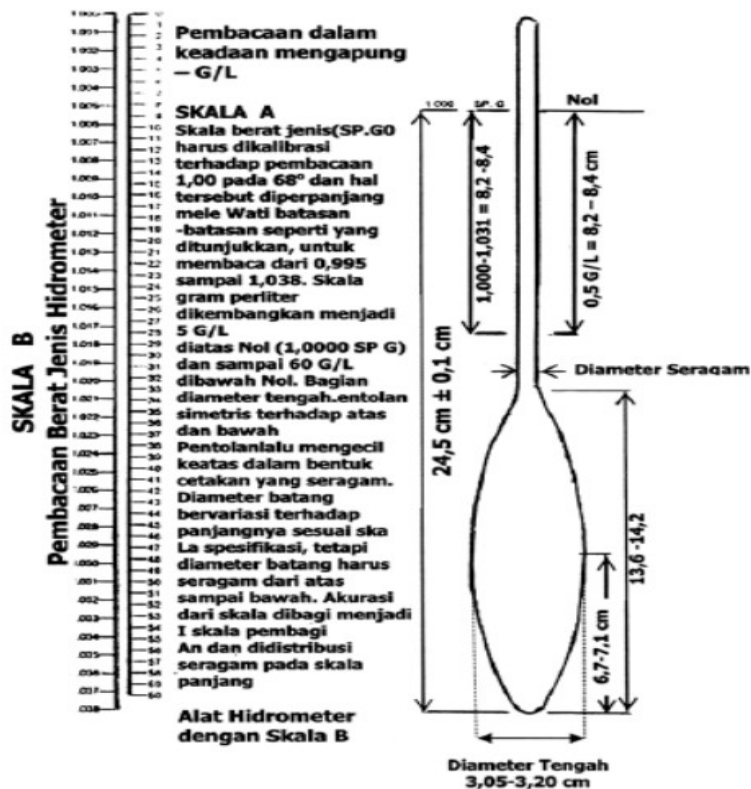
$$\text{Indeks plastisitas (PI)} = \text{batas cair (LL)} - \text{batas plastis (PL)} \quad (2.7)$$



Gambar 2.5 Alat Penggeleng Batas Plastik (Sumber : SNI 1966:2008)

2.5.4. Analisis Ukuran Butir Tanah (Grain Size Analysis)

Berdasarkan SNI 3423:2008, Cara uji ini dilakukan untuk mendapatkan gradasi tanah pada klasifikasi tanah bagi perencanaan maupun pengawas lapangan. Cara uji ini terdiri atas 2 cara yaitu cara uji analisis hidrometer dan analisis saringan.



Gambar 2.6 Hidrometer (Sumber : SNI 3423:2008)

2.5.5. Uji Pemadatan Tanah

Berdasarkan SNI 1742:2008, cara uji ini dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah yang dipadatkan di dalam sebuah cetakan berukuran tertentu dengan penumbuk 2,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 305 mm.

Menurut Braja M. Das (1995), pemadatan tanah yaitu proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara. Tujuan dari pengujian ini adalah:

1. Memperbaiki kuat geser tanah
2. Mengurangi kompresibilitas tanah
3. Mengurangi permeabilitas tanah
4. Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air
5. Mengurangi sifat kembang susut tanah (pada tanah lempung ekspansif)

Teori pemadatan pertama kali dikembangkan oleh R.R. Proctor. Empat variabel pemadatan tanah yang didefinisikan oleh Proctor, yaitu usaha pemadatan atau energi pemadatan, jenis tanah (gradasi, kohesif atau tidak kohesif, ukuran partikel dan lain-lain), kadar air, dan berat isi kering. Tujuan pemadatan tanah akan tercapai jika pemilihan material tanah sesuai dengan kriteria, teknik pemadatan dan pemilihan jenis mesin pemadat.

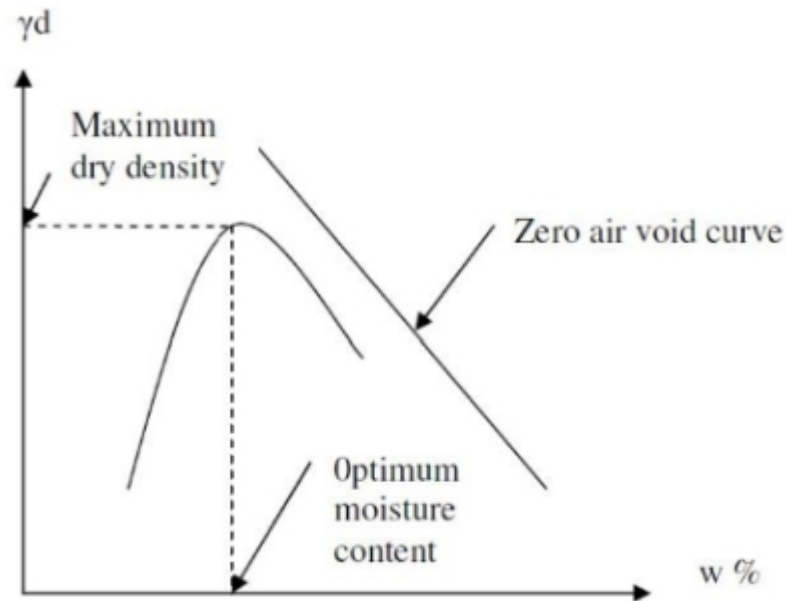
Derajat kepadatan tanah diukur dari berat volume keringnya. Rumus berat volume kering adalah:

$$\gamma_d = \frac{\gamma}{1 + w} \quad (2.8)$$

Dimana:

- γ_d = berat volume kering (*dry density*)
 γ = berat volume tanah basah
 w = kadar air

γ_d maksimum (MDD, *Maximum Dry Density*) akan tercapai pada saat kadar air optimum (OMC, *Optimum Moisture Content*).



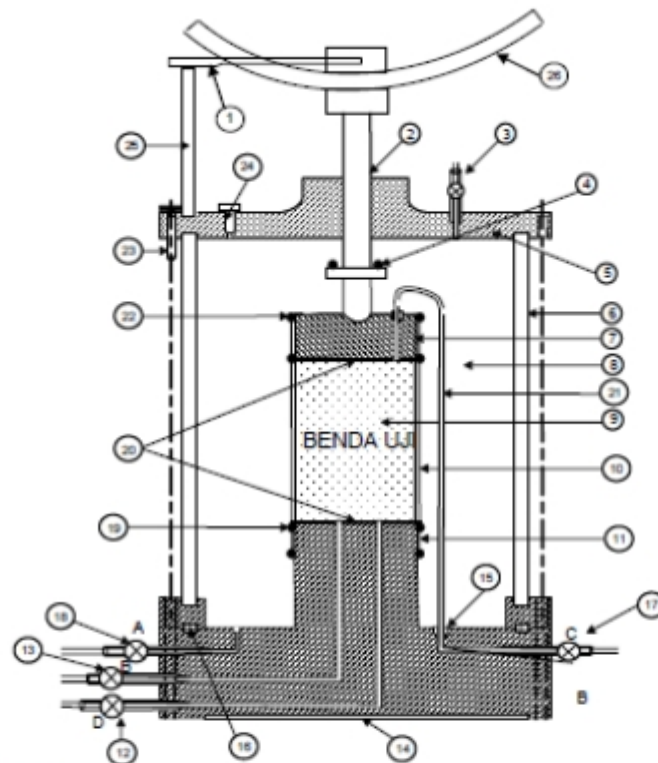
Gambar 2.7 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dan Kadar Air
(Sumber : Braja M. Das, 1985)

2.5.6. *Triaxial UU*

Pengujian *Triaxial UU* adalah pengujian kompresi triaxial dimana tidak diperkenankan perubahan kadar air dalam contoh tanah. Sampel tidak dikonsolidasi dan air pori tidak teralir saat pemberian tegangan geser. Rangkaian peralatan uji geser triaksial untuk melaksanakan uji geser tanpa konsolidasi dan tanpa drainase terdiri atas beberapa kelompok peralatan. Kelompok peralatan tersebut meliputi peralatan pembeban aksial, peralatan ukur, peralatan pengontrol tekanan, sel triaksial dan perlengkapannya, serta peralatan lain.

2.5.7. Uji Sifat Tahan Lekang Batu (*Slake Durability*)

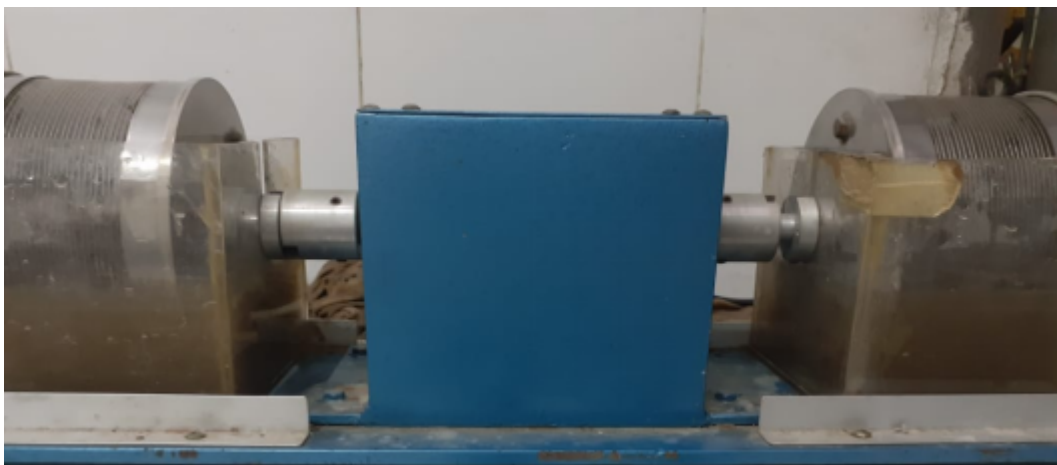
Berdasarkan SNI 3406:2011, pengujian ini bertujuan untuk mengetahui daya tahan batu terhadap proses pelekangan. Pengujian dilakukan dengan cara penimbangan, pengeringan, penjernihan dan abrasi secara bergantian dan berulang. Hasil pengujian dinyatakan dalam indeks tahan lekang batu yang mencerminkan kualitas batu sebagai bahan bangunan. Indeks tahan lekang adalah nilai ketahanan batu terhadap proses pelemahan dan disintegrasi oleh sebab pengeringan, penjenuhan dan abrasi.



Keterangan gambar:

- | | |
|--|--|
| 1. Lengan penahan piston | 14. Alas sel triaksial |
| 2. Piston | 15. Ring perapat |
| 3. Katup pengisi oli | 16. Karet penyekat ("O ring seal") |
| 4. Penahan piston | 17. C = Katup pengatur tekanan balik air pengeluaran |
| 5. Penutup sel | 18. A = Katup pengatur tekanan sel |
| 6. Silinder tembus pandang | 19. Karet ("O ring") |
| 7. Penutup benda uji | 20. Batu pori |
| 8. Air pengujian dalam sel | 21. Selang saluran tekanan balik |
| 9. Benda uji | 22. Karet ("O ring") |
| 10. Membran karet | 23. Batang penguat |
| 11. Alas benda uji | 24. Penutup pengeluar udara/air |
| 12. D = Katup pengatur tekanan air pemasukan | 25. Dudukan lengan penahan piston |
| 13. B = Katup pengatur tekanan air pori | 26. Proving ring untuk pembebanan aksial |

Gambar 2.8 Contoh Sel Triaksial (Sumber : SNI 03-4813-1998)



Gambar 2.9 Alat Uji Sifat Tahan Lekang Batu

2.5.8 Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah usaha untuk memperbaiki sifat-sifat tanah yang ada, sehingga didapatkan sifat-sifat tanah yang memenuhi syarat-syarat teknis untuk lokasi konstruksi bangunan. Bahan stabilisasi menghasilkan tanah menjadi stabil, pemakaian bahan stabilisasi harus digunakan secara ekonomis. Tanah lempung dan *clay shale* adalah tanah yang berukuran kurang dari 0,002 mm dan mempunyai partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat-sifat plastis pada tanah bila dicampur air. Jenis tanah lempung dan *clay shale* mempunyai nilai indeks plastisitas tinggi dan mempunyai nilai CBR tanah yang kecil (Gunarti, 2014), sehingga perlu diadakan upaya perbaikan karakteristik tanah dengan proses stabilisasi tanah (Gunarti, 2015). Stabilisasi tanah merupakan upaya meningkatkan kualitas tanah dengan menyampurkan beberapa bahan tambah berupa bahan kimia. Salah satu upaya stabilisasi tanah lempung dengan menggunakan bahan tambah semen. Stabilisasi tanah menggunakan semen telah banyak digunakan karena kemudahan mendapatkan bahan tambah, pengaplikasian di lapangan yang mudah dan dari hasil proses stabilisasi tersebut semen dapat meningkatkan daya dukung tanah yang cukup signifikan. Dari keunggulan semen tersebut maka dapat digunakan sebagai salah satu bahan campur untuk stabilisasi tanah (Basuki, R, Maschus dan Diah, M., 2009), diharapkan penambahan bahan tersebut dapat memperbaiki karakteristik *clay shale*.

2.6 Parameter Geoteknik *Clay Shale*

Clay shale juga merupakan salah satu yang paling kompleks bahan dari sudut pandang geologi; geoteknik; dan ilmu lingkungan. *Clay shale* menunjukkan perilaku khusus yang memiliki kecenderungan untuk berubah sangat cepat dari batu menjadi tanah dalam waktu yang relatif singkat. Jadi *clay shale*, paling sering, dianggap sebagai bahan masalah. Paling kasus, pembentukan *clay shale* dipengaruhi oleh jenis mineral penyusunnya, serta iklim kondisi; fisiografi dan topografi area yang dipertimbangkan (Deen, 1981).

Sebagian besar *clay shale* ada di zona tak jenuh karena efek kapiler lebih berperan dalam hal itu luas dan tergantung pada lokasi air tanah, di Selain itu *clay shale* dimasukkan sebagai perantara atau material transisi antara tanah dan batuan.

Clay shale adalah pemadatan tanah liat; lanau; pasir dan juga debu dengan berbagai jenis sementasi. *Clay shale* adalah lapisan sedimen berbutir halus batuan yang terbentuk dari tanah yang terkonsolidasi sebagai akibat dari tekanan atau ketegangan besar di masa lalu. Sedimen batuan (khususnya *clay shales*) terbentuk relatif dekat permukaan bumi dan tanpa panas dan tekanan ekstrim yang terjadi pada kedalaman, mereka cenderung stabil secara mineralogis di dekat permukaan. Pelapukan material ini kemudian melibatkan salah satu pembalikan konsolidasi tekanan atau pembubaran ikatan semen yang menahan biji-bijian atau kelompok mineral bersama-sama (Walkinshaw dan Shanti, 1996).

Sebagian besar *clay shale* ada di zona tak jenuh karena efek kapiler lebih berperan dalam hal itu luas dan tergantung pada lokasi air tanah, selain itu *clay shale* dimasukkan sebagai perantara atau material transisi antara tanah dan batuan. *Clay shale* adalah pemadatan tanah liat; lanau; pasir dan juga debu dengan berbagai jenis sementasi. *Clay shale* pada daerah batuan geologi Bogor ada pada zona tak jenuh, sehingga kapiler sangat berpengaruh kekuatan tanah liat dimana permukaan air tanah tidak ditemukan sampai pekerjaan membosankan di penyelidikan tanah. Kekuatan kapiler muncul sangat berpengaruh, yang disebabkan oleh tekanan air pori negatif dan bisa menghancurkan massa *clay shale* jika ikatan *clay shale* tidak memadai, akhirnya bisa berperilaku sebagai tanah. Secara geologis, klasifikasi *clay shale* (Wenworth, 1922; Ingram, 1953; Underwood, 1967; Rakyat, 1968) dan, secara geoteknik (Terzaghi, 1936; Bjerrum, 1967; BSI, 1957; Gamble, 1971; Deo, 1972; Morgenstern dan Eigenbrod, 1974; Botts, 1998) telah diusulkan dan ditunjukkan bahwa *clay shale* berada di zona klasifikasi yang tidak jelas dan kompleks. Dengan demikian, sebagian besar *clay shale* dapat diklasifikasikan sebagai material transisi antara tanah dan batuan.

Material *clay shale* memiliki berbagai potensi kekuatan antara tanah lunak dan batuan berkualitas rendah. Keller (1976) menyatakan bahwa kompresi uniaxial (q_u) dari *clay shale* bisa mencapai kurang dari $1,80 \text{ kg/cm}^2$. Morgenstern et al (1974) menemukan bahwa kisaran uniaksial kompresi *clay shale* segar yang terkena udara adalah $280 - 2250 \text{ kg/cm}^2$. Attewell dan Farmer (1976) menyimpulkan bahwa *clay shale* memiliki sensitivitas yang rendah. Selain itu, kekuatan *clay shale* juga sangat bergantung pada level dan jenis material pengikat.

Klasifikasi *clay shale* telah dibahas cukup baik secara geoteknik maupun geologis. Secara umum, batuan berlempung seperti serpih, batulumpur, batulempung, batulanau, dan serpih lempung dicirikan oleh variasi yang luas baik dalam sifat teknik maupun komposisinya. Karakteristik umum dari kelompok batuan ini adalah bahwa semua anggotanya berbutir halus dan sebagian besar terdiri dari material berukuran lempung dan lanau. Istilah serpih telah digunakan oleh beberapa penulis untuk semua batuan berlempung, termasuk batulempung, batulanau dan batulumpur (Ingram, 1953; Krumbein dan Sloss, 1963). Peneliti yang lain telah menetapkan kelompok besar sebagai kelompok batu lumpur dan mengklasifikasikan serpih sebagai anggota kelompok ini (Twenhofel, 1939; Muller, 1964). Terzaghi (1946) memiliki pendapat berbeda dalam mendefinisikan serpih. Dia mengklaim bahwa material tersebut harus disebut serpih ketika menunjukkan cincin bening saat dipukul dengan palu, dan tidak menunjukkan perubahan volume saat direndam dalam air. Banyak klasifikasi yang digunakan untuk batuan berlempung adalah geologis dan bergantung pada sifat-sifat seperti kandungan kuarsa, ukuran butir, warna, dan derajat pematatan. Meskipun ini memberikan informasi penting mengenai sejarah geologi bahan-bahan ini, klasifikasi tersebut dapat menyesatkan bila berkaitan dengan perilaku teknik. Hal ini terbukti secara khusus saat mengevaluasi perilaku serpih tanah liat. Karakteristik umum serpih lempung (*clay shale*) meliputi

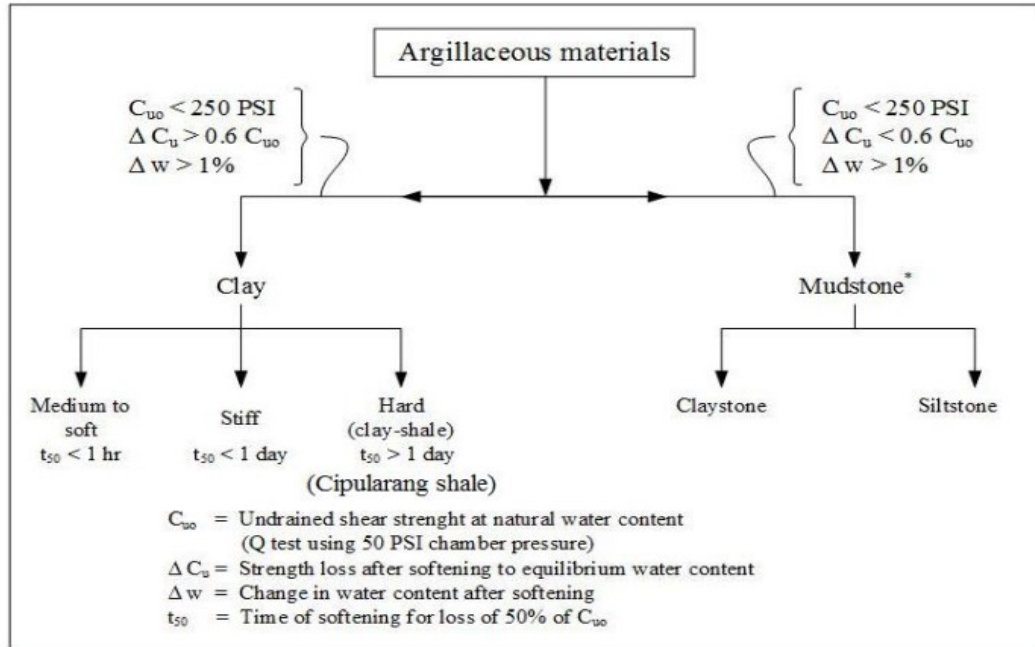
- (1) sangat terkonsolidasi,
- (2) retak berskala kecil,
- (3) ikatan diagenesis yang kuat,
- (4) kecenderungan mengendap ketika dibasahi kembali setelah pengeringan,
- (5) tekanan pembengkakan tinggi dengan adanya air , dan
- (6) disintegrasi yang signifikan sebagai akibat interaksi dengan air.

Di luar gambaran umum serpih tanah liat, klasifikasi bahan-bahan ini menjadi rumit dan membingungkan. Banyak skema klasifikasi untuk bahan argillaceous telah diusulkan, dan telah ditinjau oleh Shamburger, Patrick, dan Lutten (1975), Deen (1981), dan lain-lain. Klasifikasi *clay shale* sebenarnya cukup kompleks dan sebagai bahan perantara antara batuan dan tanah (Botts, 1986).

Klasifikasi teknik awal diusulkan oleh Terzaghi (1936) yang membagi lempung berdasarkan kekakuan dan ada atau tidaknya celah menjadi tiga istilah utama; lempung lunak bebas dari retakan, lempung kaku bebas dari rekahan, dan lempung retak kaku. Bjerrum (1967) mengadopsi pendekatan yang berbeda, ia mengusulkan klasifikasi tiga kali lipat yang tumpang tindih, berdasarkan kekuatan ikatan dan perluasan hingga material serpih. Dalam klasifikasinya, istilah-istilah deskriptif ini diikuti: (a) lempung yang terlalu terkonsolidasi dengan ikatan yang lemah atau tidak ada, (b) serpih lempung yaitu lempung yang terkonsolidasi secara berlebihan dengan ikatan diagenetik yang berkembang, dan (c) serpih yaitu lempung yang terkonsolidasi secara berlebihan dengan ikatan diagenetik yang sangat jelas. Kedua klasifikasi memiliki tumpang tindih yang signifikan, tetapi kurang dibedakan di antara keduanya sehingga menimbulkan kebingungan istilah. Kebingungan lebih lanjut telah berkembang dari penggunaan klasifikasi British Standard Institute, yang menggunakan istilah serupa berdasarkan konsistensi atau kekuatan. Klasifikasi ini menyebabkan beberapa ambiguitas terutama ketika menggunakan istilah seperti "over-konsolidasi" (Johnson, 1969; Fleming et al, 1970), dan "kaku, tanah liat pecah-pecah" (Chandler, 1970) untuk menunjukkan serpih terikat lemah. Ketidakkonsistenan dalam terminologi ini paling menonjol untuk material berlempung yang merupakan transisi antara lempung yang terkonsolidasi secara normal dan serpih utuh. Upaya dilakukan oleh beberapa peneliti (Mead, 1936; Philbrick, 1950) untuk menjelaskan potensi perubahan dalam perilaku material dengan waktu. Pengaruh daya tahan dipertimbangkan dan istilah "*slaking*" diperkenalkan dalam skema klasifikasi mereka. Berdasarkan korelasi sifat material, seperti kadar air, batas cair, kepadatan kering, dll. Semua penulis di atas menginformasikan bahwa klasifikasi berdasarkan geoteknik dianggap tidak hanya untuk perilaku *clay shale*, tetapi juga distribusi ukuran butir, kuat geser, rasio konsolidasi berlebih, dan batasan Atterberg. Pada awalnya, karena faktor waktu tidak dihitung, maka klasifikasi tersebut berlaku untuk semua lempung yang terkonsolidasi secara normal (Terzaghi, 1936; Bjerrum, 1967; Morgenstern dan Eigenbrod (1974) juga menyarankan 2 (dua) jenis klasifikasi di mana mereka difokuskan pada perubahan kekuatan geser tak terdrainase dan kadar air setelah pelunakan (Gambar. 2.10). Dengan nilai kuat tekan uniaksial

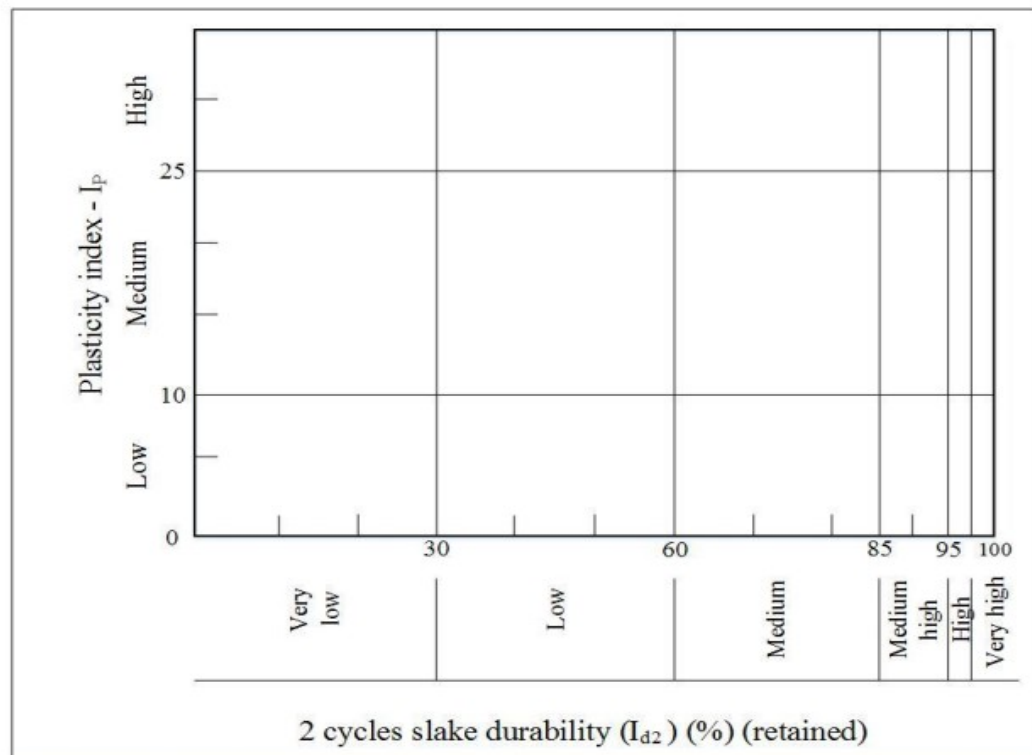
batuan (q_u), Deere dan Miller (1966) dibagi 5 (lima) kelas untuk variasi modulus mulai dari kekakuan terendah hingga tertinggi. Berdasarkan nilai modulusnya, material batuan dibagi menjadi 5 kelas yaitu: nilai kekakuan terendah sampai tertinggi.

Gamble (1971) melakukan investigasi ekstensif pada ketahanan varietas serpih, dia sangat kuat merekomendasikan agar bahan-bahan ini bisa menjadi yang terbaik diklasifikasikan atas dasar hubungan antara indeks ketahanan dua siklus slake dan plastiknya indeks. Gamble menyarankan agar lebih banyak pekerjaan diperlukan untuk menghubungkan hasil laboratorium dengan perilaku lapangan, tetapi tidak ada upaya untuk melakukannya menghubungkan antara skema klasifikasinya dan terminologi yang telah ditetapkan sebelumnya. Gamble (1971) melakukan penelitian ketahanan serpih dari berbagai lokasi dan konsistensi. Secara fisik properti (kadar air, batas cairan, dll), serpih klasifikasi dibagi menurut slake indeks durabilitas (I_d) dan indeks plastisitas (PI). Di klasifikasi ini, diperlukan batas Atterberg (LL dan PL) dan uji ketahanan slake seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 2.11 (Gamble, 1971; Franklin et.al, 1972).



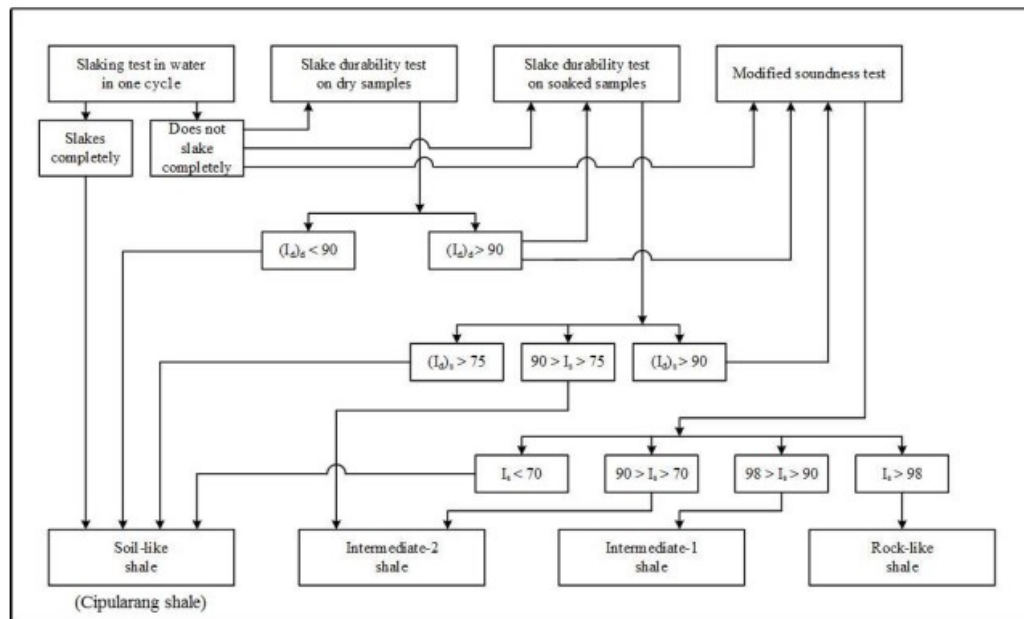
Gambar 2.10 Dua Bagian Skema Klasifikasi berdasarkan Minimal 50% Partikel Berukuran Tanah Liat

Sumber: Putera (2017), setelah Morgenstern dan Eigenbrod, 1974



Gambar 2.11 Gamble's Geotechnical Classification (Gamble, 1971)

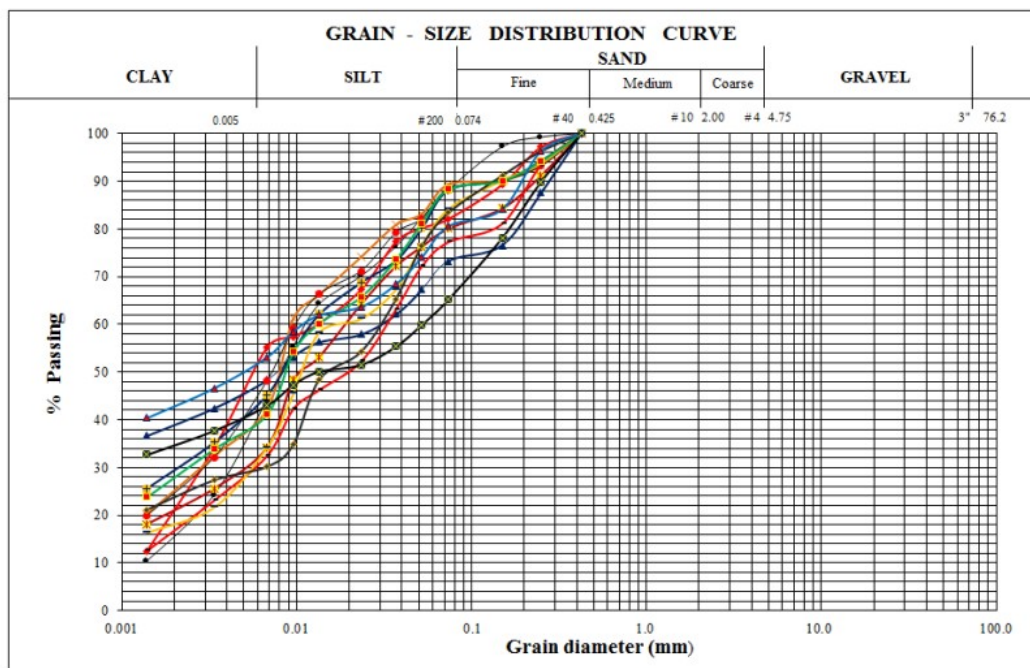
Berdasarkan realisasi pentingnya serpih kerusakan, klasifikasi lain diusulkan oleh Deo (1972) yang diklasifikasikan sebagai *argillaceous* bahan sesuai dengan kerentanannya terhadap kerusakan daripada keadaan awal bahan. Tiga tes, yang semuanya mengukur serpih durability (yaitu *slaking*, *slake durability*, dan *sulfate soundness*), dilakukan pada berbagai serpih dari deposit Paleozoikum di Indiana. Menggunakan indeks Dari ketiga tes tersebut, Deo mengategorikan endapan serpih menjadi serpih seperti tanah, dua jenis serpih menengah, dan serpih seperti batuan. Menurut menurut Deo (1972), serpih dibagi 4 (empat) jenis, seperti: (1) serpih seperti tanah; (2) Menengah-2 serpih; (3) serpih menengah-1; dan (4) seperti batu serpih dengan beberapa kriteria berdasarkan nilai I_d dari uji ketahanan indeks dan/atau kesehatan sulfat indeks (I_m). Deo (1972) menyarankan untuk melakukan satu siklus uji *slaking*. Ini akan menjadi seperti tanah jika diuji Hasilnya menunjukkan kondisi serpih yang lemah (Gambar. 2.12). Jika *slaking* dalam satu siklus tidak selesai, maka bisa dilanjutkan dengan salah satu tes atau kombinasi.



Gambar 2.12 Deo's Classification of Shales (Deo, 1972)

2.7 Analisis Parameter Geoteknik *Clay Shale*

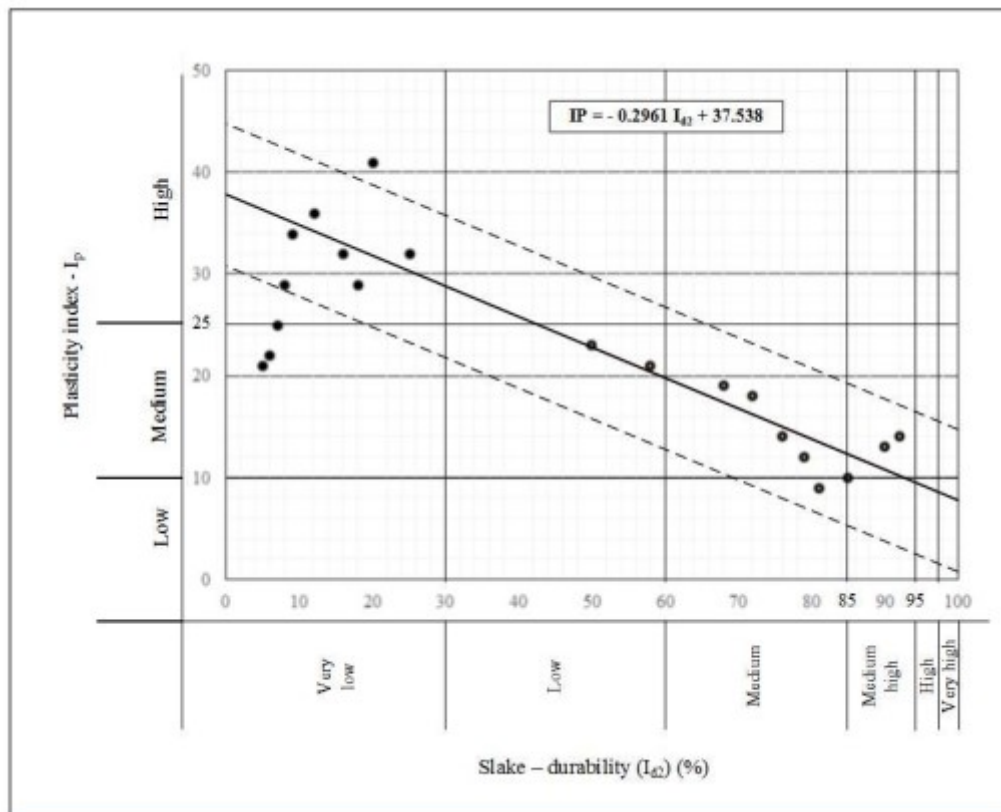
Menurut klasifikasi geologi dari Wentworth (1922), Ingram (1953), Folk (1968), dan kurva gradasi berdasarkan Underwood (1967) sebagai seperti pada Gambar 2.13 didominasi oleh lanau dan tanah liat ukuran, bahan ini dapat diidentifikasi sebagai "*clay shale*" dengan perilaku seperti tanah. Dengan menggunakan klasifikasi batuan dari Deere dan Miller (1966), *clay shale* Cipularang (km. 97 + 000) dari Jakarta berdasarkan modulus elastisitas (E) dan kuat tekan uniaksial (q_u) bisa tergolong "batuan sangat lunak" dengan yang paling rendah kekakuan, di mana nilai E ada lebih rendah dari 100.000 kg/cm^2 dan nilai q_u lebih rendah dari 200 kg/cm^2 .



Gambar 2.13 Distribusi Ukuran Butir

Sumber: Putera, 2017

Dalam klasifikasi geoteknik lebih difokuskan sifat material dari *clay shale* berdasarkan daya tahan tingkat dan kecenderungan perilaku serpih (seperti tanah serpih atau batuan seperti serpih). Berdasarkan klasifikasi ketahanan dari Gamble (1971), menunjukkan bahwa *clay shale* tersebar secara merata (Gambar. 2.13). Secara umum, Cipularang termasuk dalam *clay shale* kelompok daya tahan rendah dengan media plastisitas ke daya tahan tinggi dan sedang ke tinggi dengan daya tahan rendah hingga plastisitas sedang. Daya tahan (I_d2) data batuan lebih rendah dari 30%, itu sulit untuk melakukan kompresi uniaksial uji karena sampel rapuh dan runtuh dalam pengujian persiapan. Itu sama dengan uji beban titik dimana sampel rusak saat pengujian dimulai. Dari Gambar 2.14 menunjukkan pola tertentu, jika plastisitas indeks meningkat, daya tahan batuan menurun.



Gambar 2.14 Klasifikasi *Clay Shale* Tol Cipularang (Gamble, 1971)

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Model Penelitian

Penelitian dapat dilaksanakan tepat waktu dan tepat sasaran dengan menghasilkan data valid serta kesimpulan yang akurat apabila dipersiapkan dengan cermat baik alat, bahan dan cara penelitiannya. Alat-alat yang digunakan dalam penelitian ini meliputi hardware berupa laptop, lembar isian pengujian laboratorium dan kamera sedangkan software untuk pengolahan data menggunakan program Microsoft Excel.

Metode penelitian yang digunakan adalah penelitian kuantitatif yang didefinisikan sebagai metode yang didasarkan pada asas positifisme, digunakan untuk meneliti pada populasi atau sampel tertentu, dimana

- a) Teknik pengambilan sampelnya dilakukan secara random
- b) Pengumpulan data menggunakan instrument penelitian
- c) Analisis data bersifat kuantitatif / statistik dengan tujuan untuk menguji hipotesis yang ditetapkan (Sugiyono, 2013)

Cara untuk menarik kesimpulan pada penelitian ini adalah mengkombinasi dari hipotesis asosiatif untuk nilai dari parameter tanah.

Penelitian kuantitatif yang dilandasi pada suatu asumsi bahwa suatu gejala dapat diklasifikasikan sementara gejala juga bersifat sebab akibat. Model penelitian adalah pola pikir yang menterjemahkan hubungan antar variabel yang akan diteliti dan sekaligus mencerminkan jenis dan jumlah rumusan masalah, teori untuk merumuskan hipotesis serta teknik analisa statistika yang akan digunakan (Sugiyono, 2019).

3.2 Lokasi Penelitian

Lokasi dalam penelitian ini adalah pada *quarry clay shale* di daerah Cariu, Jonggol, Jawa Barat, seperti pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Lokasi Penelitian; *Clay Shale* Cariu, Jonggol

3.3 Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data

3.3.1 Jenis dan Sumber Data

Data primer adalah data yang diambil langsung dari sampel yang sudah ditentukan dengan teknik pengambilan datanya yang lazim biasanya dengan survey lapangan dan penyelidikan laboratorium berdasarkan standar pemeriksaan sampel geoteknik dari ASTM dan SNI.

Data sekunder adalah data yang diperoleh dari penelitian lain yang didapat dengan cara mendatangi langsung instansi terkait dan mengambil *hardcopy*nya, penelusuran web instansi, jurnal, prosiding dan lain-lain.

3.3.2 Teknik dan Pengumpulan Data

Pengumpulan data adalah bagian yang paling strategis dalam proses penelitian karena tujuan utamanya adalah mendapatkan data (Sugiyono, 2013). Teknik untuk mendapatkan data pada penelitian ini meliputi studi kepustakaan, survey lapangan dan analisa laboratorium.

1) Studi kepustakaan

Melakukan study kepustakaan dengan mempelajari, meneliti, mengkaji dan menelaah literatur-literatur berupa buku, jurnal, bulletin, hasil symposium yang berhubungan erat dengan penelitian untuk dijadikan sebagai dasar landasan teori.

2) Survey Lapangan

Data primer didapatkan dengan langsung mengadakan survei lapangan dengan pengambilan sampel *clay shale*, diambil secara langsung di daerah Studi meliputi kondisi; *disturbed* (terganggu) dan *undisturbed* (tidak terganggu)

3) Laboratorium Mekanika Tanah

Penyelidikan parameter tanah dilakukan di Laboratorium Mekanika Tanah ISTN dengan melakukan pengujian; analisa saringan, berat jenis tanah, kadar air, kuat geser, triaxial UU, *slake durability*.

3.3.3 Persiapan Sampel Uji

Sampel uji dipersiapkan dari pengujian pemadatan laboratorium *clay shale* yang telah melapuk seluruhnya dicampur dengan variasi prosentase semen *Portland*. Variasi semen *Portland* masing – masing diberikan sebesar 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% PC terhadap berat kering *clay shale*. Setiap campuran semen *Portland* dan *clay shale* masing – masing diambil 3 (tiga) sampel. Pertama sampel dengan kadar air lebih kecil dari kadar air optimum ($< W_{opt}$), kedua sampel dengan kadar air optimum ($= W_{opt}$) dan ketiga sampel dengan kadar air lebih besar dari kadar air optimum ($> W_{opt}$). Tabel 3.1 adalah ringkasan dari persiapan sampel *clay shale* dengan variasi prosentase PC dan variasi kadar air dengan kondisi kering dan basah.

Tabel 3.1 Sampel dan Variasi Pengkondisian

Penambahan Air terhadap Sampel	Prosentase Penambahan <i>Portland Cement</i>								
	3 hari (<i>soaked</i>)					8 hari dan 16 hari (kering dan basah)			
	0%	5%	10%	15%	20%	5%	10%	15%	20%
3% ($< W_{opt}$)	√	√	√	√	√	√	√	√	√
8% ($= W_{opt}$)	√	√	√	√	√	√	√	√	√
13% ($> W_{opt}$)	√	√	√	√	√	√	√	√	√

3.3.4 Prosedur Penelitian Laboratorium

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian material *clay shale* yang akan diupayakan stabilisasinya menggunakan semen *Portland*. Tanah *clay shale* ini diperoleh dari Cariu, Jonggol, Jawa Barat (Gambar 3.2). Lokasinya berada

tepat di peternakan penggemukan sapi, *clay shale* diambil dalam kondisi yang terganggu (*disturbed*) dimana sampel uji ini telah terekspose oleh udara luar (Eko Arif Purnomo, 2020).



Gambar 3.2 Lokasi Pengambilan Sampel *Clay Shale* Cariu, Jonggol, Jawa Barat

Dalam penelitian ini, pengujian dilakukan di laboratorium *Geoinves Soil Mechanics Laboratory*. Prosedur pengujian dilakukan berdasarkan standar ASTM. Pengujian – pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini diantara lain adalah:

A. Pengujian Sifat Fisik Tanah (*Index Properties*)

Untuk mengetahui karakteristik suatu sampel perlu dilakukan serangkaian pengujian *index properties* dengan metode sebagai berikut:

a. Pengujian Kadar Air dan Berat Isi Tanah

- ❖ Tujuan : menentukan kadar air yang terkandung dalam material uji.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-2216-98 dan ASTM C-29
- ❖ Peralatan :
 1. Silinder ring
 2. Timbangan dengan ketelitian 0,01 gram

3. Oven
 4. Desikator
 5. Sample Extruder
 6. Stickmaat (jangka sorong)
 7. Pisau
 8. Kontainer atau wadah kecil
- ❖ Prosedur Uji – Kadar Air :
1. Siapkan 3 wadah kontainer, beri nama dan timbang beratnya masing-masing;
 2. Masukkan contoh tanah kedalam masing-masing wadah kontainer tadi, timbang, dan kemudian masukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105° C;
 3. Sesudah itu, contoh tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam desikator ± 1 jam;
 4. Contoh tanah yang sudah dingin ditimbang, didapat berat kering.
- ❖ Prosedur Uji – Berat Isi Tanah :
1. Silinder ring dibersihkan, kemudian dengan stickmaat diukur diameter (d), tinggi (t), dan beratnya ditimbang;
 2. Silinder ring ditekan masuk ke dalam tanah dan kemudian dengan alat dongkrak silinder dikeluarkan, potong dengan pisau, kemudian tanah di sekitar ring dibersihkan dan permukaan tanah diratakan;
 3. Ring + contoh tanah ditimbang, kemudian dimasukkan ke dalam oven selama 24 jam dengan suhu 105° C;
 4. Sesudah itu, contoh tanah yang sudah kering dimasukkan ke dalam desikator ± 1 jam;
 5. Contoh tanah yang sudah dingin ditimbang, didapat berat kering.
- ❖ Perhitungan :
- $$w = \frac{(w_2 - w_1) - (w_3 - w_1)}{w_3 - w_1} \times 100 \% \quad w = \frac{(w_2 - w_1) - (w_3 - w_1)}{w_3 - w_1} \times 100 \% \quad \text{atau}$$
- $$w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad w = \frac{W_w}{W_s} \times 100 \% \quad (3.1)$$

Dimana :

w = kadar air (%)

W_1 = berat cawan

W_2 = berat tanah basah + cawan

W_3 = berat tanah kering + cawan

W_w = berat air = $W_2 - W_1 - W_s$

W_s = berat butir = $W_3 - W_1$

b. Pengujian Berat Jenis Tanah

- ❖ Tujuan : mengetahui berat jenis sampel uji. Berat jenis tanah digunakan pada hubungan fungsional antara fase udara, air, dan butiran dalam tanah dan oleh karenanya diperlukan untuk perhitungan – perhitungan parameter indeks tanah.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-854-02 Piknometer
- ❖ Peralatan :
 1. Botol piknometer
 2. Aquades
 3. Timbangan dengan ketelitian 0,01 g
 4. Termometer
 5. Alat pemanas berupa kompor listrik
 6. Oven
 7. *Evaporating dish* dan mangkok porselin
 8. Pipet
 9. Alat pengaduk batang dari gelas
- ❖ Prosedur Uji – Berat Jenis Tanah :
 1. Dilakukan kalibrasi terhadap piknometer, yaitu dengan melakukan :
 - (1) Piknometer yang kosong dan bersih ditimbang (W_1), kemudian diisi aquades sampai batas kalibrasi (*calibration mark*)
 - (2) Keringkan bagian luar piknometer dan juga didaerah tutupnya.
 - (3) Piknometer dan aquades ditimbang (W_4) dan diukur suhunya.
Harus diperhatikan bahwa pembagian suhu harus merata.
 2. Ambil contoh sampel seberat ± 50 gr. Untuk sampel kering langsung dimasukkan ke dalam piknometer lalu ditimbang (W_2)

3. Piknometer yang berisi tanah ditambahkan aquades sampai mencapai 2/3 bagian, lalu diaduk sampai homogen.
4. Piknometer yang berisi contoh tanah ini dipanaskan di atas kompor listrik selama ± 10 menit supaya gelembung udaranya keluar.
5. Sesudah itu piknometer diangkat dari kompor dan didiamkan sampai suhunya sesuai dengan suhu ruangan $\pm 25^\circ$
6. Piknometer diambil, bagian luar dikeringkan, ditambah air hingga batas kalibrasi dan ditimbang (W_3)
7. Percobaan diatas dilakukan tiga kali sehingga didapatkan 3 harga G_s yang kemudian dirata-ratakan.

❖ Perhitungan :

Tahap-tahap perhitungan dalam pengujian ini adalah :

- a) Berat jenis sampel pada suhu $T^\circ\text{C}$ dihitung dengan rumus sebagai berikut:

$$G_s = \frac{W_2 - W_3}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)} \quad (3.2)$$

Dimana:

- G_s = berat jenis
- W_1 = berat piknometer
- W_2 = berat piknometer dan sampel kering
- W_3 = berat piknometer, sampel dan air
- W_4 = berat piknometer dan air

- b) Apabila hasil kedua berada lebih dari 0,03 pemeriksaan harus diulang

c. Pengujian Batas-Batas Atterberg

- ❖ Tujuan : menentukan klasifikasi tanah butir halus.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-4318-00
- ❖ Peralatan :

Batas Cair

1. Pelat kaca, dan pisau dempul
2. Timbangan dengan ketelitian 0.01 g
3. Kontainer sebanyak 5 buah

4. Alat Cassagrande dengan pisau pemotongnya
5. Cawan porselin
6. Oven dan desikator
7. Aquades
8. Spatula

Batas Plastis

1. Pelat kaca
2. Timbangan dengan ketelitian 0.01 g
3. Kontainer
4. Mangkok porselin
5. Stikmaat/jangka sorong
6. Oven dan desikator

❖ Prosedur Uji – Batas Cair :

1. Contoh tanah diambil secukupnya, ditaruh dalam cawan porselin dan ditumbuk dengan penumbuk karet, diberi aquades dan diaduk sampai homogen;
2. Pindahkan tanah tersebut ke atas plat kaca dan diaduk sampai homogen dengan pisau dempul, bagian yang kasar dibuang;
3. Ambil sebagian dari contoh tanah, dan dimasukkan dalam alat Casagrande, ratakan permukaannya dengan pisau. Contoh tanah dalam mangkok Casagrande dipotong dengan grooving tool dengan posisi tegak lurus, sehingga didapat jalur tengah;
4. Alat Casagrande diputar dengan kecepatan konstan 2 putaran/detik. Mangkok akan terangkat dan jatuh dengan ketinggian 10 mm (sudah distel);
5. Percobaan dihentikan jika bagian yang terpotong sudah merapat, dan dicatat banyaknya ketukan, biasanya harus berkisar antara 10 - 100 ketukan;
6. Tanah pada bagian yang merapat diambil dan dimasukkan dalam oven, ditempatkan dalam kontainer yang telah ditimbang beratnya. Sebelum dimasukkan dalam oven tanah + kontainer ditimbang;

7. Setelah dioven selama 24 jam pada temperatur $105^{\circ} - 100^{\circ} \text{ C}$, baru dimasukkan dalam desikator selama ± 1 jam untuk mencegah penyerapan uap air dari udara;
 8. Percobaan di atas dilakukan 5 kali;
 9. Segera dilakukan penimbangan sesudah keluar dari desikator;
 10. Setelah kadar air didapat, dibuat grafik hubungan antara kadar air dengan jumlah ketukan dalam kertas skala semi-log. Grafik ini secara teoritis merupakan garis lurus;
 11. Kadar air dimana jumlah ketukan 25 kali disebut Batas Cair. Batas Cair ini diulangi dengan tanah yang telah dimasukkan dalam oven; tanah tersebut ditambahkan aquades secukupnya, prosedur selanjutnya sama dengan di atas; dan Batas Cair yang didapatkan disebut “wL oven”.
- ❖ Prosedur Uji – Batas Plastis :
1. Masukkan contoh tanah dalam mangkok, diremas-remas sampai lembut, ditambahkan aquades sedikit dan diaduk sampai homogeny;
 2. Letakkan contoh tanah adukan itu di atas pelat kaca dan digulung-gulung dengan telapak tangan sampai diameternya kira-kira $1/8$ inch (3 mm). Akan dijumpai 3 keadaan :
 - gulungan terlalu basah sehingga dengan diameter $1/8$ inch tanah belum retak;
 - gulungan terlalu kering sehingga sewaktu diameter belum mencapai $1/8$ inch, gulungan tanah sudah mulai retak;
 - gulungan dengan kadar air tepat, yaitu gulungan mulai retak sewaktu mencapai diameter $1/8$ inch.
 3. Timbang kontainer sebanyak 3 buah;
 4. Gulungan tanah tersebut dimasukkan ke dalam kontainer, tiap kontainer berisi 5 buah gulungan, dengan berat masing-masing minimum ± 5 gr. Ketiga kontainer yang berisi gulungan tanah tersebut dimasukkan dalam oven ± 24 jam pada suhu $105^{\circ} - 110^{\circ} \text{ C}$;
 5. Setelah dioven lalu dimasukkan ke dalam desikator selama kurang lebih 1 jam, lalu ditimbang;

6. Harga rata-rata kadar air dari percobaan di atas adalah batas plastisnya.

d. Pengujian Saringan Sieve dan Hidrometer

- ❖ Tujuan : mengetahui distribusi ukuran butir tanah kasar dan halus.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-1140 dan ASTM D-442
- ❖ Peralatan :

Saringan Sieve

1. Satu set ayakan (*sieve*), yang lengkap dengan saringan dengan urutan ukuran diameter lubang sesuai dengan standar, yaitu no 4, 10, 20, 40, 80, 120, 200, dan pan;
2. Stopwatch
3. Timbangan dengan ketelitian 0.01 g
4. Kuas
5. Mesin pengayak (*sieve shaker*)
6. Palu karet

Hidrometer

1. Satu buah hidrometer tipe ASTM – 152 H
 2. Duah buah tabung gelas dengan volume 1000 cc
 3. Stopwatch
 4. Mixer dan mangkoknya
 5. Air gelas (deflocculating agent atau dispersing agent), digunakan dengan maksud mencegah penggumpalan butir-butir tanah dalam larutan
 6. Timbangan dengan ketelitian 0.01 g
 7. Termometer
 8. Dish
 9. Oven
 10. Aquades
- ❖ Prosedur Uji – Saringan (*Sieve*) :
 1. Ayakan dibersihkan dengan menggunakan kuas kering, sehingga lubang-lubang dari ayakan bersih dari butir-butir yang menempel;
 2. Masing-masing ayakan dan pan ditimbang beratnya;

3. Kemudian ayakan tadi disusun menurut nomor ayakan (ukuran lubang terbesar di atas);
 4. Ambil contoh tanah seberat 500 gram, lalu masukkan ke dalam ayakan teratas dan kemudian ditutup;
 5. Susunan ayakan dikocok dengan bantuan sieve shaker selama kurang lebih 10 menit;
 6. Diamkan selama 3 menit agar debu-debu mengendap;
 7. Masing-masing ayakan dengan contoh tanah yang tertinggal ditimbang, diperoleh berat tanah tertahan.
- ❖ Prosedur Uji – Hidrometer :
1. Larutan dimasukkan ke dalam satu tabung gelas dan tambah air hingga volumenya 1000 cc. Tabung gelas yang satu lagi diisi dengan air untuk tempat hidrometer;
 2. Tabung yang berisi larutan tanah dikocok selama 30 detik, hidrometer dimasukkan. Pembacaan dilakukan pada menit ke 0, 1, 2, 4 dengan catatan untuk tiap-tiap pembacaan, hidrometer hanya diperkenankan 10 detik dalam larutan, selebihnya hidrometer dimasukkan dalam tabung yang berisi aquades. Temperatur juga diukur pada setelah pembacaan;
 3. Tabung dikocok lagi dan pembacaan diulang seperti di atas, ini dilakukan 3 kali dan diambil harga rata-ratanya;
 4. Setelah ini dilanjutkan pembacaan tanpa mengocok, pembacaan dilakukan pada menit ke 8, 60, 30, 45, 90, 210, 1290, 1440;
 5. Pada tiap-tiap pembacaan hidrometer diangkat dan diukur temperaturnya.
 6. Setelah semua pembacaan selesai, larutan dituang dalam dish yang telah ditimbang beratnya, kemudian dimasukkan dalam oven selama 24 jam pada temperatur 105° - 110° C untuk mendapatkan berat keringnya;
 7. Dari percobaan di atas dapat dihitung persen lebih halusnnya, dan dengan menggunakan *chart* dapat dihitung ekuivalennya;

8. Dari hasil perhitungan di atas dapat dibuat *grain size distribution curve*-nya

B. Pengujian Pemasatan (*Compaction Test*)

Percobaan pematatan yang dilakukan dalam penelitian ini adalah percobaan pematatan *modified proctor*

- ❖ Tujuan : menentukan hubungan antara kadar air dan berat isi kering. Dari kadar air dan berat isi kering yang diperoleh dari hasil-hasil percobaan ini akan didapatkan kadar air optimum dan berat isi kering maksimum.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-698
- ❖ Peralatan :
 1. Alat kompaksi
 - *Mold* dengan tinggi 4.5", diameter 4", volume 1/30 cu-ft
 - *Collar* dengan tinggi 2.5", diameter 4"
 - *Hammer* dengan berat 10 lb, diameter 2", tinggi jatuh 18"
 2. *Sprayer* untuk menyemprot air ke tanah
 3. Ayakan No. 4
 4. Pisau, *scoop*, palu karet
 5. Timbangan ketelitian 0.1 atau 0.01 g
 6. Oven
 7. Cawan
- ❖ Prosedur Uji :
 1. Siapkan contoh sampel yang akan diuji 200g, dimana sampel lepas ayakan No.8, hasil ayakan dipergunakan.
 2. Sampel hasil ayakan sebanyak 200g tuang air dengan prosentase tertentu untuk mendapatkan hasil contoh tanah dengan kebasahan merata sehingga bisa dikepal tapi masih mudah lepas (hancur)
 3. *Mold* yang akan dipergunakan dibersihkan, ditimbang beratnya dan diukur volumenya (biasanya volume *mold* = 1/30 cu-ft). Isikan contoh sampel kedalam *mold* setelah 1"-2" (modified).

4. Tumbuk dengan *hammer* sebanyak 10 kali pada tempat yang berlainan. *Hammer* yang dipergunakan disesuaikan dengan cara percobaan
5. Isikan lagi untuk lapis berikutnya dan tumbuk sebanyak 10 kali.
6. Pengisian diteruskan sampai 5 lapis untuk *modified*. Pada penumbukan lapisan terakhir, harus dipergunakan sambungan tabung (*collar*) pada *mold* agar pada waktu penumbukan *hammer* tidak melesat keluar.
7. Buka sambungan tabung di atasnya dan ratakan permukaan tanahnya dengan pisau
8. *Mold* dan contoh tanah ditimbang
9. Sampel dikeluarkan dari dalam *mold*, letakan pada cawan untuk kemudian di timbang dan di oven selama 24 jam.
10. Setelah 24 jam dioven, cawan + sampel kering ditimbang
11. Percobaan dilakukan sebanyak 6 kali dengan setiap kali menambah kadar airnya sehingga dapat dibuat grafik berat isi kering terhadap kadar air

❖ Perhitungan :

1. Berat isi kering (γ_d) dapat dihitung dengan rumus:

$$\gamma_d = \frac{W}{V(1+w)} \quad (3.3)$$

Dimana:

W = berat total tanah kompaksi bahan dalam *mold*

V = volume *mold*

w = kadar air tanah kompaksi

2. Untuk menggambarkan *Zero Air Voids Curve* dihitung dengan memakai rumus :

$$\gamma_d = \frac{G_s \cdot \gamma_w}{1 + \frac{w \cdot G_s}{S_r}} \quad (3.4)$$

Dimana:

G_s = berat jenis tanah

γ_w = berat volume air

w = kadar air

S_r = derajat kejenuhan (100%)

Garis ZAV adalah hubungan antara berat isi kering dengan kadar air bila derajat kejenuhan 100%, yaitu bila pori tanah sama sekali tidak mengandung udara. Grafik ini berguna sebagai petunjuk pada waktu menggambarkan grafik *compaction* tersebut akan selalu berada dibawah garis ZAV biasanya tidak lurus tetapi agak cekung keatas.

Hasil percobaan pemadatan biasanya dinyatakan sebagai grafik hubungan antara berat isi kering dengan kadar air. Kadar air optimum didapatkan dengan cara sebagai berikut:

1. Dari 6 contoh dengan kadar air berbeda-beda kita dapat menghitung γ_d masing-masing. Setelah itu digambarkan dalam skala biasa w (%) sebagai absis dan γ_d sebagai ordinat sehingga akan diperoleh lengkung kompaksi.
2. Dari hasil percobaan tersebut dapat dibuat kurva yang menunjukkan hubungan antara kadar air dan berat isi kering sampel, dan dari kedua kurva tersebut akan diperoleh kadar air optimum (*optimum moisture content*) dan berat isi kering maksimum (*maximum dry density*).

C. Pengujian Kuat Geser (*Triaxial UU Test*)

Percobaan *triaxial test* yang dilakukan dalam penelitian ini adalah percobaan *triaxial test UU multistage*:

- ❖ Tujuan : mengetahui kekuatan geser tanah; yaitu c (kohesi) dan ϕ (sudut geser dalam), dalam tegangan total ataupun efektif yang mendekati keadaan aslinya di lapangan.
- ❖ Standar yang digunakan : ASTM D-2850 dan ASTM D-4767
- ❖ Peralatan :
 1. Alat *triaxial*
 2. Membran karet
 3. Batu pori
 4. O-ring
 5. *Strecther*

6. *Piston Plugger*
7. *Ring silinder*
8. Jangka sorong
9. Oven
10. Timbangan dengan ketelitian 0.1 gr
11. Cawan

❖ **Prosedur Uji :**

1. Sampel diambil menggunakan *ring silinder* yang memiliki diameter 38 mm dan tinggi 76 mm;
2. Keluarkan sampel tanah menggunakan *piston plunger*;
3. Ukur dimensi sampel menggunakan jangka sorong;
4. Timbang berat sampel;
5. Pasang batu pori diatas *base cap triaxial*, kemudian letakan sampel diatasnya dan terakhir pasang batu pori dibagian atas sampel;
6. Dengan menggunakan *stretcher*, selubungi sampel tanah menggunakan membran karet;
7. Pasang *top cap triaxial* di atas sampel, dan selubungi dengan membran karet;
8. Pasang O-ring dibagian *base cap* dan *top cap*;
9. Letakan *axial load piston* pada *top cap spesimen*, pastikan *top cap* dan *axial piston load* sejajar. Selama proses ini, harap perhatikan jangan sampai penempatan *axial piston load* memberikan beban lebih dari 0,5% dari perkiraan beban runtuh;
10. Sel *triaxial* diisi dengan air destilasi hingga penuh, dan pastikan tidak ada gelembung udara di dalam sel *triaxial*;
11. Berikan tekanan *cell* awal sebesar 0,4 kg/cm² dengan kondisi katup CP, PWP dan BP tertutup dan jaga hingga tekanan konstan;
12. Kemudian buka katup CP dan PWP, dan tunggu hingga tekanan air pori konstan;
13. Perhatikan tekanan *cell*, jaga tekanan tetap konstan;

14. Setelah tekanan air pori konstan, tingkatkan tekanan *cell* menjadi $1,0 \text{ kg/cm}^2$ dengan kondisi katup CP dan BP tertutup. Jaga agar tekanan *Cell* tetap konstan;
15. Perhatikan tekanan *cell*, jaga tekanan tetap konstan;
16. Setelah tekanan air pori konstan, tingkatkan tekanan *cell* menjadi $1,6 \text{ kg/cm}^2$ dengan kondisi katup CP dan BP tertutup. Jaga agar tekanan *Cell* tetap konstan;
17. Kemudian buka katup CP, dan biarkan hingga tekanan air pori konstan.

D. Pengujian *Slake Durability Index*

- ❖ Tujuan : melihat pengaruh pelapukan terhadap batuan..
- ❖ Peralatan :
 1. *Slake durability apparatus*
 2. *Neraca ohaus*
 3. Stopwatch
 4. Oven
- ❖ Prosedur Uji :
 1. Sampel diletakan di dalam alat yang terdiri dari dua set drum dengan panjang 100 mm dan 140 mm;
 2. Dua drum akan berotasi di air yang ketinggiannya sekitar 20 mm dibawah sumbu drum;
 3. Rotasi dijalankan oleh mesin yang dapat memutar drum dengan kecepatan 20 rpm selama 10 menit;
 4. Sebelum dilakukan pengujian *slake durability*, benda uji di timbang terlebih dahulu bersama dengan drum;
 5. Setelah dilakukan *slaking* selama 10 menit, sampel kemudian dikeringkan di dalam oven bersama dengan drum. Temperatur oven yang digunakan $\pm 100^\circ\text{C}$ dengan durasi 2 – 6 jam;
 6. Setelah selesai di oven kemudian benda uji didiamkan beberapa menit hingga sampel dan drum dingin;

7. Terakhir ukur masa sampel yang telah dingin bersama dengan drum untuk memperoleh indeks durabilitas.

❖ Perhitungan :

Perhitungan durabilitas dapat dihitung sebagai berikut:

$$(W_2 - W_d) / W_o \times 100\% \quad (3.5)$$

Dimana:

$W_2 =$ Weight of oven dried sample + Drum after rotated (1st Cycle)

$W_d =$ Weight of oven drum

$W_o =$ Weight of sample

3.4 Metode Analisis Data

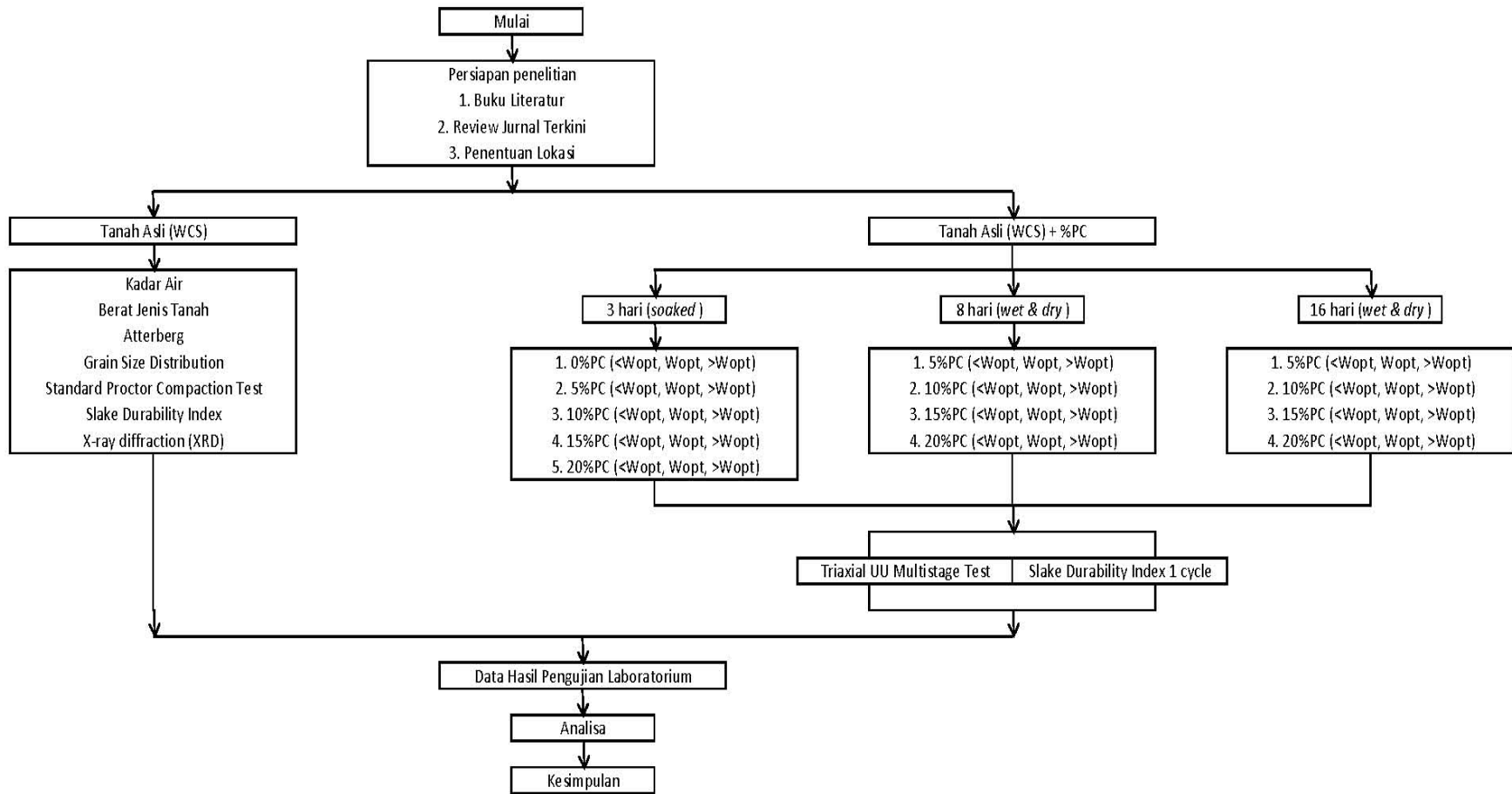
Analisis data adalah penyederhanaan data ke dalam bentuk yang lebih mudah diinterpretasikan. Analisis data yang digunakan oleh penulis dalam penelitian ini bertujuan untuk menjawab pertanyaan yang tercantum dalam identifikasi masalah. Analisis data merupakan salah satu kegiatan penelitian berupa proses penyusunan dan pengelolaan data guna menafsirkan data yang telah diperoleh.

Menurut Sugiyono (2016) yang dimaksud teknik analisis data adalah: “Kegiatan setelah data dari seluruh parameter atau data lain terkumpul. Kegiatan dalam analisis data adalah: mengelompokkan data berdasarkan variabel dan jenis parameter, mentabulasi data berdasarkan variabel dari seluruh responden, menyajikan data tiap variabel yang diteliti, melakukan perhitungan untuk menjawab rumusan masalah, dan melakukan perhitungan untuk hipotesis yang telah diajukan”.

Pada penelitian ini data yang telah dikumpulkan diuji dengan menggunakan *software* Microsoft Excel dengan melihat hubungan antara parameter-parameter yang didapat dari hasil pengujian.

3.5 Flow Chart

Adapun flow chart langkah pelaksanaan penelitian dan konsep pemikiran metode penelitian secara ringkas dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini:



Gambar 3.3 Bagan Alir Metode Penelitian

BAB IV

ANALISA DAN PEMBAHASAN

4.1. Umum

Penelitian ini merupakan lanjutan dan bagian dari seri penelitian perilaku clay shale yang sudah lapuk yang distabilisasi dengan *portlant cement* (Alatas I. M., 2019 a) (Alatas I. M., 2019 b) (Alatas I. M., 2020 a) (Alatas I. M., 2020 b). Pada bab ini menjelaskan mengenai pengaruh semen *portland* terhadap tanah *clay shale* yang telah mengalami pelapukan dilihat perilakunya terutama pada *slake durability index*-nya dan hubungannya dengan kekuatan tanah. Telah dijelaskan pada bab pendahuluan bahwa tanah *clay shale* sering dijumpai di beberapa wilayah di Indonesia, terutama di Pulau Jawa. Tanah *clay shale* ini merupakan tanah lempung yang mempunyai karakteristik mudah mengembang apabila terkena air dan menyusut dalam kondisi kering, dan bersamaan dengan proses tersebut terjadi pelapukan yang berakibat pada degradasi *properties*-nya (Sadisun I. A., 2006; Sadisun I. A., 2010).

Dengan adanya karakteristik tersebut, maka diperlukan stabilisasi tanah untuk mengembalikan dan meningkatkan ketahanan tanah *clay shale* terutama setelah mengalami pelapukan. Salah satu stabilisator yang dapat digunakan untuk stabilisasi tanah adalah *portland cement*.

Pada penelitian ini, variasi penambahan kuantitatif semen dicampurkan pada tanah clay shale yang sudah melapuk dengan tambahan kadar air yang bervariasi. Juga pada penelitian ini dilakukan 3 jenis perlakuan yaitu :

1. Sampel tanah yang telah dipadatkan, diperam selama 3 hari.
2. Sampel tanah yang telah dipadatkan, dibasahi dan dikeringkan (perendaman sesaat ± 5 detik) sebanyak 2 kali selama 8 hari.
3. Sampel tanah yang telah dipadatkan, dibasahi dan dikeringkan (perendaman sesaat ± 5 detik) sebanyak 4 kali selama 16 hari.

Setelah dilakukan pembahasan - pengeringan, sampel – sampel tersebut diuji dengan pengujian *Triaxial UU* dan *Slake Durability* untuk mengetahui

hubungan kuat geser tanah dan keausan tanah (*slake durability index*) pada sampel tersebut.

4.2. Karakteristik Tanah *Clay Shale*

Sifat – sifat indeks (*index properties*) menunjukkan karakteristik tanah yang mengindikasikan klasifikasi dan kondisi tanah, serta memberikan hubungan terhadap sifat – sifat mekanik (*engineering properties*) seperti kekuatan dan pemampatan atau kecenderungan untuk mengembang, dan permeabilitas.

Pengujian ini menggunakan tanah *clay shale* yang telah lapuk diambil dari lokasi peternakan penggemukan sapi di Cariu – Jonggol, Jawa Barat (Alatas, I. M., 2020 b), yang merupakan hamparan *clay shale* dan merupakan bagian dari formasi jatiluhur (Effendi, A. C., 1974). Pengujian laboratorium yang dilakukan meliputi : pengujian kadar air natural (*natural water content, Wn*), pengujian berat jenis (*specific gravity, Gs*), pengujian batas – batas Atterberg (*atterberg limits, LL, PL, PI*), dan pengujian distribusi butiran (*sieve analysis* dan *hydrometer analysis*). Berikut merupakan hasil pengujian indeks pada tanah *clay shale* di Cariu, Jonggol dan Hambalang (Alatas I. M, 2017):

Tabel 4.1 Sifat – Sifat Indeks *Clay Shale* Cariu, Jonggol, dan Hambalang (Alatas I. M, 2017)

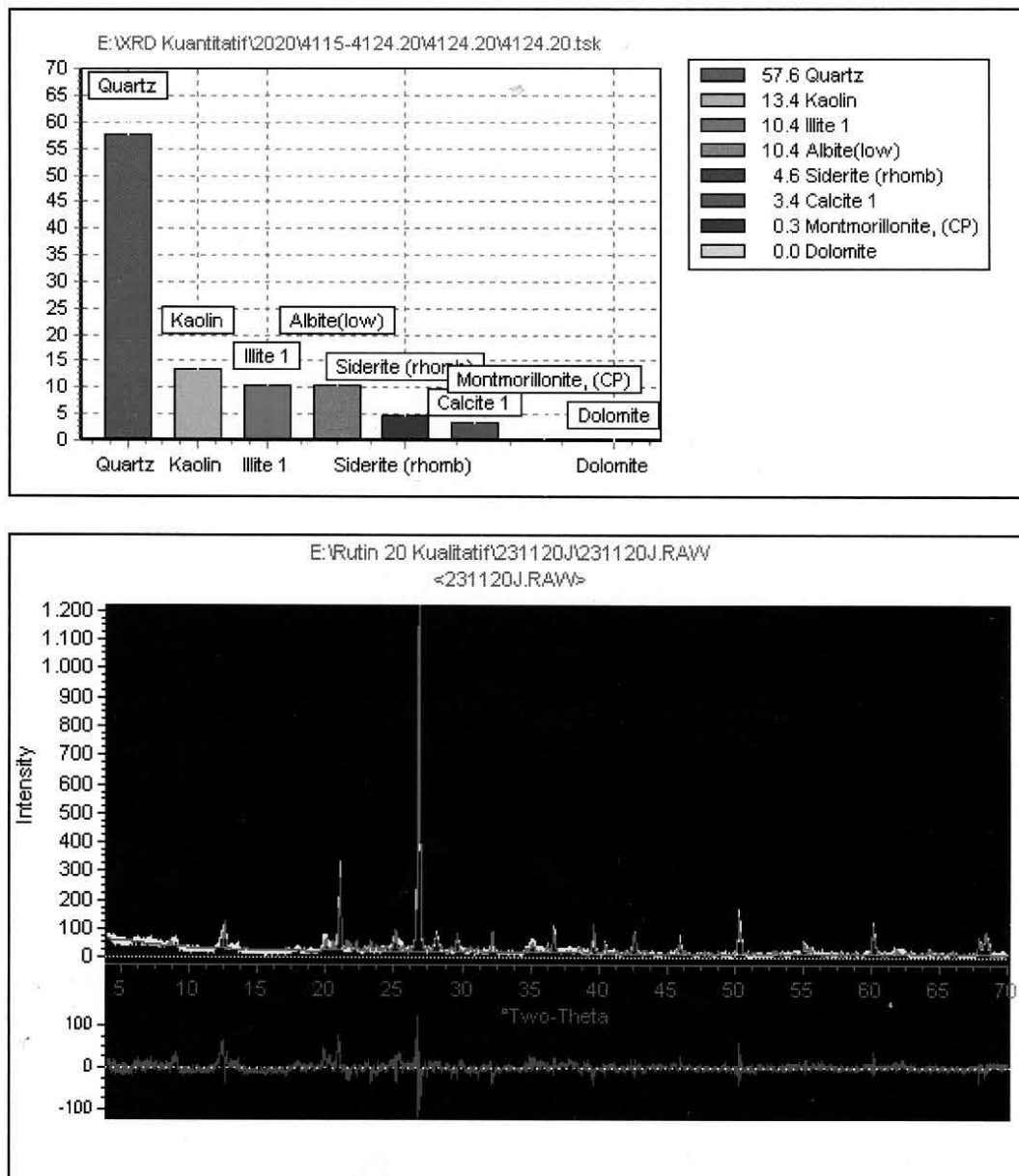
Pengujian	Rentang Hasil	
	Cariu, Jonggol	Hambalang
Water Content, Wn (%)	5,06 – 5,18	3,50 – 5,11
Specific Gravity, Gs	2,67 – 2,66	2,70 – 2,79
Atterberg Limits:		
Liquid Limit, LL (%)	75,49	25,12
Plastic Limit, PL (%)	26,63	14,12
Plastic Index, PI (%)	48,86	11,00
Grained Size Distribution:		
Gravel (%)	0,00	0,00
Sand (%)	3,76	32,98
Silt (%)	35,39	27,02
Clay (%)	60,85	40,00

Pengujian *X-ray diffraction* (XRD) juga dilakukan pada sampel tanah ini guna mengidentifikasi fasa kristalin dalam material dengan cara menentukan parameter struktur kisi serta untuk mendapatkan ukuran partikel, penentuan kristal

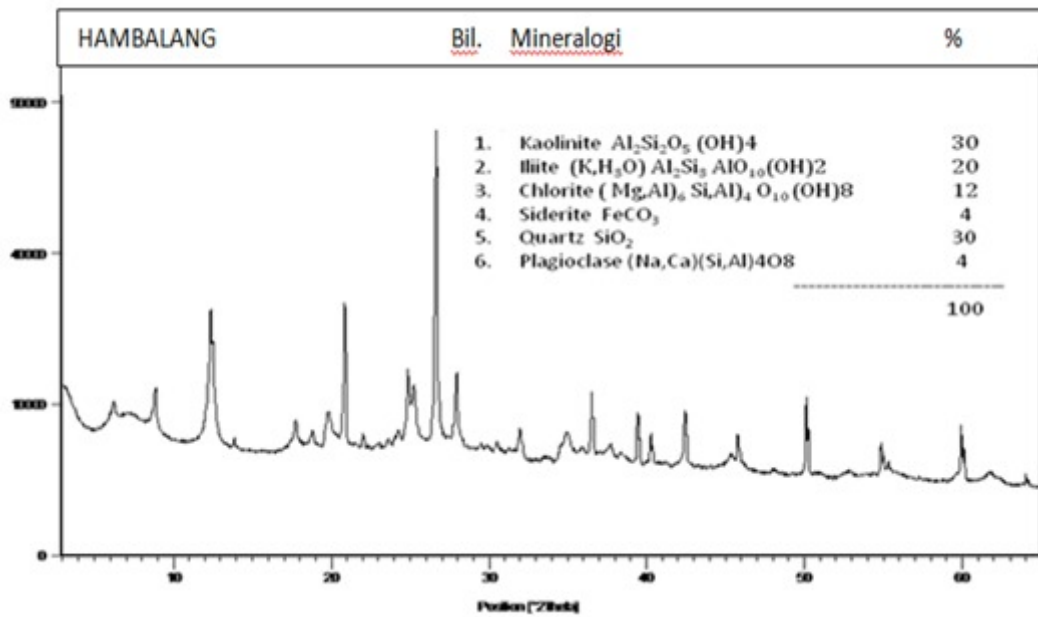
tunggal dan penentuan struktur kristal. Pengujian difraksi sinar X pada sampel ini didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Difraksi Sinar X di Cariu, Jonggol dan Hambalang (Alatas I. M, 2017)

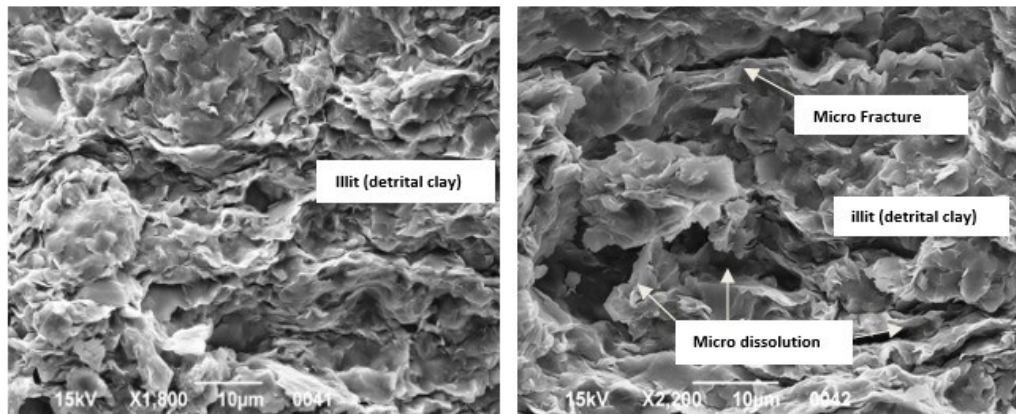
Phase	Quantitative Analysis (%)	
	Cariu, Jonggol	Hambalang
Quartz	57,6	30,0
Kaolin	13,4	30,0
Illite	10,4	20,0
Albite	10,4	-
Siderite	4,6	4,0
Calcite	3,4	-
Montmorillonite	0,3	-
Dolomite	<0,1	-
Chlorite	-	12,0
Plagioclase	-	4



Gambar 4.1 Grafik Hasil Pengujian Difraksi Sinar X *Clay Shale* Cariu, Jonggol



Gambar 4.2 Grafik Hasil Pengujian Difraksi Sinar X *Clay Shale* Hambalang
(Alatas I. M., 2017)



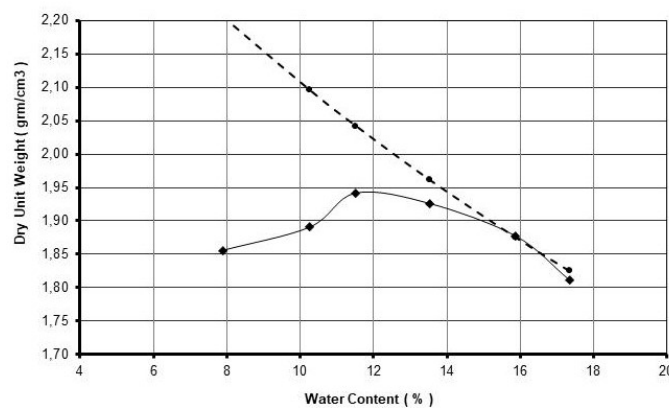
Gambar 4.3 Grafik Scanning Electron Microscope (SEM) *Clay Shale* Hambalang
(Alatas I. M., 2017)

Sehingga dapat dilihat bahwa mineral yang terkandung dalam tanah di formasi Jatiluhur tersebut didominasi oleh mineral Quartz dengan persentase 57,6% pada Cariu, Jonggol dan 30% pada Hambalang. Mineral terbanyak kedua yang terkandung pada tanah di area ini adalah Kaolinite yaitu dengan persentase sebanyak 13,4% pada Cariu, Jonggol dan 30% pada Hambalang. Mineral terbanyak ketiga yang terkandung pada tanah di area ini adalah Illite yaitu sebanyak 10,4 % pada Cariu, Jonggol dan Hambalang. Dengan menggunakan

persamaan 2.1, nilai aktivitas tanah pada *clay shale* lokasi Cariu, Jonggol adalah 0,80 sehingga mempunyai potensi mengembang level sedang.

4.3 Uji Pemadatan Standar

Pemadatan tanah yaitu proses naiknya kerapatan tanah dengan memperkecil jarak antar partikel sehingga terjadi reduksi volume udara (Braja M. Das, 1995). Uji pemadatan sangat bergantung pada kadar air, jenis tanah dan usaha yang diberikan pada saat pemadatan berlangsung. Uji pemadatan ini dilakukan di laboratorium yang akan menghasilkan nilai untuk acuan pemadatan di lapangan. Terdapat 2 (dua) jenis uji pemadatan yang dilakukan di laboratorium yaitu uji pemadatan standar dan uji pemadatan modified. Pada sampel area ini dilakukan uji pemadatan standard yang menghasilkan grafik sebagai berikut:



Gambar 4.4 Grafik Pemadatan Tanah *Clay Shale* Terganggu

Tabel 4.3 Hasil Uji Pemadatan Tanah *Clay Shale* Terganggu

Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)	Berat isi Tanah (gr)	Gs γd Sr = 100%	2,67 Void Ratio, e
7,879	1,856	2,002	2,206	0,439
10,263	1,891	2,085	2,096	0,412
11,515	1,942	2,166	2,042	0,375
13,536	1,926	2,187	1,961	0,386
15,875	1,877	2,175	1,875	0,422
17,340	1,812	2,126	1,825	0,474

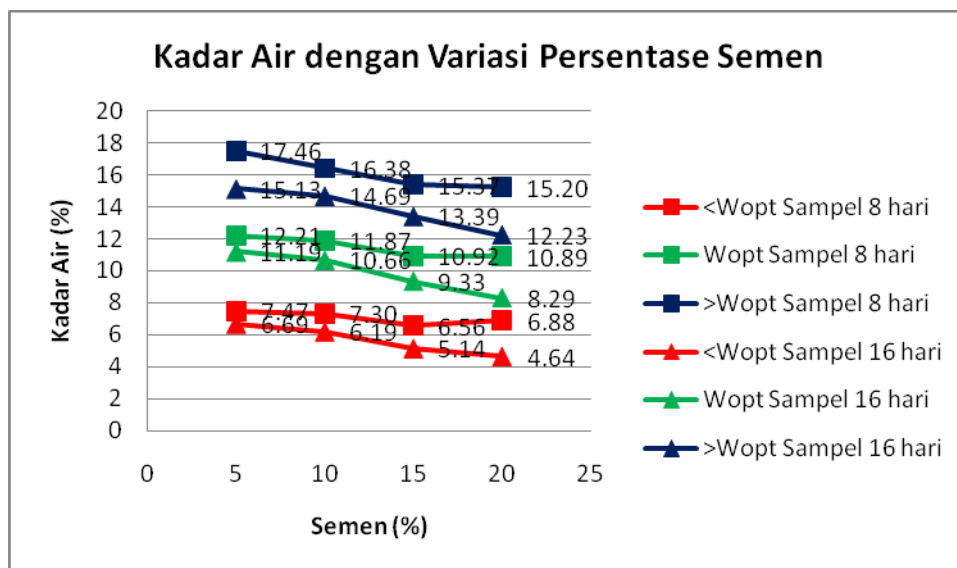
Dari grafik dan tabel di atas terlihat bahwa *maximum dry density* atau berat isi kering maksimum (*Max Dry Density/MDD*) dari 6 (enam) sampel tanah pada area ini diperoleh sebesar **1,942 gr/cm³**. Sedangkan pada *fresh clay shale* Hambalang (Alatas I. M., 2017), berat isi keringnya didapat 2,21 – 2,37 gr/cm³. Sehingga disimpulkan bahwa setelah clay shale tersebut terganggu, berat isi kering mengalami penurunan (nilai berat isi kering tidak kembali seperti nilai awal sebelum terganggu).

Pemadatan tanah yang dilaksanakan di lapangan pada umumnya menggunakan 95% MDD karena untuk 100% MDD sulit untuk dicapai karena berbagai faktor. Campuran kadar air yang akan digunakan untuk pengujian *triaxial UU* dan *slake durability* diambil dari kadar air 95% MDD yaitu **8% sebagai W_{opt}** dengan penambahan 2 (dua) variasi kadar air yaitu 3% ($W_n < W_{opt}$) dan 13% ($W_n > W_{opt}$) yang selanjutnya akan dicampurkan dengan 4 (empat) persentase variasi semen, yaitu 5%, 10%, 15% dan 20%.

Pemadatan dilakukan kembali dengan tanah *clay shale* yang telah dicampur semen dan air dengan variasi presentase yang telah ditentukan. Sejumlah sampel uji yang dipadatkan dibagi menjadi 2 (dua) berdasarkan lama pengamatan dan perlakuan yang akan diberikan untuk selanjutnya dilakukan diuji *triaxial UU* dan *slake durability* yaitu sampel dengan pengamatan selama 8 hari dan sampel dengan pengamatan selama 16 hari. Pada sampel 8 hari, dilakukan pembasahan sebanyak 2 (dua) kali, sedangkan pada sampel 16 hari dilakukan pembasahan sebanyak 4 (empat) kali. Dari pemadatan kedua ini didapatkan kadar air sebagai berikut:

Tabel 4.4 Kadar Air pada Sampel Uji dengan Campuran Semen *Portland*

Pengamatan (hari)	Semen (%)	Kadar Air (%)			Berat Isi Kering (gr/cm ³)		
		<W _{opt}	W _{opt}	>W _{opt}	<W _{opt}	W _{opt}	>W _{opt}
8	5	7,47	12,21	17,46	1,82	1,86	1,86
	10	7,30	11,87	16,38	1,80	1,82	1,86
	15	6,56	10,92	15,37	1,81	1,80	1,84
	20	6,88	10,89	15,20	1,80	1,80	1,81
16	5	6,69	11,19	15,13	1,90	1,90	1,90
	10	6,19	10,66	14,69	1,91	1,89	1,90
	15	5,14	9,33	13,39	1,95	1,84	1,82
	20	4,64	8,29	12,23	2,00	1,91	1,89



Gambar 4.5 Grafik Kadar Air dengan Variasi Persentase Semen Sampel 8 Hari dan 16 Hari

Dari hasil pengujian kadar air tersebut, didapat kesimpulan bahwa semakin banyak persentase semen yang dicampurkan maka kadar air yang didapat semakin kecil. Berat isi kering pada beberapa sample tersebut berada di kisaran 1,82 gr/cm³ – 1,90 gr/cm³.

4.4 Uji Triaxial UU

Uji *Triaxial UU* pada beberapa sampel di area ini dilakukan menggunakan metode *multistage test* dengan keempat variasi penambahan semen yaitu 5%, 10%, 15% dan 20% dan dengan dengan variasi penambahan air yaitu $<W_{opt}$, W_{opt} dan $>W_{opt}$ didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 *TX-UU Multistage Test* pada Sampel Uji dengan Campuran Semen
Portland

Pengamatan (hari)	Semen (%)	Koehsi, C_u (kN/m ²)			Sudut Geser Dalam, ϕ (°)		
		$<W_{opt}$	W_{opt}	$>W_{opt}$	$<W_{opt}$	W_{opt}	$>W_{opt}$
3	0	30,00	55,00	40,00	38,02	13,79	16,22
	5	22,00	56,00	75,67	9,60	17,17	14,58
	10	20,00	69,67	121,67	10,31	37,61	34,77
	15	80,00	28,00	136,67	21,18	32,99	26,95
	20	23,00	109,00	141,00	40,93	19,24	32,19
8	5	29,00	59,33	139,00	18,68	27,95	11,71
	10	110,00	27,00	163,33	36,03	31,19	35,58
	15	0,00	0,00	17,00	26,57	28,21	14,57
	20	103,33	71,67	45,00	27,14	33,37	29,80
16	5	hancur	hancur	hancur	hancur	hancur	hancur
	10	120,00	hancur	hancur	12,31	hancur	hancur
	15	19,33	hancur	hancur	26,15	hancur	hancur
	20	80,00	hancur	52,33	30,19	hancur	17,07

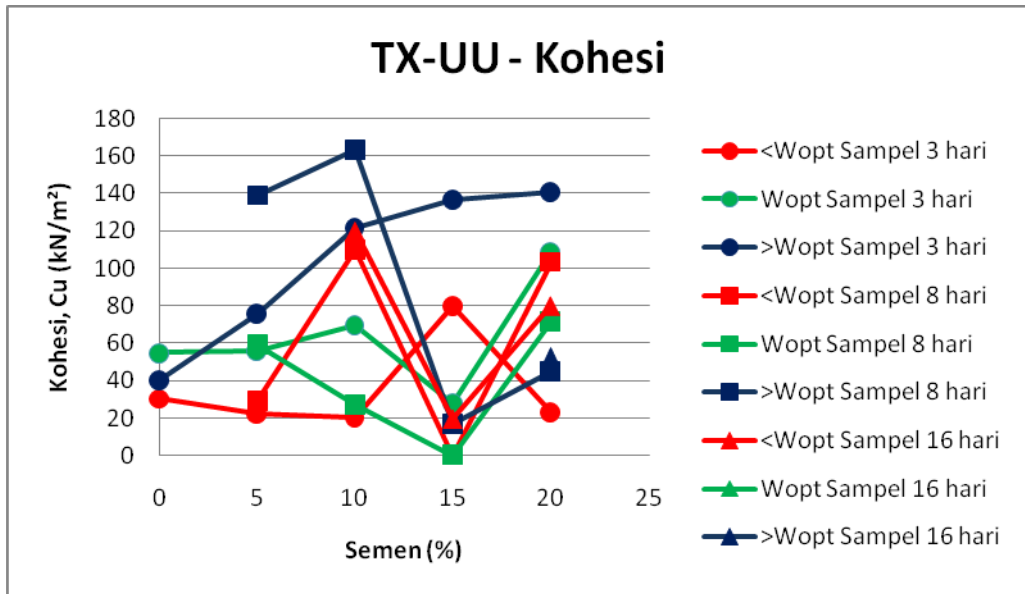
Tabel 4.6 *Shear Strength Ratio* pada Sampel Uji dengan Campuran Semen
Portland

Pengamatan (hari)	Semen (%)	Shear Strength Ratio		
		$<W_{opt}$	W_{opt}	$>W_{opt}$
3	0	4,88	2,51	2,23
	5	1,11	3,02	3,47
	10	2,35	7,16	9,17
	15	4,36	3,72	8,13
	20	5,12	5,19	9,42
8	5	1,99	4,65	5,29
	10	8,82	3,44	11,28
	15	1,63	1,75	1,26
	20	6,24	5,73	4,17
16	5	hancur	hancur	hancur
	10	4,70	hancur	hancur
	15	2,04	hancur	hancur
	20	5,81	hancur	2,43

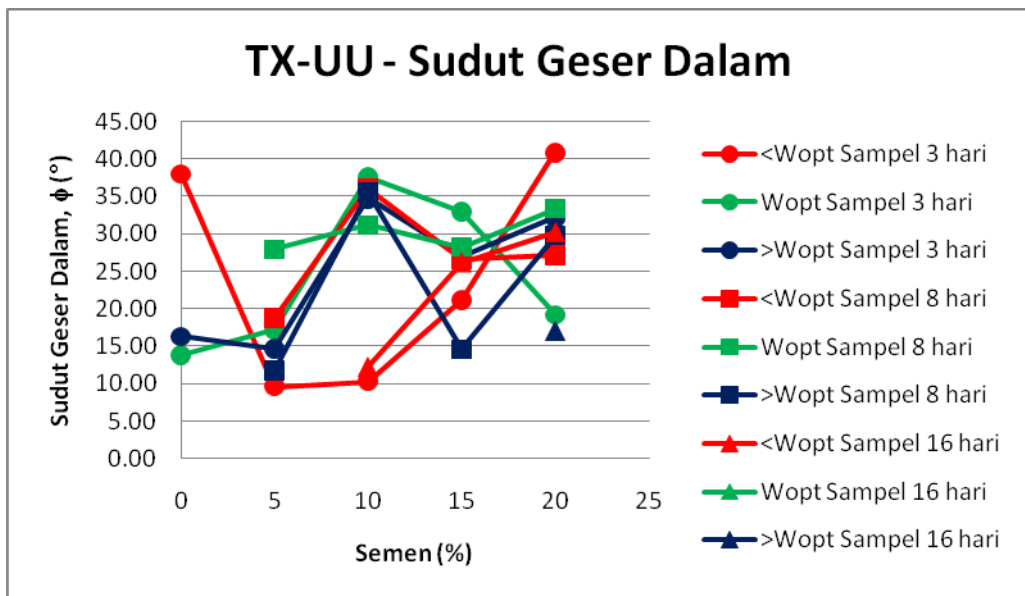
Tabel 4.7 *Shear Strength Ratio* dengan Variasi *Cell Pressure*

Pengamatan	Semen	Cell Pressure	Shear Strength Ratio		
			<Wopt	Wopt	>Wopt
Hari	%	kN /m ²			
3	0,00	39,20	6,38	4,12	3,41
		98,00	4,30	2,03	1,87
		156,80	3,95	1,40	1,41
	5,00	39,20	1,70	4,87	5,82
		98,00	0,92	2,29	2,62
		156,80	0,72	1,89	1,96
	10,00	39,20	3,81	9,71	14,54
		98,00	1,86	6,77	7,27
		156,80	1,37	5,02	5,69
	15,00	39,20	6,95	4,75	13,71
		98,00	3,57	3,32	5,85
		156,80	2,57	3,07	4,83
20,00	39,20	6,10	8,52	15,34	
	98,00	4,94	4,19	7,31	
	156,80	4,34	2,85	5,61	
8	5,00	39,20	2,88	7,18	9,18
		98,00	1,66	3,65	4,04
		156,80	1,45	3,11	2,66
	10,00	39,20	13,55	4,40	17,76
		98,00	7,24	3,19	9,50
		156,80	5,65	2,72	6,59
	15,00	39,20	1,65	1,64	1,74
		98,00	1,59	1,86	1,11
		156,80	1,64	1,73	0,93
20,00	39,20	9,73	7,80	6,09	
	98,00	5,28	5,46	3,44	
	156,80	3,71	3,92	2,99	
16	5,00	39,20	hancur	hancur	hancur
		98,00	hancur	hancur	hancur
		156,80	hancur	hancur	hancur
	10,00	39,20	8,13	hancur	hancur
		98,00	3,58	hancur	hancur
		156,80	2,39	hancur	hancur
	15,00	39,20	1,95	hancur	hancur
		98,00	2,38	hancur	hancur
		156,80	1,80	hancur	hancur
20,00	39,20	8,71	hancur	3,34	
	98,00	4,87	hancur	2,42	

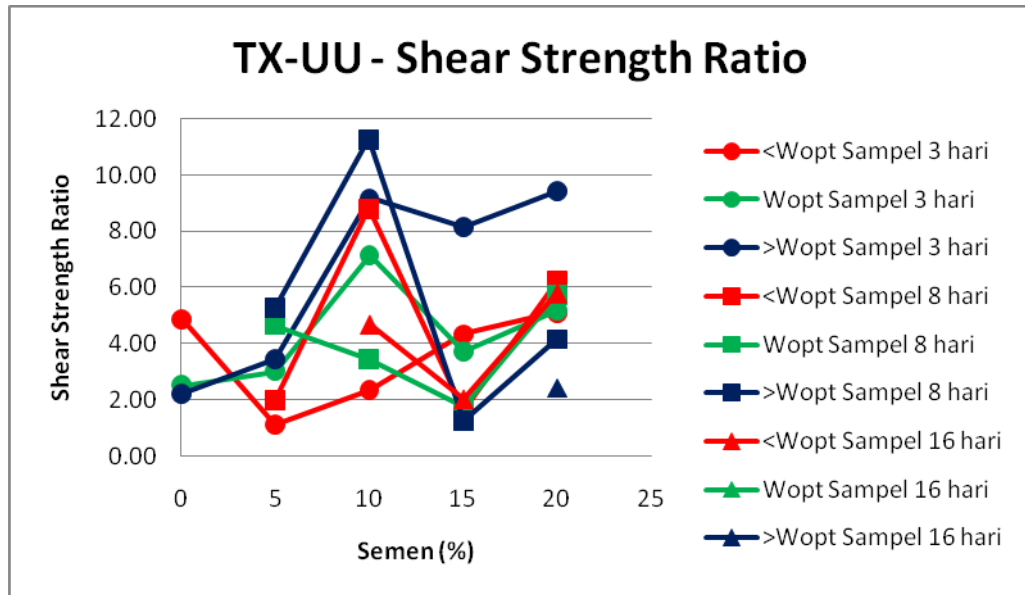
		156,80	3,85	hancur	1,54
--	--	--------	------	--------	------



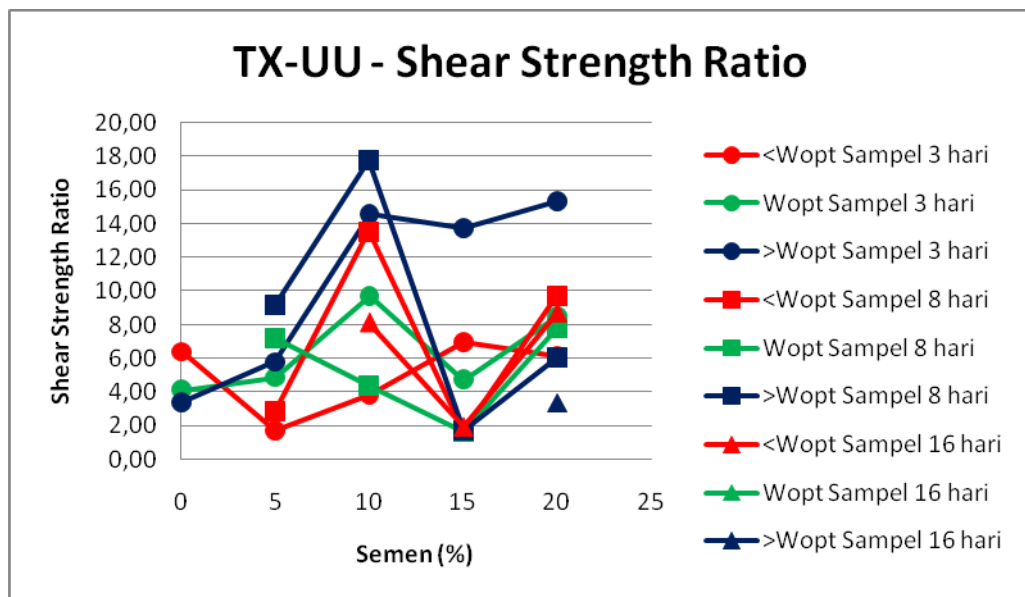
Gambar 4.6 Grafik Kohesi dengan Variasi Persentase Semen



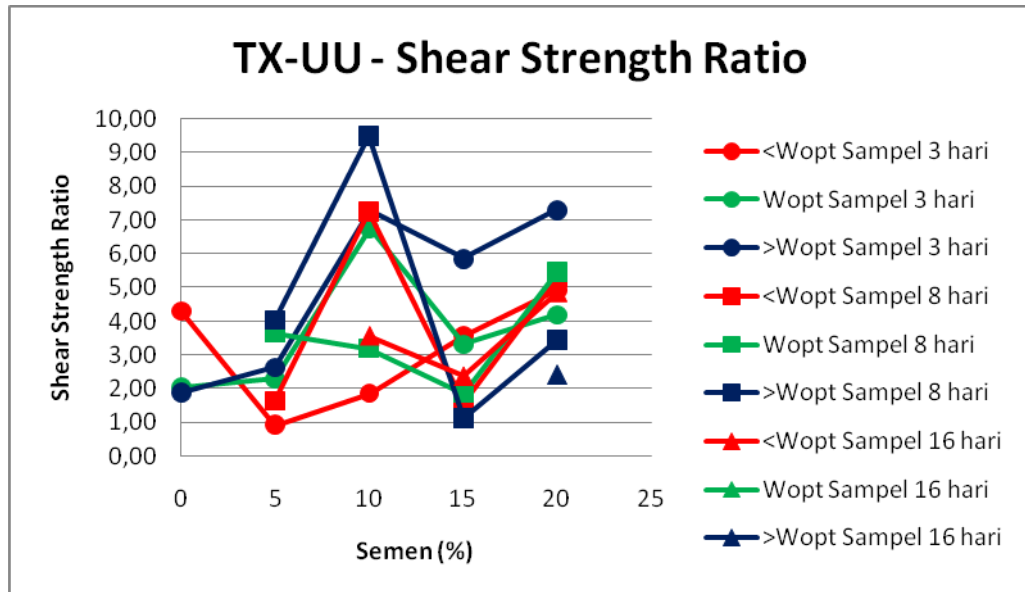
Gambar 4.7 Grafik Sudut Geser Dalam dengan Variasi Persentase Semen



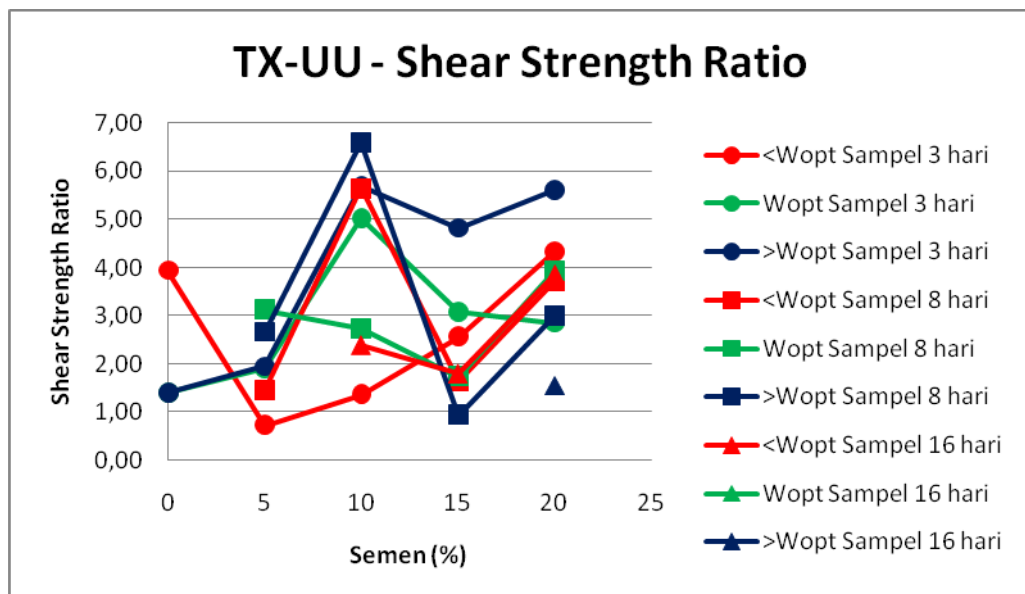
Gambar 4.8 Grafik *Shear Strength Ratio* dengan Variasi Persentase Semen



Gambar 4.9 Grafik *Shear Strength Ratio* dengan Variasi Persentase Semen pada Cell Pressure 39,20 kN/m²



Gambar 4.10 Grafik *Shear Strength Ratio* dengan Variasi Persentase Semen pada Cell Pressure 98,00 kN/m²



Gambar 4.11 Grafik *Shear Strength Ratio* dengan Variasi Persentase Semen pada Cell Pressure 156,80 kN/m²

Pada grafik-grafik di atas diketahui bahwa nilai kohesi dan *shear strength ratio* terbesar rata-rata dijumpai pada sampel dengan campuran semen *portland* 10%, sedangkan nilai sudut geser dalam terbesar rata-rata dijumpai pada sampel dengan campuran semen *portland* 20%. Pada sampel dengan campuran semen

15%, nilai kohesi mengalami penurunan, hal ini kemungkinan diakibatkan oleh energi yang digunakan pada saat pemadatan kurang. Karena berat isi kering *fresh clay shale* lebih besar dibanding dengan *clay shale* yang sudah terganggu. Sampel dengan campuran semen 5% dan sampel dengan penambahan kadar air W_{opt} gagal diuji TX-UU karena sampel hancur akibat penambahan waktu pembasahan (sampel 16 hari). Penambahan *cell pressure* selama pengujian TX-UU, berbanding terbalik dengan ratio *shear strength* yang didapat.

Penambahan semen 10%PC meningkatkan nilai kohesi (C_u) sebesar 75,51% pada kadar air $>W_{opt}$ pada sampel 8 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, nilai kohesi turun sebesar 67,96%.

Penambahan semen 20%PC meningkatkan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 7,67% pada kadar air $<W_{opt}$ pada sampel 3 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, nilai kohesi turun sebesar 58,22%.

Penambahan semen 10%PC meningkatkan nilai *shear strength ratio* sebesar 80,23% pada kadar air $>W_{opt}$ pada sampel 8 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, sampel hancur.

4.5 Uji *Slake Durability Index*

Pada sampel *fresh clay shale* dilakukan uji *slake durability index* 3 siklus dengan hasil sebagai berikut:

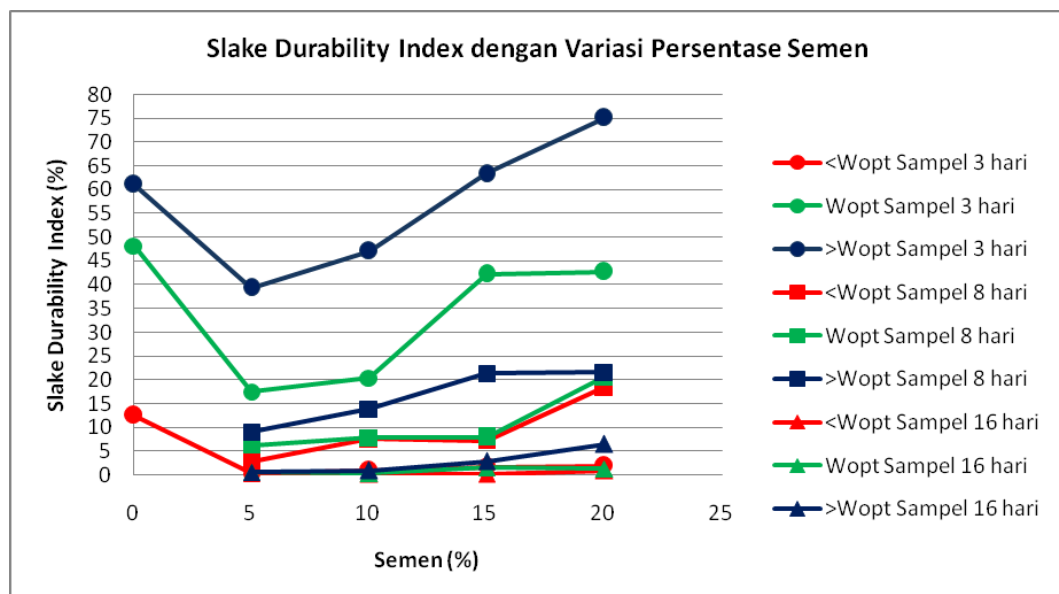
Tabel 4.8 *Slake Durability Index* 3 Siklus pada Sampel *Fresh Clay Shale*

SLAKE DURABILITY INDEX ON 3 st CYCLE			
Clay Shale	Cycle		
	1	2	3
Fresh Clay Shale	91,343	78,048	61,807

Sedangkan uji *slake durability index* pada beberapa sampel dengan keempat variasi penambahan semen yaitu 5%, 10%, 15% dan 20% dan dengan variasi penambahan air yaitu $<W_{opt}$, W_{opt} dan $>W_{opt}$ di area ini dilakukan sebanyak 1 siklus dan didapatkan hasil sebagai berikut:

Tabel 4.9 *Slake Durability Index* 1 Siklus pada Sampel Uji dengan Campuran Semen Portland

Pengamatan (hari)	Semen (%)	Slake Durability Index (%)		
		<W _{opt}	W _{opt}	>W _{opt}
3	0	12,51	48,20	61,13
	5	0,33	17,49	39,39
	10	0,97	20,38	47,10
	15	1,62	42,24	63,32
	20	1,85	42,72	75,05
8	5	2,90	6,21	9,05
	10	7,53	7,87	13,88
	15	7,20	7,98	21,33
	20	18,45	20,58	21,61
16	5	0,32	0,56	0,58
	10	0,22	0,33	0,95
	15	0,24	1,53	2,84
	20	0,91	1,29	6,55



Gambar 4.12 Grafik *Slake Durability Index* dengan Variasi Persentase Semen

Dari semua hasil tersebut diketahui bahwa nilai *slake durability index* meningkat dipengaruhi dengan penambahan kadar air dan semen. Pada sampel 3 hari mempunyai nilai durability index yang paling besar, kemudian diikuti dengan sampel 8 hari lalu sampel 16 hari. Hal ini membuktikan jika semakin terganggunya tanah, nilai *slake durability index* semakin kecil. Berikut merupakan klasifikasi indeks durabilitas menurut Gamble (1971) sesuai Tabel 2.6:

Tabel 4.10 Klasifikasi Durabilitas 1 Siklus

Pengamatan (hari)	Semen (%)	Klasifikasi Durabilitas		
		<W _{opt}	W _{opt}	>W _{opt}
3	0	VL	VL	L
	5	VL	VL	VL
	10	VL	VL	VL
	15	VL	VL	L
	20	VL	VL	L
8	5	VL	VL	VL
	10	VL	VL	VL
	15	VL	VL	VL
	20	VL	VL	VL
16	5	VL	VL	VL
	10	VL	VL	VL
	15	VL	VL	VL
	20	VL	VL	VL

Keterangan :

VL : *Very low* (sangat rendah)

L : *Low* (rendah)

Untuk keefesiensian pemakaian semen maka dapat menggunakan campuran semen sebesar 20% dengan kadar air $W_n > W_{opt}$.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dalam bab ini, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan pada tanah *clay shale* Cariu, Jonggol dengan kondisi lapuk seluruhnya yang selanjutnya dipadatkan dan distabiliasi dengan *portland cement* (0%PC, 5%PC, 10%PC, 15%PC dan 20%PC) serta dengan 3 (tiga) variasi penambahan kadar air sebagai berikut :

1. Nilai aktivitas tanah pada *clay shale* lokasi Cariu, Jonggol adalah 0,80 sehingga mempunyai potensi mengembang level sedang.
2. Kadar air optimum (W_{opt}) pada tanah asli *clay shale* yang sudah lapuk adalah sebesar 11,52 % dengan berat isi kering max ($Y_d \text{ max}$) sebesar 1,942 gr/cm³, sedangkan pada *fresh clay shale* Hambalang (Alatas I. M., 2017), berat isi keringnya didapat 2,21 – 2,37 gr/cm³. Sehingga disimpulkan bahwa setelah *clay shale* tersebut terganggu, berat isi kering mengalami penurunan (nilai berat isi kering tidak kembali seperti nilai awal sebelum terganggu).
3. Hasil pengujian kadar air pada sampel setelah ditambahkan variasi semen dan kadar air, didapat kesimpulan bahwa semakin banyak persentase semen yang dicampurkan maka kadar air yang didapat semakin kecil.
4. Pada penambahan semen 10% PC, terjadi peningkatan kohesi (C_u) sebesar 75,51% pada kadar air $>W_{opt}$ pada sampel 8 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, kohesi turun sebesar 67,96%.
5. Penambahan semen 20% PC meningkatkan nilai sudut geser dalam (ϕ) sebesar 7,67% pada kadar air $<W_{opt}$ pada sampel 3 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, nilai kohesi turun sebesar 58,22%.

6. Penambahan semen 10% PC meningkatkan nilai *shear strength ratio* sebesar 80,23% pada kadar air $>W_{opt}$ pada sampel 8 hari, sedangkan pada sampel 16 hari di penambahan persentase semen dan air yang sama, sampel hancur.
7. Pada sampel 3 hari mempunyai nilai *durability index* yang paling besar, kemudian diikuti dengan sampel 8 hari lalu sampel 16 hari. Hal ini membuktikan jika semakin terganggunya tanah, nilai *slake durability index* semakin kecil.
8. Pada sampel dengan tambahan 10%PC – 20%PC dapat meningkatkan nilai TX-UU dan SDI pada kondisi yang terganggu tapi dengan berjalannya waktu dan pengaruh air dan udara akan menyebabkan penurunan nilai TX-UU dan SDI. Namun, walaupun demikian perilaku tersebut tidak dapat kembali seperti kondisi asli *clay shale* (*fresh clay shale*).

5.2 Saran

Beberapa saran yang dapat dikemukakan setelah hasil penelitian didapatkan yaitu :

1. Untuk campuran tanah *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya dapat menggunakan 20%PC dan kadar air $W_n > W_{opt}$.
2. Perlu dilanjutkan penelitian kembali menggunakan jenis campuran yang berbeda.

REFERENSI

- Alatas, Idrus M, Samira A.K, Ramli N, Irsyam M, Himawan A. (2015). *Shear Strength Degradation of Semarang-Bawen Clay shale Due To Weathering Process*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 77(11): 109–118.
- Alatas, Idrus M, Samira A.K, Ramli N, Irsyam M. (2016). *Effect of Weathering on Disintegration and Shear Strength Reduction of Clay Shale*. Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 78(7-3): 93-99.
- Alatas I. M. (2017). *Kesan Luluhawa Terhadap Kekuatan Ricih Syal Lempung Dalam Penentuan Parameter Kestabilan Cerun, Razak School of Engineering and Advanced Technology*. Universiti Teknologi Malaysia. (in Malaysian).
- Alatas, Idrus M dan Pintor T. Simatupang. (2017). *Pengaruh Proses Pelapukan Clay Shale terhadap Perubahan Parameter Rasio Disintegritas (DR)*. Jurnal Teknik Sipil, Vol. 24, No. 1, April 2017: pp. 77-82.
- Alatas I M, H. (2020 a). *Argillaceous Rock Slope Reinforcement Due To Failure in Cariu West Java, Indonesia*. PT.TS Geoinves.
- Alatas I M, S. P. T., Wawan K, Panji (2019 a). *Re-weathering of stabilized clay shale with portland cement behavior*. MATEC Web of Conferences 276, 0 (2019).
- Alatas I M, W. K. (2019 b). *Penambahan Portland Cement Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang Clay Shale Hambalang*. Laporan Penelitian FTSP-LP2M-ISTN 2019.
- Alatas, Idrus M, Simatupang Pintor T., Kuswaya Wawan and Panji. (2019). *Re-weathering of Stabilized Clay Shale With Portland Cement Behavior*. MATEC Web of Conferences 276, 05009 (2019).
- Alatas I M, E. A. P. (2020 b). *Perilaku Tanah Clay Shale Yang Telah Lapuk Distabilisasi Dengan Semen (Studi Kasus Tanah Clay Shale Cariu Jonggol, Jawa Barat)*. Laporan Penelitian FTSP- LP2M-ISTN 2020.
- Aprilia, Lita et. Al. (2020). *Analisis Petrofisika dan Penyebab Low Resistivity Reservoir Zone Berdasarkan Data Log, Sem, XRD dan Petrografi Pada*

- Lapangan X Sumatera Selatan. Jurnal Geofisika Eksplorasi* 4(2): pp. 31-46.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 1140-00. *Standard Test Method for Amount of Material in Soils Finer Than the No. 200 (75- μ m) Sieve*. U.S.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 2216-98. *Standard Test Method for Laboratory Determination of Water (Moisture) Content of Soil and Rock by mass*. U.S.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 4318. *Standard Test Methods for Liquid Limit, Plastic Limit, and Plasticity Index of Soils*. U.S.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 442-63. *Standard Test Method for Particel Size Analysis of Soils*. U.S.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 698. *Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Standard Efford*. U.S.
- ASTM (*American Society for Testing and Material*) D 854. *Standard Test Method for Specific Gravity of Soil Solids by Water Pycnometer*. U.S.
- Attewell, P.B., and Farmer, T.W. (1976). *Principles of Engineering Geology*. John New York: Wiley dan Son Inc.
- Basuki, R, Maschus dan Diah, M. (2009). *Stabilisasi Tanah Dasar Dengan Penambahan Semen Dan Renolith*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Bell, F. G. (2013). *Engineering In Rock Masses*.
- Citra. 2016. *Batu Serpih : Pengertian, Proses, Jenis dan Manfaatnya*, <https://ilmugeografi.com/geologi/batu-serpih>, diakses pada 27 Juli 2021 pukul 18.15.
- Clarke, F. W., and Washington, H. S. (1924). *Composition of the Earth's Crust*. V+117 p. il. 4°. Geological Survey. Professional paper 127.
- Das, Braja M. (1995). *Mekanika Tanah I*. Erlangga. Jakarta.
- Deen, R. C. (1981). *The need for Schema for the Classification of Transitional (Shale) Materials*. ASTM Geotechnical Testing J. 4:3-10.

- Deere, D. and Miller, R. (1966). *Engineering Classification and Index Properties for Intact Rock*. Tech. Report No AFWL - TR-65-116. Air Force Weapons Lab., Kirtland Air Base, New Mexico.
- Diana, W., Hartono, E. and Muntohar, A. S. (2019). *The Permeability of Portland Cement-Stabilized Clay Shale*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 650 (2019) 012027.
- Duncan, J. M. and Stark, T. (1992). *Soil Strengths from Back Analysis of Slope Failures*. Journal of Geotechnical Engineering. Geology.
- DPU. (2008). SNI 1742 – 2008: Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah. Jakarta.
- DPU. (2008). SNI 1964 – 2008: Cara Uji Berat Jenis Tanah. Jakarta.
- DPU. (2008). SNI 1965 – 2008: Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium. Jakarta.
- DPU. (2008). SNI 1967 – 2008: Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah. Jakarta.
- DPU. (2008). SNI 3423 – 2008: Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah. Jakarta.
- DPU. (2008). SNI 3406 – 20011: Cara Uji Sifat Tahan Lembang Batu. Jakarta.
- DPU. (2017). SNI 8460 – 2017: Persyaratan Perancangan Geoteknik. Jakarta.
- Effendi A.C. (1974). *Peta Geologi Lembar Bogor, Jawa Bandung, Indonesia*. Direktorat Geologi Bandung.
- Ehlers, E. G., and Blatt, H. (1982). *Petrology: Igneous, Sedimentary and Metamorphic*. W. H. Freeman, New York. 732.
- Franklin, J. A., and Chandra, R. (1972). *The Slake Durability Test International Journal of Rock Mechanics and Mining Sciences* 9, 325-341.
- Gamble, J. C. (1971). *Durability-Plasticity Classification of Shales and Other Argillaceous Rocks*. Ph.D thesis in geology, University of Illinois, Urbana.
- Gunarti, A.S.S. (2014). *Daya Dukung Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Spent Catalyst RCC 15 Dan Kapur*. Jurnal BENTANG Vol 2 no 1 Januari 2014 (p 38-52). Penerbit Universitas Islam 45, Bekasi.
- Gunarti, A.S.S. (2015). *Atterberg Limit Dan Direct Shear Strength Tanah Lempung Dengan Spent Catalyst Rcc-15 Dan Ca(OH)₂*. Jurnal BENTANG Vol 3 no 1 Januari 2015) (p 11-19). Penerbit Universitas Islam 45, Bekasi.
- Head, K. H. (1982). *Manual of soil laboratory testing. Vol. 2: 509-562*. John Willey and Sons, New York.

- Hopkins, T. C. (1988). *Shear Strength og Compacted Shales*. Kentucky Transportation Research Program.
- Irfan, T. Y. and Dearman, W. R. (1978). *Engineering Classification and Index Properties of a Weathered Granite*. Assoc. Eng. Geology.
- ISRM. (2007). *The complete ISRM suggested methods for rock characterization, testing and monitoring: Suggested Methods Prepared by the Commission on Testing Methods*. International Society for Rock Mechanics (ISRM). Ankara, Turkey.
- LEMIGAS, L. (2015). *SEM and XRD Report for Semarang-Bawen and Hambalang Clay Shale*. Jakarta: LEMIGAS.
- Mitchell, J. K. (1976). *Fundamental of Soil Behavior*. New York: John Wiley and Sons.
- Morgenstern, N. R., K.D. Eigenbrod. (1974). *Classification of Argillaceous Soils and Rocks*. J.Geotech.Eng. Vol. 100, GT10. 1137 – 1156.
- Oktaviani, Revia., Paulus P Rahardjo, and Imam A Sadisun. (2018). *The Clay Shale Durability Behavior of Jatiluhur Formation Based on Dynamic and Static Slaking Indices*. International Journal of Scientific & Engineering Research Volume 9, Issue 5, May-2018pp. 1266 – 1281.
- Putera A. M. A., and Sony Pramusandi B. Damianto. (2017). *Identification and Classification of Clay shale Characteristic and Some Considerations for Slope Stability*. African Journal of Environmental Science and Technology, 11(4) 163–179.
- Sadisun, I. A., Andri S. S., Asep, N. and Prihananto, S. (2006). *Weathering Of Some Selected Rock Types And Their Strength Degradation Obtained From Schmidt Hammer*. Proceeding PIT IAGI Riau, The 35th IAGI Annual Convention and Exhibition ,Pekanbaru – Riau, 21 – 22 November 2006.
- Sadisun I.A, B., Shimada H, Ichinose M, and Matsui K, (2010). *Physical Disintegration Characterization of Mudrocks Subjected to Slaking Exposure and Immersion Tests*. Jurnal Geologi Indonesia, Vol. 5 No. 4 Desember 2010: 219-225.

- Sandroni. (1977). *The Strength of London Clay in Total and Effective Stress Term*, Ph. D. Thesis, University of London.
- Skempton. (1953). *The Colloidal Activity of Clays Proceeding 3 th International Conference of Soil Mecanic and Fondation Engineering*. London. Vol. 1, Page 57 – 61.
- Skempton. (1977). *Slope Stability of Cuttings in Brown London Clay ninth International*. Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering. Tokyo.
- Skempton, A.W. (1984). *The Colloidal “Activity” of Clays*. England: Thomas Telford Publishing.
- Soetojo, Moesdarjono. (2009). *Teknik Pondasi pada Lapisan Batuan*. ITS Press. Surabaya.
- Somantri, A. K, Shouman M, Fathurrohman A. M. (2018). *Penentuan Parameter Kuat Geser Clay Shale Berdasarkan Variabel Kejenuhan Terhadap Kelongsoran*. Prosiding Industrial Research Workshop and National Seminar Vol. 9.
- Stark, T. and Duncan, J. M. (1991). *Mechanism of Strength Loss in Stiff Clays*. Journal of Geotechnical Engineering. Geology.
- Sugiyono. (2018). Metode Penelitian Kuantitatif.
- Tantra, Hans, Prihatiningsih A. (2019). *Analisis Kuat Geser Tanah Clay Shale Yang Terendam dan Tidak Terendam dengan Unconfined Compression Test*. Jurnal Mitra Teknik Sipil, Vol. 2, No. 1, Februari 2019, hlmn 77-85.
- Terzaghi, K. (1936). *A Fundamental Fallacy in Earth Pressure Computations*. Journal Boston Soc. Civil Engrs., Vol, 23 pp. 71-88.
- Terzaghi, K. (1946). *Introduction to Tunnel Geology. Rock Tunneling with Steel Supports*. R.V. Proctor and T.L. White eds. Youngstown: Commercial Shearing, pp. 19–99.
- Terzaghi, K. (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. 2nd Edition. A Wiley International Edition. John Wiley & Sons. Inc. New York. London. Sydney.
- Wakim, Jad. (2005). *Effect of Water on the Mechanical Behaviour of Shales*. Colloque Post-Mining.

- Walkinshaw, J. L. and Santi, P.M. (1996). *Shales and Other Degradable Materials*. Turner & Schuster: Landslides; Investigation and Mitigation, Special Report 247, TRB, Washington.
- Widjadja, Budijanto. (2001). *Studi Karakteristik Clay shale Bukit Sentul (Bogor) Berdasarkan Uji Lapangan dan Uji Laboratorium*. Tesis Universitas Katholik Parahyangan.
- Wirmanda, Anindya Y., et al. (2017). *Perilaku Clay Shale Terhadap Kuat Geser Residual Pada Lokasi Banyumeneng, Penawangan, Dan Wonosegoro*. Jurnal Karya Teknik Sipil S1 Undip, Vol. 6, No. 3, pp. 81-92.
- Wentworth, C.K. (1922). *A Scale of Grade and Class Term for Clastic Sediment*. Geology, 30: 337 – 392.
- Zhang, L. (2010). *Drilled Shafts in Rock, Analysis and Design*.