

**DURABILITAS *CLAY SHALE* HAMBALANG LAPUK
DISTABILISASI DENGAN SEMEN *PORTLAND*
DAN ENERGI PEMADATAN BERLEBIH**

LAPORAN PENELITIAN



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

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS PASCASARJANA
INSTITUT SAINS DAN TEKNOLOGI
NASIONAL
JAKARTA
AGUSTUS 2022**

PENGESAHAN LAPORAN PENELITIAN

- 1 Judul Penelitian : **DURABILITAS CLAY SHALE HAMBALANG LAPUK
DISTABILISASI DENGAN SEMEN PORTLAND
DAN ENERGI PEMADATAN BERLEBIH**
- 2 Ketua Peneliti :
- i. 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 : ---
- 4 Lokasi Penelitian : Kampus ISTN, Srengseng Indah Jakarta
- 5 Jumlah biaya : 12.500.000,-

Jakarta, Agustus 2022

**Mengetahui,
Ketua Program Studi
Teknik Sipil**

Ketua Peneliti




Rafama Dewi S.Pd, M.Arch, MT

**Menyetujui,
Ketua LP2M – ISTN**



DR. Ir. Idrus M. Alatas




Ilr. Syahril Taufik, M.Sc.Eng., Ph.D

Tanggal	:	06/02/2023
No. Inventaris	:	
Kode Eksemplar	:	
No. Panggil	:	
Sumber	:	
Lokasi	:	
Paraf	:	

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan tesis ini. Penulisan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Magister Teknik Sipil pada Fakultas Pasca Sarjana Institut Sains Dan Teknologi Nasional. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan tesis ini, sangatlah sulit bagi saya untuk menyelesaikan tesis ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

- a) Ir. Syahril Taufik , M.Sc. Eng, Ph.D, selaku Ka Prodi Magister Teknik Sipil, ISTN
- b) Dr. Ir. Idrus M. Alatas, M.T. selaku dosen pembimbing utama yang telah menyediakan waktu, tenaga, dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan tesis ini;
- c) Seluruh dosen yang telah mengajar dan membimbing saya, sejak awal perkuliahan di Kampus ISTN
- d) PT. Nindya Karya yang telah memberikan kesempatan untuk melanjutkan kuliah;
- e) Orang tua dan keluarga saya yang telah memberikan bantuan dukungan material dan moral; dan
- f) Rekan-rekan yang telah banyak membantu saya dalam menyelesaikan tesis ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga tesis ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Jakarta, 20 Agustus 2022

Penulis

DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc



ABSTRAK

Sifat mekanik *Clay Shale* sangat unik. Ketika kering akan menyusut dan mengeras, tetapi ketika menyerap air, itu membengkak dan sampai batas tertentu kehilangan kekuatannya sehingga kekuatan jatuh dapat terjadi secara tiba-tiba bahkan dengan beratnya sendiri. Karena sifat swell-shrink yang sangat dipengaruhi oleh iklim dan cuaca, daya tahan *Clay Shale* dapat menurun seiring waktu ketika bersentuhan langsung dengan udara dan air. Penelitian *Clay Shale* dilakukan di Hambalang, Bogor - Jawa Barat, Indonesia pada formasi Jatiluhur, menggunakan stabilisasi lapuk distabilisasi dengan semen portland dan energi pemadatan berlebih. dengan slaking dinamis (uji durabilitas slake). Uji slaking dinamis dilakukan sebanyak tiga kali yaitu setelah sampling dilakukan pemadatan 10, 20, dan 30 blow/layer. Dengan indeks plastisitas rendah, penelitian durabilitas di Hambalang berada dalam klasifikasi durabilitas sedang hingga durabilitas sedang-tinggi. Kemudian dilakukan pengujian terhadap energi pemadatan berlebih terhadap variasi stabilisasi semen portland dengan meningkatkan tambahan pressure. Untuk mengetahui pengaruh stabilisasi semen portland dengan komposisi 5%, 10% dan 15% terhadap *Clay Shale* pada kondisi perendaman 8 hari, memperlihatkan peningkatan slake durability indeks, dengan nilai tertinggi pada campuran 10% PC. Pada sampel dengan tambahan 15% PC dan dengan energi 30 blow + pressure menunjukkan peningkatan nilai Slake Durability Indeks yang paling tinggi yaitu sebesar 93,52%, kategori *Clay Shale* medium high. Walaupun demikian, perilaku tersebut tidak dapat kembali seperti kondisi asli *Clay Shale* (*fresh Clay Shale*).

Kata kunci: *Clay Shale*, durabilitas, Slaking index, semen portland

ABSTRACT

The mechanical properties of Clay Shale are very unique. When dry it will shrink and harden, but when it absorbs water, it swells and to some extent loses its shear strength so that falling forces can occur suddenly even with its own weight. Due to its swell-shrink nature which is strongly influenced by climate and weather, the durability of Clay Shale can decrease over time when it comes into direct contact with air and water. Clay Shale research was carried out in Hambalang, Bogor - West Java, Indonesia in the Jatiluhur formation, using weather stabilization stabilized with portland cement and excess compaction energy with dynamic slaking (slake durability test). The dynamic slacking test was carried out three times, namely after sampling, 10, 20, and 30 blows/layer compaction were performed. With a low plasticity index, the durability research in Hambalang is classified as moderate to medium-high durability. Then, a test of excess compaction energy was carried out on variations in the stabilization of portland cement by increasing additional pressure. To determine the effect of the stabilization of portland cement with a composition of 5%, 10%, and 15% on Clay Shale with curing in 8 days, it showed an increase in the slake durability index, with the highest value in a mixture of 10% PC. The sample with an additional 15% PC and with an energy of 30 blow + pressure shows enhancement to the highest Slake Durability Index value of 93.52%, %, with category of medium-high Clay Shale. However, this behavior cannot return to the original condition of Clay Shale (fresh Clay Shale).

Keywords: Clay Shale, durability, Slaking index, portland cement

ISTN

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Pernyataan Orisinalitas	ii
Pernyataan Non Plagiat	iii
Pengesahan	iv
Kata Pengantar/Ucapan Terima Kasih	v
Pernyataan Persetujuan Publikasi	vi
Karya Ilmiah untuk Kepentingan Akademis	
Abstrak dan Abstract	vii
Daftar Isi	ix
Daftar Tabel	xi
Daftar Gambar	xiii
Daftar Persamaan	xviii
Daftar Notasi dan Simbol	xix
Daftar Lampiran	xx
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	5
1.6 Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1 Penelitian yang Sejenis	7
2.2 Klasifikasi Tanah Lempung	14
2.3 Karakteristik <i>Clay Shale</i>	17
2.4 Ketahanan <i>Clay Shale</i>	19
2.5 Pemeriksaan Laboratorium Geoteknik	21
2.6 Pemasakan Tanah	25
2.7 Small Compaction Mould Test (Scmt) Method	26
2.8 Parameter Geoteknik <i>Clay Shale</i>	29
2.9 Analisis Parameter Geoteknik <i>Clay Shale</i>	35

BAB 3 METODE PENELITIAN

3.1 Model Penelitian	39
3.2 Lokasi Penelitian	40
3.3 Sumber Data dan Teknik Pengumpulan Data	41
3.4 Metoda Analisis Data	49
3.5 Bagan Alir	52

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Data Penelitian	53
4.2 Hasil Indeks	57
4.3 Parameter Pemadatan	62
4.4 Pengaruh Energi Pemasat	87
4.5 Resume Hasil Analisis dan Pembahasan	95

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan	98
5.2 Saran	98

DAFTAR PUSTAKA

99

LAMPIRAN

Lampiran A Objek dan Lokasi Penelitian	101
Lampiran B Instrumen Penelitian	108
Lampiran C Rangkuman Data Hasil Analisis	127
Lampiran D Rangkuman Data Slake Durability index	144

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Hasil Penelitian Sejenis (Jurnal Nasional)	7
Tabel 2.2	Hasil Penelitian Sejenis (Jurnal Internasional)	11
Tabel 2.3	Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar jalan raya	15
Tabel 2.4	Klasifikasi Durabilitas dari Gamble	21
Tabel 3.1	Berat Minimum Berdasarkan Ukuran Maksimum Partikel	43
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Propertis Indeks <i>Clay Shale</i> Hambalang	57
Tabel 4.2	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 0% PC; 10 Blow/Layer	63
Tabel 4.3	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 0% PC; 20 Blow/Layer	65
Tabel 4.4	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 0% PC; 30 Blow/Layer	66
Tabel 4.5	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 0% PC; 30 Blow/Layer + <i>Pressure</i>	68
Tabel 4.6	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 5% PC; 10 Blow/Layer	70
Tabel 4.7	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 10% PC; 10 Blow/Layer	71
Tabel 4.8	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 15% PC; 10 Blow/Layer	73
Tabel 4.9	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 5% PC; 20 Blow/Layer	74
Tabel 4.10	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 10% PC; 20 Blow/Layer	76
Tabel 4.11	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 15% PC; 20 Blow/Layer	77
Tabel 4.12	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 5% PC; 30 Blow/Layer	79
Tabel 4.13	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 10% PC; 30 Blow/Layer	80
Tabel 4.14	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 15% PC; 30 Blow/Layer	82
Tabel 4.15	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 5% PC; 30 Blow/Layer + <i>Pressure</i>	83
Tabel 4.16	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 10% PC; 30 Blow/Layer + <i>Pressure</i>	85
Tabel 4.17	Data hasil uji <i>Clay Shale</i> Lapuk dengan 15% PC; 30 Blow/Layer + <i>Pressure</i>	86
Tabel 4.18	Hasil SDI <i>Clay Shale</i> lapuk yang dipadatan dengan metode SCMT dengan energi 10 blow/layer (setara dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Semen Portland.....	87

Tabel 4.19 Hasil SDI <i>Clay Shale</i> lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 20 blow/layer (setara dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Semen Portland.....	89
Tabel 4.20 Hasil SDI <i>Clay Shale</i> lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 30 blow/layer (setara dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Semen Portland.....	91
Tabel 4.21 Hasil SDI <i>Clay Shale</i> lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 10 blow/layer (setara dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Semen Portland + Pressure	93



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Perubahan bentuk Perubahan bentuk fisik clay shale dari masa ke masa.....	17
Gambar 2.2	Ilustrasi perubahan <i>Clay Shale</i> terhadap masa akibat proses pelapukan	18
Gambar 2.3	Alat Slake Durability Test.....	20
Gambar 2.4	Mould SCMT	27
Gambar 2.5	Penentuan jumlah pukulan/lapisan dengan Trial Compaction	29
Gambar 2.6	Dua bagian skema klasifikasi berdasarkan minimal 50% partikel berukuran tanah liat	33
Gambar 2.7	<i>Gamble's geotechnical classification</i>	34
Gambar 2.8	<i>Deo's classification of shales</i>	35
Gambar 2.9	Distribusi Ukuran Butir	36
Gambar 2.10	<i>Clay Shale</i> classification Tol Cipularang.....	36
Gambar 2.11	Penentuan rasio disintegritas (DR) dengan hasil uji analisis ayakan	37
Gambar 2.12	Perbandingan perubahan DR <i>Clay Shale</i> akibat waktu pengeringan dan waktu siklus pembasahan pengeringan (a) <i>Clay Shale</i> Semarang-Bawen (b) <i>Clay Shale</i> Hambalang ...	37
Gambar 2.13	Hasil SDI dengan penambahan prosentase PC pada <i>Clay Shale</i> Cariu, Jonggol.	38
Gambar 3.1	Lokas Penelitian; <i>Clay Shale</i> Hambalang, Jawa Barat.....	40
Gambar 3.2	Konsep Pemikiran Pelaksanaan Penelitian	52
Gambar 4.1	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557.....	62
Gambar 4.2	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557.....	63
Gambar 4.3	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557.....	64
Gambar 4.4	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557.....	64

Gambar 4.5	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	65
Gambar 4.6	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	67
Gambar 4.7	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi <i>Modified Proctor</i> + pressure 14,09 kg/cm ²	67
Gambar 4.8	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi <i>Modified Proctor</i> + pressure 14,09 kg/cm ²	69
Gambar 4.9	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	69
Gambar 4.10	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	69
Gambar 4.11	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	70
Gambar 4.12	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10 % PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	71
Gambar 4.13	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	72
Gambar 4.14	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15 % PC dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi <i>Modified Proctor</i> ASTM D 1557	72

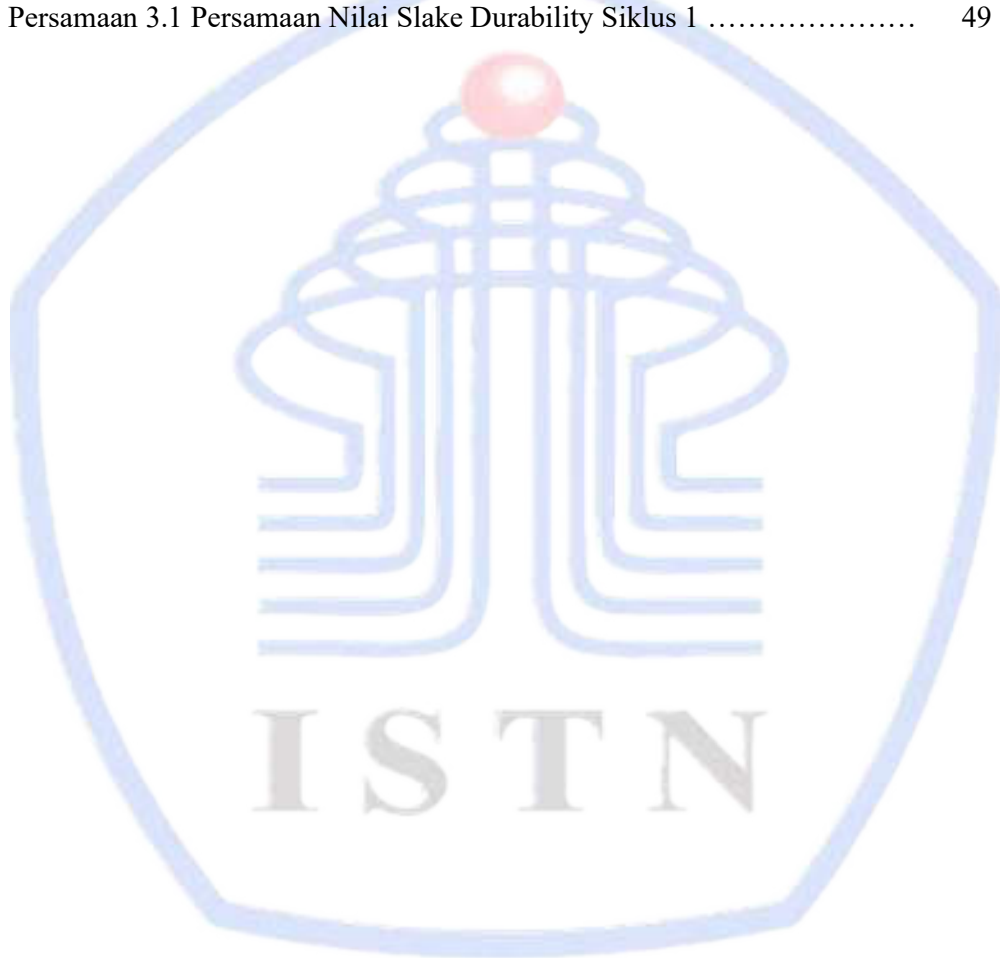
Gambar 4.15	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	73
Gambar 4.16	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	74
Gambar 4.17	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	75
Gambar 4.18	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	75
Gambar 4.19	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	76
Gambar 4.20	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	77
Gambar 4.21	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	78
Gambar 4.22	Grafik Perbandingan <i>Void Ratio Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 1557	78
Gambar 4.23	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557	79

Gambar 4.24	Grafik Perbandingan <i>Void ratio Clay Shale</i> Lapuk Hatmbalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557	80
Gambar 4.25	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557	81
Gambar 4.26	Grafik Perbandingan <i>Void ratio Clay Shale</i> Lapuk Hatmbalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557	81
Gambar 4.27	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	82
Gambar 4.28	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	83
Gambar 4.29	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	84
Gambar 4.30	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	84
Gambar 4.31	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	85
Gambar 4.32	Grafik Perbandingan <i>Dry Unit Weight Clay Shale</i> Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1557 ditambah <i>Pressure</i> 14,09 kg/cm ²	86

Gambar 4.33	Pengaruh energi pematat metode SCMT 10 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1	88
Gambar 4.34	Pengaruh energi pematat metode SCMT 10 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2	88
Gambar 4.35	Pengaruh energi pematat metode SCMT 20 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1	90
Gambar 4.36	Pengaruh energi pematat metode SCMT 20 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2	90
Gambar 4.37	Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1	92
Gambar 4.38	Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2	92
Gambar 4.39	Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer + <i>Pressure</i> terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1	94
Gambar 4.40	Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer + <i>Pressure</i> terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2	94
Gambar 4.41	Hasil SDI dengan penambahan prosentase PC pada <i>Clay Shale</i> Hambalang	95
Gambar 4.42	Hasil SDI dengan penambahan prosentase PC pada <i>Clay Shale</i> Hambalang	96

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 Persamaan Tanah Ekspansif dan Aktif	16
Persamaan 2.2 Persamaan Nilai Slake Durability Siklus 2	20
Persamaan 2.3 Persamaan Kadar Air	22
Persamaan 2.4 Persamaan Berat Jenis Tanah	22
Persamaan 2.5 Persamaan Berat Volume Kering	23
Persamaan 2.6 Persamaan Energi Pematatan	28
Persamaan 3.1 Persamaan Nilai Slake Durability Siklus 1	49

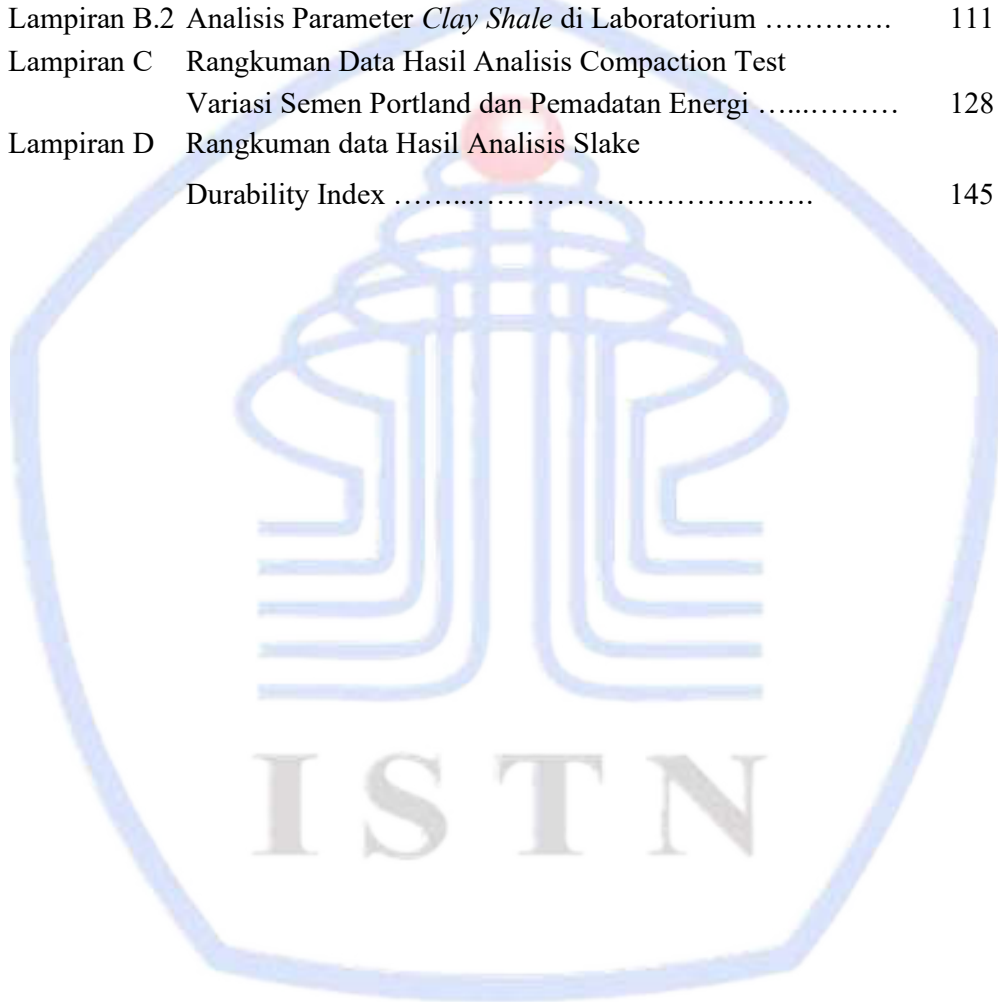


DAFTAR NOTASI DAN SIMBOL

A	=	Intersep atau konstanta regresi
AEP	=	Air entry point
B	=	Koefisien regresi
c	=	Kohesi
c_u	=	Kohesi undrained
d	=	Jarak antar layer
e	=	Angka pori
E	=	Modulus Elastisitas
G_{maks}	=	Modulus geser maksimum pada regangan geser kecil
G_s	=	Berat Spesifik
h_c	=	Tinggi muka di dalam bejana
$I_d(2)$	=	Indeks ketahanan batuan (siklus/putaran kedua)
I_s	=	Indeks kekuatan batuan
IP	=	Indeks Plastisitas
L	=	Panjang benda uji
LL	=	Batas Cair
n	=	porositas
NSPT	=	Nilai SPT tanah
PL	=	Batas Plastis
q_u	=	Kuat tekan (UCS)
SEM	=	Scanning Electron Microscope
S_r	=	Derajat kejenuhan tanah
T_s	=	Tegangan permukaan
t	=	Waktu tempuh gelombang
u	=	Tegangan air pori –
U_w	=	Tegangan air pori negatif
V_p	=	Kecepatan rambat gelombang primer
V_s	=	Kecepatan rambat gelombang sekunder
XRD	=	X-Ray Diffractometer
ϵ_a	=	Regangan vertikal xx
γ_t	=	Berat volume tanah
γ_w	=	Berat volume air
σ	=	Tegangan total
σ'	=	Tegangan efektif butiran tanah
σ'_v	=	Tegangan vertikal efektif
ϕ	=	Sudut geser dalam
ρ	=	Kerapatan masa tanah
μ	=	Poisson Ratio
θ	=	Sudut difraksi sejajar terhadap atomic plastic

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Objek Penelitian	103
Lampiran A.2 Lokasi Penelitian	104
Lampiran A.3 Pengambilan sampel penelitian	105
Lampiran A.4 Dokumentasi Pengujian di Laboratorium	106
Lampiran B.1 Peralatan Laboratorium.....	109
Lampiran B.2 Analisis Parameter <i>Clay Shale</i> di Laboratorium	111
Lampiran C Rangkuman Data Hasil Analisis Compaction Test Variasi Semen Portland dan Pematatan Energi	128
Lampiran D Rangkuman data Hasil Analisis Slake Durability Index	145



BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Pada pekerjaan konstruksi, pekerjaan galian dan timbunan tidak bisa dihindari, dalam beberapa lokasi sering ditemui jenis tanah *clay shale*, jenis tanah ini pada umumnya tidak dapat digunakan kembali. *Clay shale* merupakan salah satu tanah problematik yang menyebabkan banyak terjadi kegagalan pekerjaan konstruksi. Hal ini disebabkan oleh karakteristik material *clay shale* yang mudah lapuk ketika terekspos dengan udara atau air (Gouw et al., 2019). 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 apabila terekspose langsung oleh perubahan iklim dan cuaca sehingga menimbulkan masalah dibidang geoteknik.

Perilaku *clay shale* amat sulit dipahami karena akan menjadi lempung lunak (lumpur) apabila terbuka kepada sinar cahaya matahari, udara dan air dalam masa yang agak singkat. Walau bagaimanapun lapisan *clay shale* yang dilindungi dengan lapisan tanah yang cukup tebal mempunyai durabilitas yang sangat baik. Perubahan sifat *clay shale* yang masih belum dipahami ini telah mendorong penelitian *clay shale* yang telah tersingkap mengalami proses pelapukan dan penurunan kekuatan.

Usaha untuk memanfaatkan kembali sudah dilakukan oleh Ayu Kartika R (Tesis, ISTN, 2021) dengan penambahan 10% PC menunjukkan peningkatan nilai TX-UU dan SDI yang signifikan 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*).

Slake durability Index (SDI) merupakan salah parameter tanah yang yang harus di ketahui dalam melaksanakan pembangunan yang melibatkan tanah *clay shale*.

Clay shale merupakan salah satu jenis tanah ekspansif yang akan mengalami mengalami pelapukan atau berkurangnya kekuatan tanah apabila mengalami kontak lansung dengan air dan udara. Menurut Deen (1981), *clay shale* merupakan material

transisi antara tanah dan batuan serta pembentukan *clay shale* dipengaruhi oleh jenis material penyusunnya, iklim, kondisi fisiografi dan topografi area yang dipertimbangkannya.

Keberadaan lapisan *clay shale* pada area konstruksi cenderung merusak kestabilan tanah meskipun berada di area datar. Di Indonesia material *clay shale* banyak dijumpai di pulau Jawa. Beberapa kasus kegagalan konstruksi yang pernah terjadi akibat lapis tanah *clay shale* yaitu longsohnya 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 Hambalang, Jawa Barat.

Idrus, (2019) telah melakukan penelitian tentang Penambahan *Portland Cement* Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang *Clay Shale* Hambalang dan menyimpulkan bahwa tanpa ditambahkan *portland cement*, *clay shale* Hambalang lapuk dapat mudah melapuk kembali. Dan Redyananda. AK (2021), dalam penelitiannya mengenai Pengaruh Semen *Portland* Terhadap Ketahanan Tanah *Clay Shale* yang telah Mengalami Pelapukan (Studi Kasus: *Clay Shale* Cariu, Jonggol) menyarankan agar dilaksanakan penelitian stabilisasi campuran *clay shale* yang *weathered* dan semen dengan energi pemadatan yang lebih besar untuk mendekati kepadatan *compacted*-nya dengan *dry density* natural-nya.

Berdasarkan beberapa penelitian diatas tentang tanah *clay shale*, dapat dimanfaatkan kembali dengan melakukan stabilisasi dengan semen namun energi yang dipadatkan melebihi dari energi standar pemadatan, agar didapat nilai *durability* yang mendekati naturalnya di alam.

Durability dalam bahasa Indonesia dapat diterjemahkan sebagai ketahanan, daya tahan. Dalam pengertian lain disebutkan *durability*: durabilitas: Ketahanan bahan terhadap proses kimia dan fisika yang ditimbulkan oleh proses, misal korosi, pelarutan atau perubahan fase.

Semen *portland* merupakan salah satu jenis dari bermacam-macam semen yang ada. Dikarena semen *portland* memiliki sifat, dapat mengeras apabila dicampur dengan air, tidak larut dalam air, plastis sementara apabila dicampur dengan air dan dapat melekatkan batuan apabila dicampur dengan air, diharapkan

dapat meningkatkan kekuatan geser tanah dan ketahanannya. Stabilisasi tanah menggunakan semen telah banyak digunakan karena kemudahan untuk 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 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*.

Dari uraian diatas penulis merumuskan judul penulisan tesis sebagai berikut
DURABILITAS *CLAY SHALE* HAMBALANG LAPUK DISTABILISASI DENGAN SEMEN *PORTLAND* DAN ENERGI PEMADATAN BERLEBIH.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang ada maka masalah yang dapat diidentifikasi sebagai berikut :

1. Konstruksi yang berada diatas yang menggunakan material *clay shale* lapuk banyak mengalami kegagalan konstruksi, terutama timbunan dan badan jalan.
2. Material *clay shale* tidak tahan terhadap atmosfer dan hidrosfir, kecuali terlindungi oleh lapisan tanah diatasnya.

Adapun perumusan masalahnya adalah :

1. Bagaimana pengaruh penambahan semen *portland* terhadap *clay shale* lapuk jika di padatkan menggunakan energi pemadatan standar sesuai standar ASTM D-698 terhadap sifat durabilitasnya?
2. Bagaimana pengaruh energi berlebih bila diberikan campuran semen *portland* pada tanah *clay shale* lapuk dapat menyamai sifat asli durabilitas *clay shale* segar?

1.3. Tujuan Penelitian

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

1. Untuk menganalisa pengaruh semen *portland* terhadap *clay shale* lapuk jika dipadatkan menggunakan energi berlebih.
2. Untuk **mengetahui** kenaikan *durability* dari tanah *clay shale* lapuk setelah dipadatkan ulang dengan energi berlebih.

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,
3. Sebagai sumbangan pemikiran terhadap upaya perbaikan tanah,
4. Sebagai referensi bagi akademisi atau praktisi yang akan melaksanakan penelitian berkaitan dengan perbaikan tanah bidang keilmu teknik sipil.

1.5. Batasan Masalah

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

1. Percobaan laboratorium dilakukan terhadap material *clay shale* yang telah mengalami pelapukan yang di ambil di daerah Hambalang,
2. Pengujian material hanya dilakukan pengujian fisiknya saja, tidak dilakukan penelitian kandungan mineralnya,
3. Pengujian dilakukan dengan variasi penambahan semen *portland* 0%, 5%, 10%, 15%, dan jumlah energi pemadatan yang berbeda,

4. Metode pemadatan material yang digunakan adalah metode SCMT.

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 dapat dilihat sebagaimana pada Tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1 Rangkuman penelitian Sejenis

No	MAPPING JURNAL PENELITIAN	
1	Nama Peneliti	Alatas, Idrus M dan Pintor T. Simatupang
	Tahun	2017
	Judul	Perilaku Tanah <i>Clay shale</i> yang Telah Lapuk Distabilisasi dengan Semen (Studi Kasus Tanah <i>Clay shale</i> Cariu Jonggol Jawa Barat)
	Variabel	Kadar Air Optimum, Durabilitas, <i>Sheer Strength Ratio</i>
	Metode	Pembasahan dan pengeringan, Uji Laboratorium
	Hasil	Berdasarkan kalsifikasi durabilitas (kd) dengan 1 putaran (Goodman, 1980), maka pada campuran 15% dengan kadar air $W_n > W_{opt}$ didapat nilai kd = 63,318 (Low). Pada Nilai <i>Sheer Strength ratio</i> dieproleh campuran 10 % untuk hasil optimum dan pada nilai <i>slake durabilitas</i> diperoleh campuran 15% dengan masing-masing campuran pada kadar air $W_n > W_{opt}$. Sehingga disimpulkan pemakaian semen untuk stabilisasi tanah <i>clay shale</i> yang telah lapuk seluruhnya dapat menggunakan 15% PC pada kadar air $W_n > W_{opt}$.
2	Nama Peneliti	W. Diana, E. Hartono, A. S. Muntohar
	Tahun	2019
	Judul	<i>The Permeability of Portland Cemen-Stabilized Clay shale</i>
	Variabel	<i>Strength, Durability Improvement, Permeability Characteristic</i>
	Metode	<i>Constan head permeability</i>
	Hasil	<i>The result shows that both the liquid limits and plastic limits decrease with increased Portland cement content, 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>

3	Nama Peneliti	Idrus M. Alatas, Wawan K, Panji G
	Tahun	2019
	Judul	Penambahan <i>Portland Cement</i> Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang <i>Clay shale</i> Hambalang
	Variabel	Gradasi, <i>Disintegration ratio</i>
	Metode	Pembasahan dan pengeringan, Uji Laboratorium
	Hasil	Tanah <i>clay shale</i> Hambalang yang ditambah 6% PC dengan kadar air awal yang 9% (w optimum), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 66.46 % pada siklus ke 9 di hari ke-4, Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 9% (kadar air optimum) lebih tahan, dibanding dengan kadar air 6%. Dan sampel dengan kadar air 12% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 6% hingga siklus ke-6 pembasahan dan pengeringan. Manakala kadar air yang 6% lebih baik dari yang 12% terjadi pada siklus ke 7 hingga ke-9 atau di hari ke-41. Disini terlihat jelas kadar air optimum pegang peranan yang menentukan terhadap kestabilan <i>clay shale</i> Hambalang lapuk yang di stabilisasi dengan 9% PC.
4	Nama Peneliti	Julio Suryajaya, Aniek Prihatiningsih
	Tahun	2019
	Judul	Studi Penggunaan Bahan Mortar Sikadur-52 Sebagai Pelindung Tanah <i>Clay shale</i> Terhadap Pelapukan
	Variabel	Kuat Geser Tanah, Kuat Tekan
	Metode	Pembasahan dan pengeringan, Uji Laboratorium
	Hasil	Pada kondisi kering udara, benda uji memiliki nilai tekan yang tinggi tetapi nilai regangan yang rendah. Sebaliknya pada kondisi terendam, benda uji memiliki nilai tekan yang rendah tetapi nilai regangan yang tinggi. Penelitian ini menunjukkan, bahan Sikadur-52 dapat melindungi benda uji tanah <i>clay shale</i> mengalami kontak dengan air. Hal ini dibuktikan dengan tidak terjadinya perubahan nilai tekan pada benda uji yang terlindung sempurna selama durasi 0 hari, 1, 3, dan 5 minggu pada kondisi direndam air. Pada uji UCT ditemukan variasi nilai tekan, hal ini terjadi karena sulitnya mencegah benda uji mengalami kontak dengan air dan udara. Lapisan bahan Sikadur-52 harus merata secara sempurna tanpa ada celah atau retakan sedikitpun, untuk mencegah kontak dengan air dan udara.

5	Nama Peneliti	Ayu Kartika Redyananda
	Tahun	2021
	Judul	Pengaruh Semen Portland Terhadap Ketahanan Tanah Clay shale yang Telah Mengalami Pelapukan (Studi Kasus : Clay shale Cariu, Jonggol)
	Variabel	<i>Shear Strength, Slake Durability Index</i>
	Metode	Pembasahan dan pengeringan, Uji Laboratorium
	Hasil	Nilai aktivitas tanah pada <i>clay shale</i> lokasi Cariu, Jonggol adalah 0,80 sehingga mempunyai potensi mengembang level sedang. Hasil pengujian kada 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 menunjukkan peningkatan nilai TX-UU dan SDI yang signifikan 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 <i>clay shale (fresh clay shale)</i> .

2.2. Klasifikasi Tanah Lempung

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.

Pada saat ini terdapat dua system klasifikasi tanah dasar yang sering digunakan. System klasifikasi ini mengacu pada kondisi fisik tanah dengan memperhitungkan ukuran butiran tanah. System klasifikasi tersebut dapat dilihat pada tabel 2.2.

Tabel 2.2
Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar jalan raya (....)

Klasifikasi umum	Tanah berbutir (35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2			
Klasifikasi kelompok	A-1-a	A-1-b			A-2-4	A-2-5	A-2-6
Analisa ayakan (% lolos) NO. 10 NO. 40 NO. 200	Maks 50 Maks 30 Maks 15	Maks 50 Maks 25	Min 51 Min 25				
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair Batas plastis	Maks 6		NP	Maks 40 Maks 10	Min 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Batu pecah, kerikil dan pasir		Pasir halus	Kerikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Penilaian sebagai tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Klasifikasi umum	Tanah lanau - lempung (Lebih dari 35 % atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)			
	A-4	A-5	A-6	A-7 A-7-5* A-7-6*
Analisa ayakan (% lolos) NO. 10 NO. 40 NO. 200	Min 36	Min 36	Min 36	Min 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan No. 40 Batas cair Batas plastis	Maks 40 Maks 10	Maks 41 Maks 10	Maks 40 Min 11	Min 41 Min 11
Tipe material yang paling dominan	Tanah berlanau		Tanah berlempung	
Penilaian sebagai tanah dasar	Biasa sampai jelek			

* Untuk A-7-5, $PL \leq LL - 30$
* Untuk A-7-6, $PL > LL - 30$

Menurut Mitchell (1976), mineralogi merupakan faktor utama untuk mengontrol, ukuran, bentuk, sifat-sifat fisik dan kimia dari partikel tanah. Dalam klasifikasi tanah secara umum partikel tanah lempung mempunyai diameter $2\mu\text{m}$ atau sekitar $0,002\text{mm}$. Lempung didefinisikan sebagai golongan partikel yang berukuran kurang dari $0,002\text{mm}$ (MIT, U.S.D.A, AASTHO, UCS), maka ciri-ciri tanah lempung adalah sebagai berikut:

- Berukuran kurang dari $0,002\text{ mm}$.
Ukurannya ini sangat kecil sekali sehingga berbentuk butiran halus
- Tingkat permeabilitas yang rendah.
Tingkat permeabilitas yang rendah ini memungkinkan jenis tanah lempung tidak dapat menyerap air sehingga tidak cocok untuk digunakan sebagai lahan pertanian dan perkebunan.
- Tingkat kenaikan air kapiler yang tinggi.

- d) Bersifat kohesif.
Pada saat jumlah air yang sangat banyak mengenai jenis tanah ini maka tanah ini akan sangat lengket sekali
- e) Tingkat kembang dan susutnya sangat tinggi.
- f) Proses konsolidasinya lambat.
- g) Memiliki ion positif yang dapat dipertukarkan.
 1. Memiliki luas permukaan yang sangat besar.
 2. Bertekstur keras jika dibakar.

Untuk menentukan suatu tanah itu Ekspansif dan aktif, Skempton (1953) menetapkan suatu persamaan sebagai berikut :

$$Ac = \frac{PI}{CF}$$

Ac = Tingkat keaktifan

PI = Indeks plastisitas

CP = Presentase Fraksi Lempung (%)

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 $Ac < 0,75$.

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

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

2.3. Karakteristik Tanah *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 dan *clay shale* ini tersusun dari mineral mineral lempung yang mempunyai karakter kelembaban susut yang besar apabila terjadi perubahan kadar air. Tanah akan mengembang (*Swelling*) pada kondisi basah dan akan menyusut (*Shrinkage*) pada kondisi kering. Selain memiliki

sifat ekspansif yang tinggi *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.

Banyak nya masalah di bidang geoteknik akibat adanya tanah *Clay shale* menjadikan tanah ini banyak di telite dan dipelajari para ahli geoteknik guna mencegah terjadinya kegagalan konstruksi nantinya.

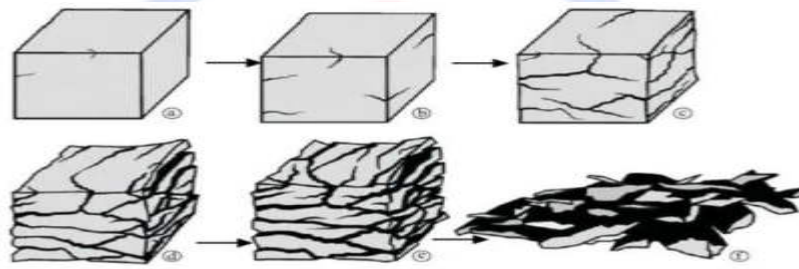


Gambar 2.1 Perubahan bentuk Perubahan bentuk fisik *clay shale* dari masa ke masa (Irsyam, et al., 2011)

Hasil penelitian Gartung (1986) menyimpulkan bahwa jenis tanah ini menunjukkan *creep*. *Creep* yang terjadi yang terjadi merupakan proses akibat pelapukan (*Weathering*) yang terjadi dalam jangka waktu yang relatif lama tanah tersebut terekspose.

Clay 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 *clay shale* digunakan sebagai bahan konstruksi, dapat menyebabkan masalah besar karena cenderung untuk mengalami degradasi dari massa keras atau mengeras (*indurated*) menjadi massa tanah halus. Sementara menurut Belviso (1977), *shale* belum dapat diidentifikasi sebagai *clay shale* berdasarkan parameter inisial awal, melainkan potensi turunnya properties mekanis yang signifikan setelah mengalami interaksi dengan air.

Perubahan karakteristik pada *clay shale* yang berupa perubahan fisik dan kimia disebabkan oleh adanya reaksi dengan *atmosphere* dan *hidrosfere* yang akan menyebabkan pelapukan. Secara umumnya pelapukan dapat didefinisikan sebagai proses perubahan batuan yang terjadi di bawah pengaruh atmosfer dan hidrosfir. Perubahan tersebut boleh dalam bentuk disintegritas fisik dan penguraian kimia. Di kawasan iklim tropika, proses ini lebih sering terjadi berbanding keadaan iklim lainnya (Sadisun et al., 2006). Gambar 2.2 di bawah ini adalah suatu ilustrasi proses kehancuran *clay shale* akibat pelapukan (Sadisun et al., 2010).



Gambar 2.2 Ilustrasi perubahan *clay shale* terhadap masa akibat proses pelapukan (Sadisun et al., 2010)

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, Duncan dan Stark (1992) 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 untuk diketahui. Khususnya pada pelaksanaan pekerjaan tanah sebagai bagian dari konstruksi dilapangan. Perubahan sifat dari batuan karena cuaca dan air dapat mengakibatkan antara lain terkelupasnya lapis permukaan batuaan, hidrasi pada

- d. Sebelum dilakukan pengujian slake durability, benda uji di timbang terlebih dahulu bersama dengan drum;
- e. 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;
- f. Setelah selesai di oven kemudian benda uji didiamkan beberapa menit hingga sampel dan drum dingin;
- g. Terakhir ukur masa sampel yang telah dingin bersama dengan drum untuk memperoleh indeks durabilitas.

Perhitungan :

Perhitungan durabilitas dapat dihitung sebagai berikut:

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

Dimana :

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

W_d = *Weight of oven drum, (gram)*

W_o = *Weight of sample, (gram)*

3.4. METODA ANALISIS DATA

Data kuantitatif numerik yang diperoleh dari hasil percobaan dapat dianalisa secara akurat. Salah satu contoh data numerik dalam metode penelitian kuantitatif yaitu hasil uji eksperimen. Teknik analisis data kuantitatif di olah dengan menggunakan perhitungan model matematika dan model statistik.

3.4.1. Analisis Deskriptif

Analisis deskriptif merupakan aktivitas penghimpunan, penataan, peringkasan dan penyajian data dengan harapan agar data lebih bermakna, mudah dibaca dan mudah dipahami oleh pengguna data. Statistik deskriptif hanya sebatas memberikan deskripsi atau gambaran umum tentang karakteristik objek yang diteliti tanpa maksud untuk melakukan generalisasi sampel terhadap populasi. Statistik deskriptif digunakan untuk menjelaskan atau memberikan gambaran mengenai karakteristik dari serangkaian data tanpa mengambil kesimpulan umum (Ghozali, 2016). Penyajian data statistik deskriptif biasanya

dalam bentuk diagram atau tabel. Analisis statistik deskriptif terdiri dari nilai *mean*, *median*, *maksimum*, *minimum*, dan *standard deviation*. Analisis statistik deskriptif memiliki tujuan untuk menggambarkan atau mendeskripsikan data berdasarkan pada hasil yang diperoleh dari jawaban responden pada masing-masing indikator pengukur variabel.

Statistik deskriptif untuk memberikan gambaran mengenai variabel-variabel yang digunakan, seperti nilai ideal dari sebuah objek, nilai minimum, nilai maksimum, rata-rata dan standar deviasi pada masing-masing penelitian. Analisis statistik deskriptif menunjukkan gambaran kondisi dan karakteristik objek penelitian untuk masing-masing konstruk atau variabel yang diteliti. Analisis deskriptif dilakukan dengan menyajikan data ke dalam tabel, Analisis statistik deskriptif bertujuan untuk mengumpulkan, mengolah, dan menganalisis data sehingga dapat disajikan dalam tampilan yang lebih baik (Ghozali, 2016).

3.4.2. Analisis Inferensial

Teknik analisis data kuantitatif inferensial menggunakan rumus statistik. Hasil yang diperoleh dari perhitungan tersebut digunakan sebagai dasar untuk membuat kesimpulan yang berlaku secara umum (generalisasi).

Analisis Statistik Inferensial adalah serangkaian teknik yang digunakan untuk mengkaji, menafsirkan dan mengambil kesimpulan berdasarkan data yang diperoleh dari sampel atau hasil pengujian untuk menggambarkan karakteristik atau ciri dari suatu populasi (Rudi Susilana, 2017). Atau dengan kata lain penelitian inferensial adalah proses pengambilan kesimpulan-kesimpulan berdasarkan data sampel yang lebih sedikit menjadi kesimpulan yang lebih umum untuk sebuah populasi. Oleh karena itu, statistika inferensial disebut juga statistic induktif atau statistik penarikan kesimpulan. Dalam statistika inferensial, kesimpulan dapat diambil setelah melakukan pengolahan serta penyajian data dari suatu sampel yang diambil dari suatu populasi, sehingga agar dapat memberikan cerminan yang mendekati sebenarnya dari suatu populasi. Teknik pengolahan data terdiri dari beberapa tahapan. Tahapan-tahapan yang harus kita lalui dalam mengolah data yaitu:

1. Pengumpulan Data

Pada tahapan ini, kita mengumpulkan data-data yang dibutuhkan.

2. Penyuntingan (*Editing*)

Yang dimaksud dengan *editing* dalam analisa data adalah kegiatan memeriksa kelengkapan dan kejelasan pengisian instrumen pengumpulan data, seperti sampel objek yang akan di uji.

3. Pengodean (*Coding*)

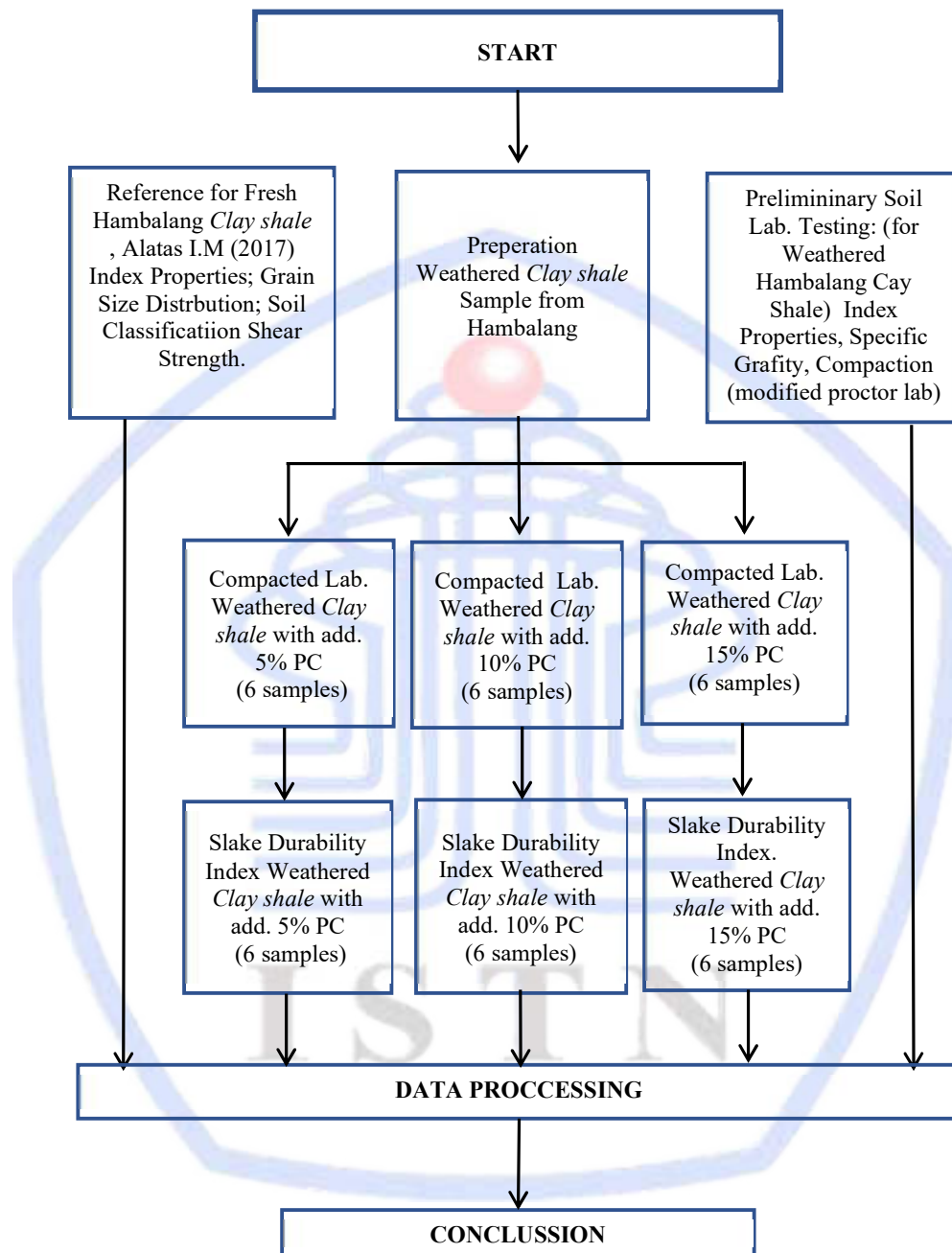
Coding dalam penelitian yaitu proses identifikasi dan klasifikasi dengan memberikan simbol berupa angka pada tiap objek yang diteliti.

4. Tabulasi

Pada tahapan ini kita melakukan data entri, menyusun, dan menghitung data yang telah dikodekan ke dalam tabel.



3.5. FLOW CHART



BAB IV

HASIL PENELITIAN

4.1 Pendahuluan

Karya tulis ini mengkaji sebuah fenomena alam yang terjadi pada *clay shale* di daerah hambalang Jawa Barat. Apa yang akan terjadi jika tanah daerah tersebut mendapatkan perlakuan tertentu. Untuk mendapatkan sebuah kesimpulan yang definitive, maka dilakukan berbagai macam perlakuan dengan metode eksperimen.

Metode eksperimen adalah sebuah metode yang sering digunakan dalam penelitian ilmu eksak. Pengamatan dilakukan dalam kondisi buatan, dimana kondisi tersebut dibuat dan diatur oleh peneliti. Ada kondisi yang dimanipulasi terhadap objek penelitian yang akan di control. Beberapa percobaan akan di lakukan untuk menguji sebuah hipotesis.

Penelitian eksperimen membuat sebuah analisa sebab akibat dan bentuk hubungan yang terjadi antara variable penelitian dengan cara memberikan perlakuan perlakuan tertentu dan control terhadap objek yang diteliti. Kontrol yang dilakukan dapat berupa manipulasi fisik atau seleksi fisik terhadap objek yang diteliti.

Dari hasil berbagai pengujian akan diperoleh data data yang kemudian di berikan penjelasan narasi untuk memberikan gambaran yang lebih jelas tentang objek yang di teliti di labolatorium.

Pada bab ini akan dibahas mengenai hasil pengujian *clay shale* yang telah lapuk seluruhnya distabilisasi menggunakan semen *portland* dengan campuran tertentu pada kadar air WnWopt. Yang kemudian dicari properties tanahnya dan sebelum dilakukan pengujian *Slake Durability* sampel di soaked selama 3 hari. Sampel tanah *clay shale* yang digunakan adalah tanah *clay shale* dari daerah Pengujian labolatorium dilakukan terhadap tanah lempung yang diambil dari Tanah *clay shale* ini diperoleh dari daerah Hambalang, Bogor, Jawa Barat, *clay shale* diambil dalam kondisi yang terganggu (*disturbed*) dimana sampel uji ini telah terekspos oleh udara luar.

Penelitian ini merupakan salah satu dari seri penelitian yang dilakukan sebelum nya. Penelitian yang dilakukan sebelum nya yang dilakukan oleh Ayu , K.

R., . (2021). dengan judul "Pengaruh Semen *Portland* Terhadap Ketahanan Tanah *Clay shale* Yang Telah Mengalami Pelapukan (Studi Kasus : *Clay shale* Cariu, Jonggol)" menyimpulkan bahwa pada *clay shale* Jonggol cariu , nilai SDI dari *clay shale* lapuk Cariu didapat maksimum pada 15% PC sebesar 63%, sedangkan pada 10% PC SDI maksimum sebesar 46% dan pada 5% PC sebesar 39.8%. Semuanya termasuk klasifikasi Low (rendah) pada siklus pertama (Purnomo 2020, Ayu 2021)

Penelitian lain juga dilakukan oleh DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc dengan judul "Penambahan *Portland Cement* Terhadap Perilaku Pelapukan Ulang *Clay shale* Hambalang" pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil Dan Perencanaan Institut Sains Dan Teknologi Nasional Tahun 2019 yang memberikan banyak informasi tentang Index Properties dan Physical Properties Hambalang.

Beberapa perbedaan dalam penelitian adalah dalam hal metode pemadatan dan komposisi campuran PC. Jika pada penelitian terdahulu menggunakan metode pemadatan ASTM dengan variasi komposisi 0%, 3%, 6% dan 12 % PC. Maka pada penelitian ini metode pemadatan yang digunakan adalah SCMT dengan variasi komposisi 0%, 5%, 10% dan 15 % PC.

Dari hasil pengujian yang dilakukan oleh DR. Ir. Idrus M. Alatas M.Sc secara umum menjelaskan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan terhadap kondisi tanah *clay shale* Hambalang dengan pencampuran PC dan tanpa PC.

Tanah *clay shale* Hambalang yang ditambah 3% PC dengan kadar air awal 6% (lebih kecil dari $w_{optimum}$), daya tahannya terlihat cukup stabil hingga tertinggal 40% pada siklus ke 9 di hari ke-4. Dari siklus ke-1 sampai siklus ke-9, sampel dengan kadar air 6% lebih tahan, dibanding dengan kadar air 9%. Dan sampel dengan kadar air 9% lebih tahan dibandingkan sampel dengan kadar air 12%. Disini terlihat jelas pengurangan kadar air dan 3% PC saat dipadatkan akan memberikan campuran *clay shale* Hambalang jauh lebih tahan lauk dibandingkan tanpa menggunakan semen *portland*.

Pada siklus pembasahan dan pengeringan siklus ke-1 pada penambahan 6% PC terlihat bahwa DR turun disekitar 0.9929 saat dipadatkan dengan kadar air 9% ($w_{optimum}$), bahkan pada siklus ke-5 DR hanya turun dan menjadi 0.7852. Ini jauh lebih baik dibandingkan menggunakan 3% PC dalam memadatkannya. Rasio disintegritas (DR) pada siklus ke-9 apada kadar air awal 9% menjadi 0.5486. Hal

ini dapat disimpulkan bahwa tambahan 6% semen *portland, clay shale* Hambalang lapuk yang dipadatkan maksimum akan cepat tahan dari pelapukan hingga 55 % di siklus ke-9 bila dipadatkan dengan kadar air 9% (kadar air optimum). *Clay shale* Hambalang lapuk yang dipadatkan ulang dengan menambahkan *portland cement* sebanyak 6% tidak akan melapuk seluruhnya hingga siklus ke-9 bila dipadatkan pada kadar air sebesar 9%.

Uji pemadatan dengan SCMT Methode dapat menjadi alternatif pengujian kepadatan di laboratorium , dimana hasil uji dengan SCMT Methode ini hasilnya sama dengan cara ASTM. Sekaligus sampel uji dpat dicari kuat gesernya dengan uji UCT.

Uji pemadatan dengan SCMT akan hemat pemakaian tanah, waktu dan tenaga. Dengan menggunakan PCC untuk stabilisasi Lempung Deltamas, maka daya dukung CBR akan meningkat, dan akan stabil untuk keperluan subgrade dengan pemakaian PCC sebanyak 10 %, walaupun terjadi peningkatan kadar air saat hujan (Soaked) Keberadaan air (kadar air) yang cukup pada saat pemadatan dengan PCC akan mempengaruhi nilai CBR.

Dari uji Lempung Srengseng terbukti bahwa kadar air awal lebih tinggi akan menghasikan CBR yang lebih tinggi bila distabiliasi dengan PC.

Pada kadar air rendah, tanah menjadi kaku dan lebih tahan terhadap pemadatan. Saat kadar air meningkat, partikel tanah dilumasi. Massa tanah menjadi lebih bisa diterapkan dan partikel-partikel memiliki pengepakan yang lebih dekat. Kerapatan kering tanah meningkat dengan bertambahnya kadar air sampai kadar air optimum tercapai. Pada tahap itu, rongga udara mencapai volume yang kira-kira konstan. Dengan peningkatan kadar air lebih lanjut, rongga udara tidak berkurang, tetapi rongga total (udara ditambah air) meningkat dan densitas kering berkurang. Dengan demikian kepadatan kering yang lebih tinggi dicapai hingga kadar air optimal karena memaksa rongga udara keluar dari rongga tanah. Setelah kadar air optimum tercapai, menjadi lebih sulit untuk memaksa udara keluar dan untuk selanjutnya mengurangi rongga udara. Pengaruh kadar air pada pemadatan tanah juga dapat dijelaskan dengan bantuan teori lapisan ganda listrik. Pada kadar air yang rendah, gaya tarik-menarik pada lapisan air yang teradsorpsi besar, dan lebih banyak resistensi terhadap pergerakan partikel. Saat kadar air meningkat, lapisan

ganda listrik mengembang dan gaya tolak antar partikel meningkat. Partikel dengan mudah meluncur satu sama lain dan dikemas rapat. Ini menghasilkan kepadatan kering yang lebih tinggi.

Pemadatan tanah meningkat dengan meningkatnya jumlah upaya pemadatan. Dengan meningkatnya upaya pemadatan, kadar air optimum yang diperlukan untuk pemadatan juga berkurang. Pada kadar air kurang dari optimal, efek peningkatan pemadatan lebih dominan. Pada kadar air lebih dari optimum, volume rongga udara menjadi hampir konstan dan pengaruh peningkatan pemadatan pada tanah tidak signifikan. Dapat disebutkan bahwa kepadatan kering maksimum tidak terus meningkat dengan peningkatan upaya pemadatan. Untuk peningkatan tertentu dalam upaya pemadatan, peningkatan kepadatan kering menjadi lebih kecil dan lebih kecil. Akhirnya tercapai suatu tahap di mana tidak ada peningkatan lebih lanjut dalam kepadatan kering dengan peningkatan upaya pemadatan. Garis optimum yang menghubungkan puncak kurva pemadatan dari upaya pemadatan yang berbeda mengikuti tren umum kekosongan udara nol. Garis ini sesuai dengan rongga udara sekitar 5%.

Pemadatan tanah tergantung pada jenis tanah. Kepadatan kering maksimum dan kadar air optimum untuk tanah yang berbeda ditunjukkan pada gambar. Secara umum, tanah berbutir kasar dapat dipadatkan hingga kepadatan kering yang lebih tinggi daripada tanah berbutir halus. Dengan penambahan bahkan sejumlah kecil butiran halus ke tanah berbutir kasar, tanah mencapai kepadatan kering yang jauh lebih tinggi untuk upaya pemadatan yang sama. Akan tetapi, jika jumlah butiran halus di dalam meningkat sampai suatu nilai lebih dari yang dibutuhkan untuk mengisi rongga-rongga tanah berbutir kasar, berat jenis kering maksimum akan berkurang. Pasir bergradasi baik mencapai kepadatan kering yang jauh lebih tinggi daripada tanah bergradasi buruk. Tanah kohesif memiliki rongga udara yang tinggi. Tanah ini mencapai kepadatan kering maksimum yang relatif lebih rendah dibandingkan dengan tanah tanpa kohesi. Tanah seperti itu membutuhkan lebih banyak air daripada tanah tanpa kohesi dan oleh karena itu kadar air optimumnya tinggi. Lempung berat dengan plastisitas sangat tinggi memiliki densitas kering yang sangat rendah dan kadar air optimum yang sangat tinggi.

Kepadatan kering yang dicapai tidak hanya tergantung pada jumlah usaha pemadatan tetapi juga pada metode pemadatan. Untuk jumlah usaha pemadatan yang sama, densitas kering akan tergantung pada apakah metode pemadatan menggunakan aksi pengadukan, aksi dinamis atau aksi statis. Sebagai contoh, dalam uji pemadatan Miniatur Harvard, tanah dipadatkan dengan tindakan pengadukan, dan oleh karena itu, kurva pemadatan yang diperoleh berbeda dari yang diperoleh dari uji konvensional lainnya yang menerapkan upaya pemadatan yang sama. Metode kurva pemadatan yang berbeda memberikan kurva pemadatannya sendiri. Akibatnya, garis optimum juga berbeda. Kurva pemadatan untuk tanah yang berbeda

4.2 Hasil Indeks Propertis *Clay Shale* Hambalang

Berikut merupakan hasil pengujian indeks pada tanah *clay shale* di Hambalang (Alatas I. M, 2017):

Tabel 4.1 Hasil Pengujian Propertis Index Clay Shale Hambalang

No	Parameter	Simbol	Nilai	Unit
1	<i>Bulk density</i>	Γ	23.4 ~ 24.7	kN/m ³
2	<i>Natural water conten</i>	w _n	3.50 ~ 5.11	%
3	<i>Specific gravity</i>	G _s	2.70 ~ 2.79	
4	<i>Dry Unit weight</i>	γ_d	22.1 ~ 23.7	kN/m ³
5	<i>Saturated unit weight</i>	Γ_{sat}	24.87	kN/m ³
6	<i>Void ratio</i>	E	0.204	
7	<i>Aterberg limit</i>			
	- <i>Liquid limit</i>	LL	25.12	%
	- <i>Plastic limit</i>	PL	14.12	%
	- <i>Plasticity indecx</i>	PI	11	%
8	<i>Soil distribution</i>			
	- <i>Sand</i>		32.98	%
	- <i>Silt</i>		27.02	%
	- <i>Clay</i>		40.00	%

Sumber: Alatas I. M, 2017 (data Hambalang)

Dari tabel di atas dapat dijelaskan beberapa hal sebagai berikut :

1. Bulk Density (BD), adalah suatu perbandingan antara massa padatan tanah dengan volume tanah, digunakan untuk mencirikan tanah, karena nilai perbandingan ini cukup stabil untuk jangka waktu yang lama biasanya dinyatakan dalam gr/cm³ (Darmayanti, 2012). Volume tanah adalah volume

kepadatan tanah termasuk pori-pori tanah. Tanah yang lebih padat mempunyai bulk density yang lebih besar dari tanah yang sama tetapi kurang padat. Dari beberapa hasil pengujian laboratorium tanah lempung di daerah Hambalang memiliki nilai Bulk density 23.4 ~ 24.7 hal ini menunjukkan bahwa nilai kepadatan tanah yang tinggi, sebab bulk density lapisan olah berstruktur halus biasanya berkisar antara 1,0 – 1,3. Sedangkan jika tekstur tanah itu kasar, maka kisaran itu selalu di antara 1,3 – 1,8.

Pemadatan tanah (compaction) adalah suatu proses dimana udara pada pori-pori tanah dikeluarkan dengan cara mekanis (digilas/ditumbuk) sehingga partikel-partikel tanah menjadi rapat. Dengan kata lain, Pemadatan Tanah adalah densifikasi tanah yang jenuh dengan penurunan volume rongga diisi dengan udara, sedangkan volume padatan dan kadar air tetap pada dasarnya sama. Hal ini merupakan cara yang paling jelas dan sederhana untuk memperbaiki stabilitas dan kekuatan dukung tanah.

Maksud pemadatan tanah menurut [Hardiyatmo \(1992\)](#), antara lain :

- 1) Mempertinggi kuat geser tanah
- 2) Mengurangi sifat mudah mampat (kompresibilitas)
- 3) Mengurangi permeabilitas
- 4) Mengurangi perubahan volume sebagai akibat perubahan kadar air dan lainnya.

Lempung merupakan mineral asli yang mempunyai sifat plastis saat basah, dengan ukuran butir yang sangat halus dan mempunyai komposisi berupa Hydrous Aluminium dan Magnesium Silikat dalam jumlah yang besar. Mineral lempung sebagian besar mempunyai struktur berlapis dimana ukuran mineralnya sangat kecil yakni kurang dari 2 μm ($1\mu\text{m} = 0,000001\text{m}$), meskipun ada klasifikasi yang menyatakan bahwa batas atas lempung adalah 0,005 m (ASTM) dan merupakan partikel yang aktif secara elektrokimiawi yang hanya dapat dilihat dengan mikroskop elektron.

2. Natural water content atau Kadar air yang terkandung dalam tanah merupakan perbandingan antara berat air yang terkandung dalam tanah dengan berat butiran tanah kering yang dinyatakan dalam persen (%). Pengujian kadar air dalam praktikum ini menggunakan standar [ASTM D2216-92 \(1996\)](#).

Apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya. Keadaan ini jarang ditemukan di tanah yang masih dalam keadaan asli/tanah dilapangan. Air hanya dapat dihilangkan dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud itu, misalnya dengan memanaskan didalam oven. Penyelidikan tanah yang memadai merupakan suatu pekerjaan pendahuluan yang sangat penting pada perencanaan sebuah proyek. Oleh sebab itu perlu dilakukan uji kadar air pada tanah agar derajat kejenuhan pada tanah jangan sampai dikacaukan dengan kadar, yaitu perbandingan antara berat air dalam contoh tanah dengan berat butir.

3. *Specific gravity* atau Berat jenis tanah adalah angka perbandingan antara berat isi butir tanah dengan berat isi air suling pada volume yang sama dan suhu tertentu. Berat jenis tanah sangat penting diketahui yang selanjutnya digunakan dalam perhitungan - perhitungan mekanika tanah.
4. *Dry unit weight* merupakan pengujian terhadap berat volume kering merupakan salah satu percobaan yang dilakukan dalam praktikum mekanika tanah. Hal ini disebabkan karena berat asli dari tanah tergantung kepada besar volume dan berat dari mould. Pada pembuatan timbunan untuk pembuatan jalan raya dan tanah dan banyak struktur teknik lainnya, tanah yang lepas haruslah dipadatkan untuk meningkatkan berat berat volumenya. Pemadatan tersebut berfungsi untuk meningkatkan kekuatan dari tanah, sehingga dengan demikian meningkatkan daya dukung pondasi di atasnya. Pemadatan juga dapat mengurangi besarnya penurunan tanah yang tidak diizinkan atau diinginkan dan meningkatkan kemampuan lereng timbunan penggilas besi kepermukaan halus dan penggilas getar adalah alat-alat yang umum digunakan dilapangan untuk pemadatan tanah. Mesin getar dalam juga banyak digunakan untuk memadatkan tanah berbutir. Sampai kedalaman yang cukup besar dari permukaan tanah. Cara pemadatan tanah dengan system ini disebut Vibroflotation (pemampatan getar apung).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan pada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai unsure pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah kerana adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih

mudah bergerak satu sama lainnya dan membentuk kedudukan yang lebih padat dan rapat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan bertambah bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Setelah mencapai kadar air tertentu akibat adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang pori dalam tanah yang sebenarnya dapat ditempati oleh partikel-partikel dalam tanah. Kadar air dimana berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut dengan kadar air optimum. Percobaan – percobaan dilaboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maximum dan kadar air optimum adalah Proctor Competition Test (uji pemadatan Proctor menurut nama penemunya ; Proctor 1933). Pada uji proctor, tanah dipadatkan dalam sebuah cetakan silinder bervolume $1/30 \text{ ft}^3$ ($\approx 943,3 \text{ cm}^3$). Diameter cetakan tersebut adalah 4 inci (= 101,6 mm) selama percobaan dilaboratorium, cetakan itu diletakkan pada sebuah plat dasar dan di atasnya diberi perpanjangan (juga berbentuk silinder). Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk kusus. Pemadatan tanah tersebut dilakukan dalam 3 (tiga) lapisan dan jumlah tumbukan adalah 25 x setiap lapisan. Disamping kadar air, factor-faktor lain juga mempengaruhi pemadatan yaitu berupa jenis tanah dan usaha pemadatan. Dry unit weight tanah lempung daerah hambalang memiliki nilai 22.1 ~ 23.7 hal ini menunjukkan struktur tanah memiliki sifat kepadatan yang sangat tinggi.

5. Saturated unit weight. Menurut Terzaghi (1987) tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub-mikrokonis yang berasal dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan tidak mudah terkelupas. Permeabilitas lempung sangat rendah, bersifat plastis pada kadar air sedang. Sedangkan pada keadaan air yang lebih tinggi tanah lempung akan bersifat kohesif dan sangat lunak. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral yang terkandung didalamnya.

Secara fisik ukuran lempung adalah partikel yang berukuran antara 0,002 mm samapi 0,005 mm. Partikel-partikel ini merupakan sumber utama dari kohesi pada tanah kohesif.

6. Void ratio (e) Atau Angka pori, didefinisikan sebagai perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat.
7. Liquid limit Tujuan dari pemeriksaan batas cair adalah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada batas keadaan cair. Batas cair adalah kadar air batas dimana suatu tanah berubah dari keadaan cair menjadi keadaan plastis.
8. Plastic limit Maksud dari pemeriksaan batas plastis ialah untuk menentukan kadar air suatu tanah pada keadaan batas plastis. Batas plastis ialah kadar air minimum dimana suatu tanah masih dalam keadaan plastis. Batas ini merupakan batas terendah dari tingkat keplastisan tanah. Jika merujuk pada indeks plastis dengan tingkat plastisitas dan jenis tanah menurut Atterberg. Tanah lempung daerah Hambalang Jawa barat memiliki nilai 14,12 ini artinya struktur tanah daerah hambalang memiliki plastisitas yang sedang.
9. Plasticity index. Indeks plastisitas merupakan perbedaan antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL). Nilai Plasticity index pada tanah lempung di daerah hambalang memiliki nilai 11 hasil dari Liquid Limit (25,12) dikurangi Plastic Limit (14,12).
10. Dari Data Soil distribution tanah lempung di daerah hambalang memiliki kandungan 32,98 % pasir (sand), 27,02 silt atau bahan sedimen atau dapat disebut tanah berat yang butirannya berukuran garis tengah 0.0039 mm – 0.0625 mm yang terendap dari cairan atau suspensi. Dan 40 % clay.

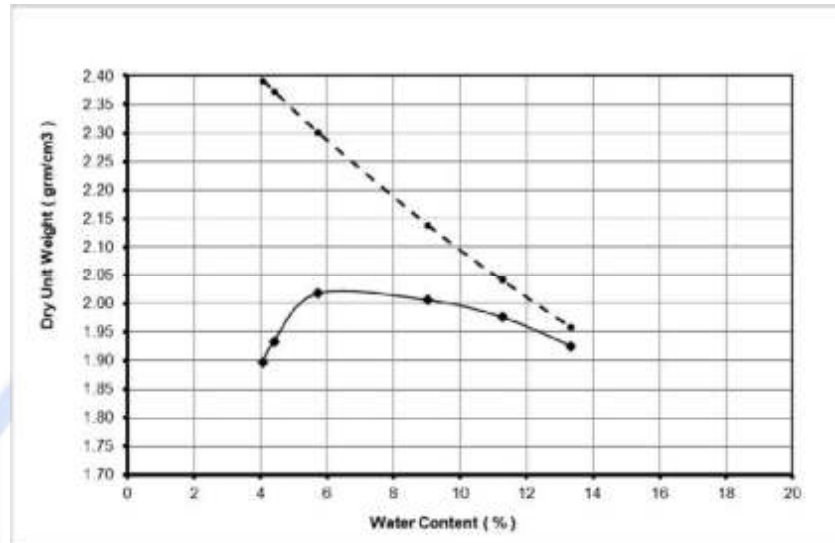
4.3 Parameter Pemadatan

Tujuan pemadatan ialah untuk memperbaiki sifat-sifat teknis massa tanah, yaitu :

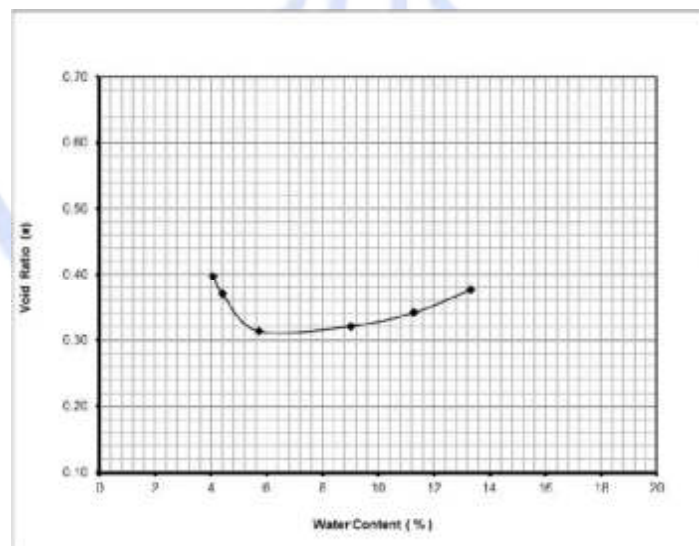
- Menaikkan kekuatannya
- Memperkecil pemampatannya dan daya rembes airnya
- Memperkecil pengaruh air terhadapnya

4.3.1 Compaction Properties Clay shale lapuk Hambalang Asli

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638.



Gambar 4.1 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pematat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638



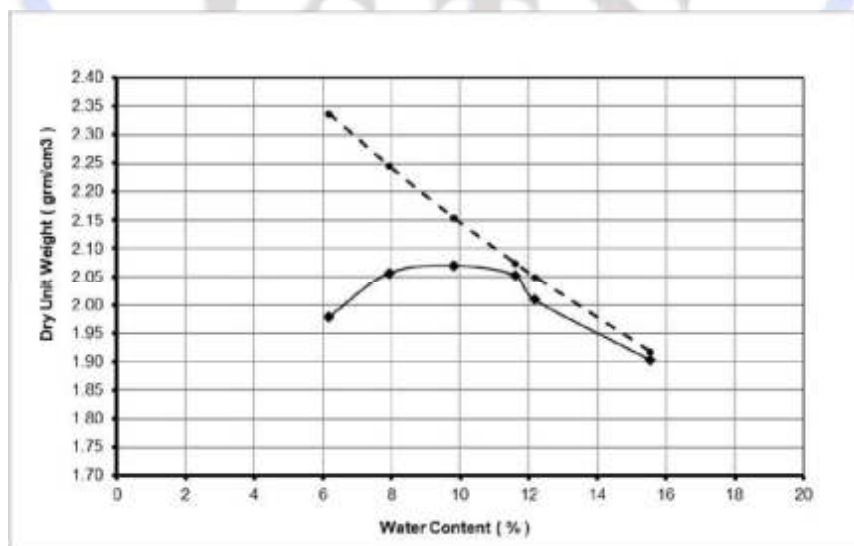
Gambar 4.2 Grafik Perbandingan Void ratio *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor **ASTM D 638**

Tabel 4.2 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 0 % PC; 10 Blow/Layer

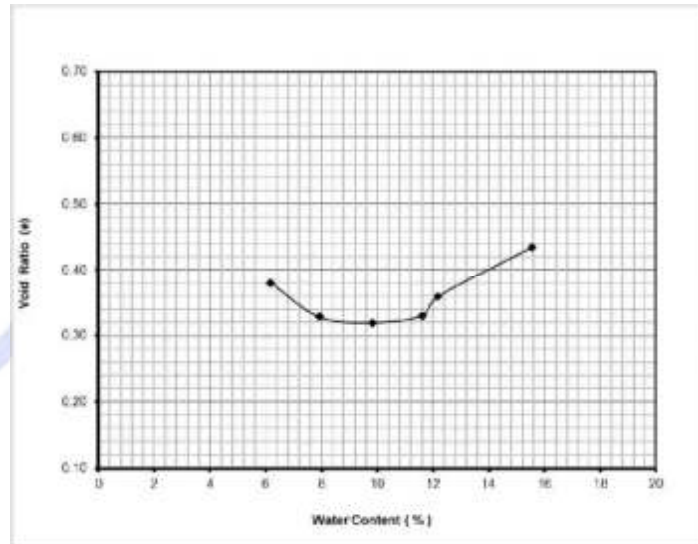
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (grm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	4,082	1,896	2,39	0,40
2	4,406	1,934	2,37	0,37
3	5,723	2,018	2,30	0,31
4	9,028	2,006	2,14	0,32
5	11,265	1,976	2,04	0,34
6	13,312	1,926	1,96	0,38
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,018	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			5,723	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,018 pada kadar air optimum 5,723 % dan void rasio 0,31 dengan Berat jenis 2,30.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan Clay shale Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638.



Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pematad 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638



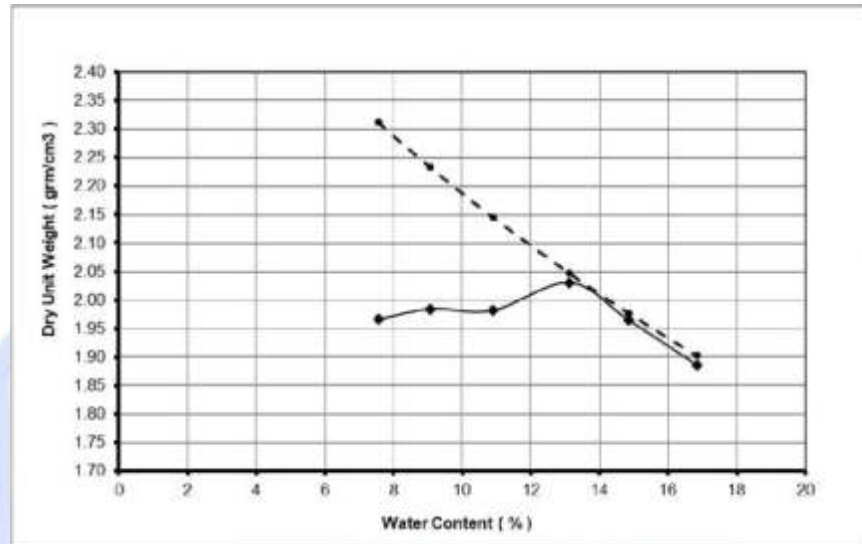
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Void Rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energy pematad 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638

Tabel 4.3 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 0 % PC; 20 Blow/Layer

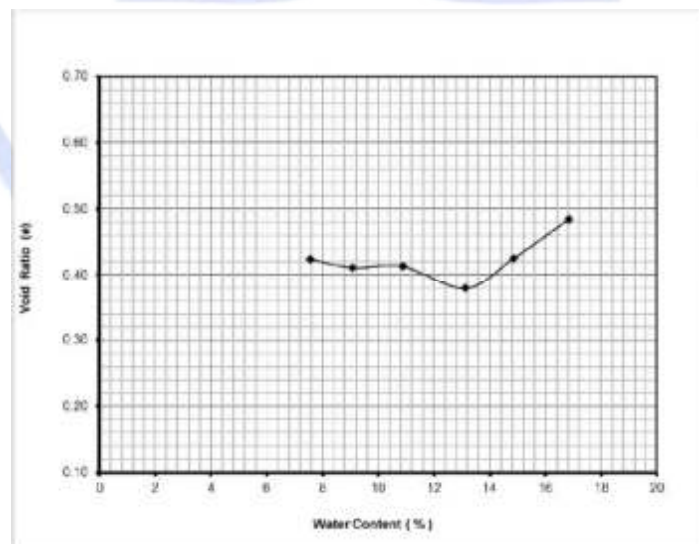
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	6,172	1,978	2,34	0,38
2	7,921	2,056	2,24	0,33
3	9,814	2,070	2,15	0,32
4	11,615	2,052	2,07	0,33
5	12,165	2,009	2,05	0,36
6	15,534	1,903	1,92	0,43
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,070	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			9,814	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,070 pada tingkat kadar air optimum 9,814 % dan void rasio 0,32 dengan Berat jenis 2,15.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan Clay shale Lapuk Hambalang asli dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor [ASTM D 638](#).



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT, Idrus, 2006) methods setara 3 kali energi Modified Proctor [ASTM D 638](#).



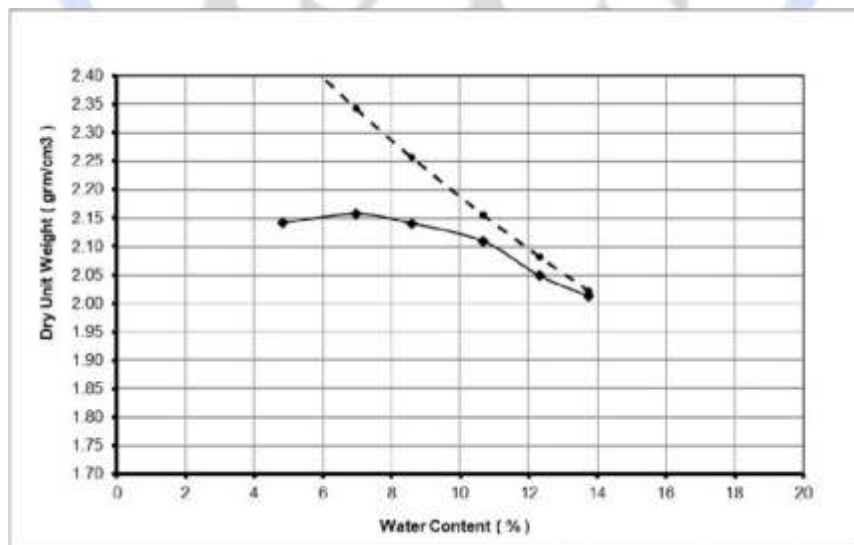
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638.

Tabel 4.4 Data hasil uji Clay shale Lapuk dengan 0 % PC; 30 Blow/Layer

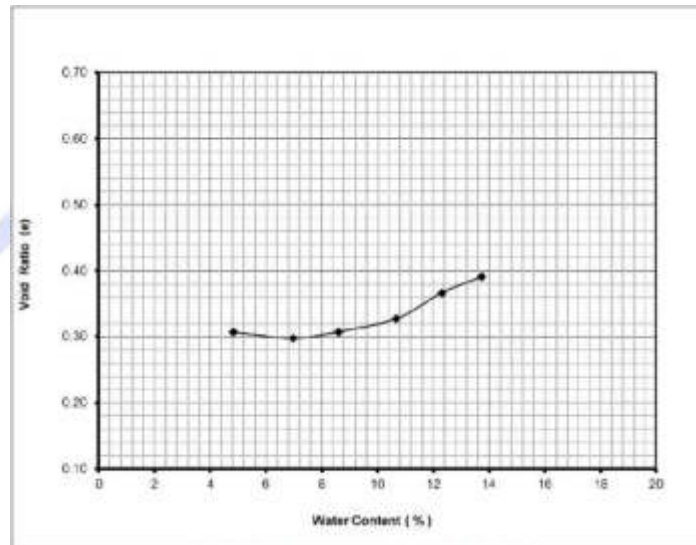
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	7,551	1,966	2,31	0,42
2	9,078	1,984	2,23	0,41
3	10,881	1,982	2,15	0,41
4	13,126	2,030	2,05	0,38
5	14,859	1,964	1,98	0,43
6	16,843	1,886	1,90	0,48
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,030	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			13,126	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 1 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,030 gr/cm³ pada tingkat kadar air 13,126 % dan void rasio 0,38 dengan berat jenis 2.05.

Dibawah ini disajikan Kurva Pematatan Clay shale Lapuk Hambalang dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor **ASTM D 638** ditambah dengan pressure sebesar 14,09 kg/cm²



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah pressure 14,09 kg/cm².



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang asli dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah pressure 14,09 kg/cm².

Tabel 4.5 Data hasil uji Clay shale Lapuk dengan 0 % PC; 30 Blow/Layer + Pressure

No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	4,827	2,142	2,47	0,31
2	6,965	2,157	2,34	0,30
3	8,599	2,141	2,26	0,31
4	10,671	2,109	2,16	0,33
5	12,305	2,049	2,08	0,37
6	13,736	2,013	2,02	0,39

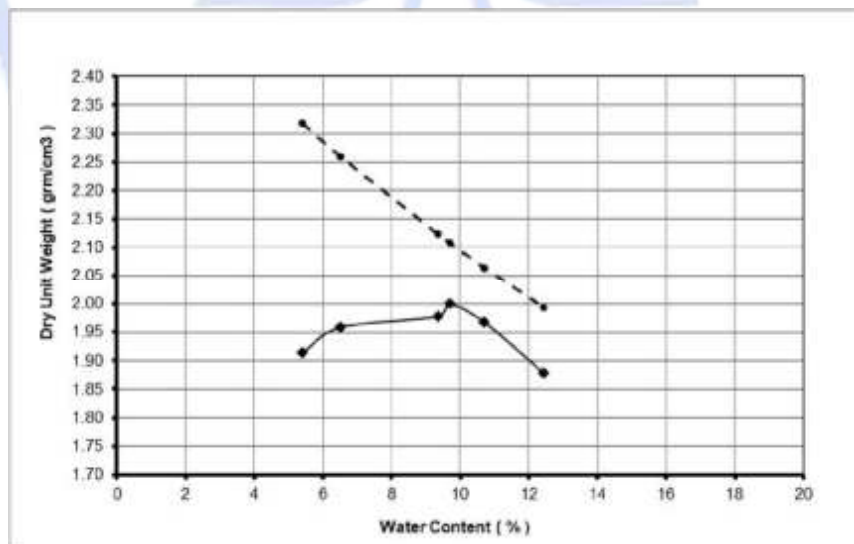
Hasil Test		
Parameter Pematatan	Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)	2,109	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})	10,671	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 4 dengan 0 % PC; 30 Blow/Layer+ Pressure diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,109 gr/cm³ pada tingkat kadar air 10,671 % dan void rasio 0,33 dengan berat jenis 2,16.

4.3.2 Parameter Pematatan *Clay Shale* Lapuk Ditambah Prosentase Semen Portland (PC)

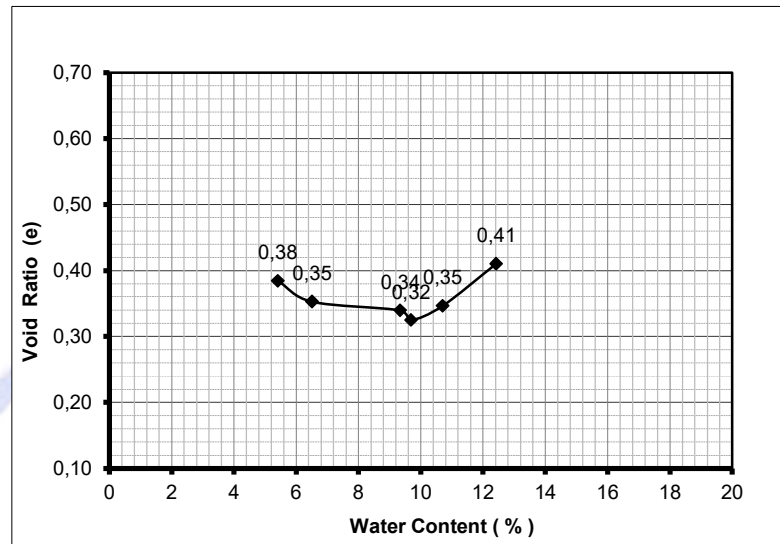
Pada pengujian ini clay shale yang telah lapuk diberikan pelakuan seluruhnya dicampur dengan beberapa variasi portland cement masing – masing diberikan sebesar 5%PC, 10% PC dan 15%PC terhadap berat kering *clay shale*. Pengujian kepadatan yang dilakukan pada penelitian ini adalah dengan memvariasikan jumlah tumbukan dengan kadar semen yang berbeda-beda.

Dibawah ini disajikan Kurva Pematatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 5%.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 10

Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.8 Grafik Perbandingan Void rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638

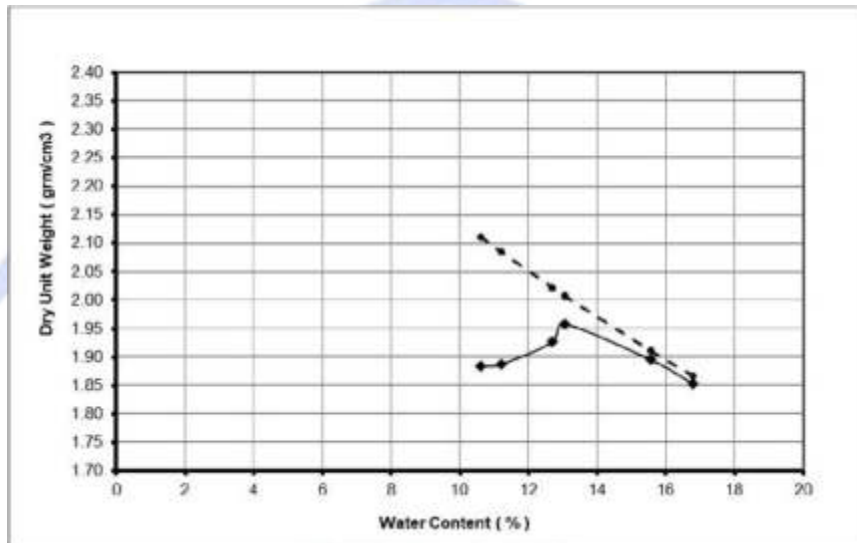
Tabel 4.6

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 5 % PC; 10 Blow/Layer

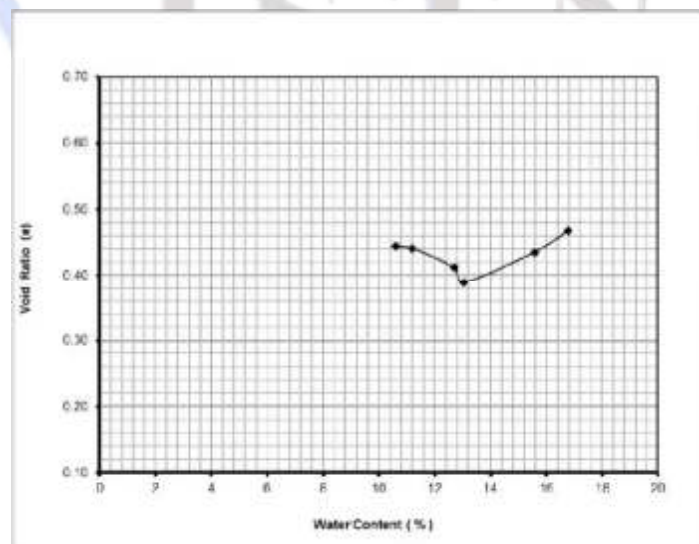
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	5,407	1,914	2,32	0,38
2	6,509	1,959	2,26	0,35
3	9,346	1,978	2,12	0,34
4	9,687	2,000	2,11	0,32
5	10,701	1,968	2,06	0,35
6	12,425	1,879	1,99	0,41
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,000	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			9,687	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 4 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,000 pada tingkat kadar air optimum 9,687 % dan void rasio 0,32 dengan Berat jenis 2,11.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 10%.



Gambar 4.9 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.10 Grafik Perbandingan Void Rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor **ASTM D 638**

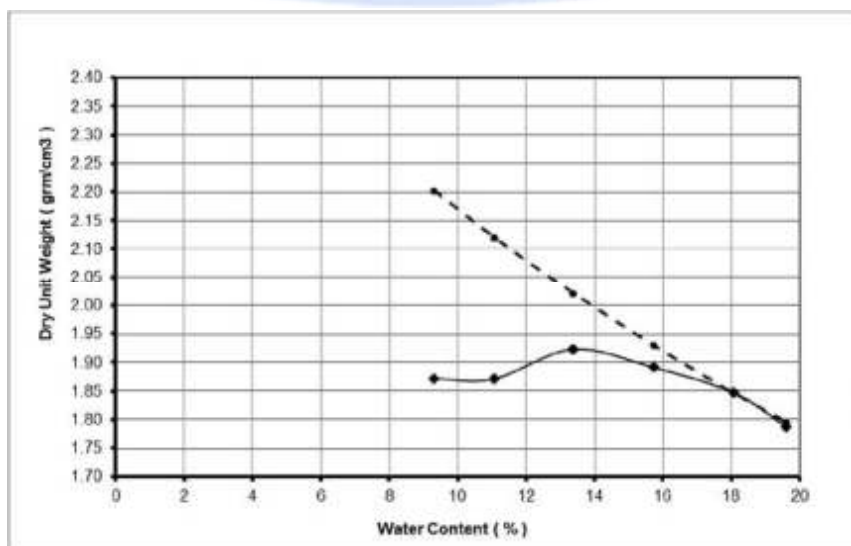
Tabel 4.7

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 10 % PC; 10 Blow/Layer

No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	10,598	1,884	2,11	0,44
2	11,198	1,888	2,08	0,44
3	12,690	1,927	2,02	0,41
4	13,047	1,959	2,01	0,39
5	15,563	1,895	1,91	0,43
6	16,781	1,854	1,87	0,47
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,959	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			13,047	%

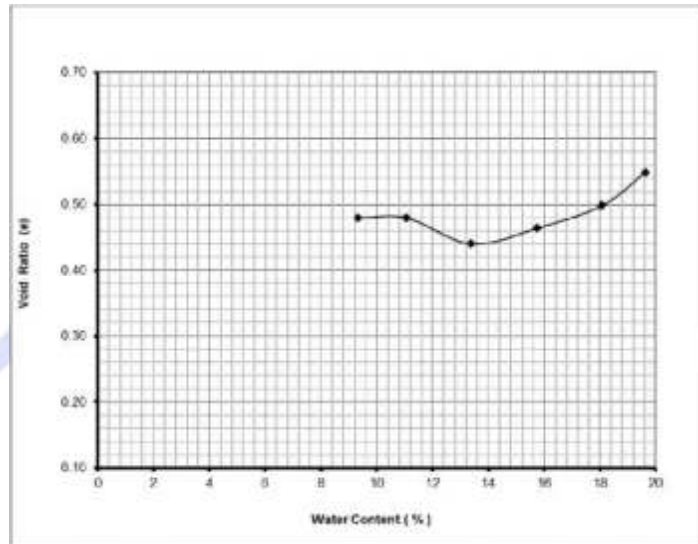
Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 4 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 1,959 pada tingkat kadar air optimum 13,047 % dan void rasio 0,39 dengan Berat jenis 2,01.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor **ASTM D 638** dan kadar semen 15%.



sional

Gambar 4.11 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638



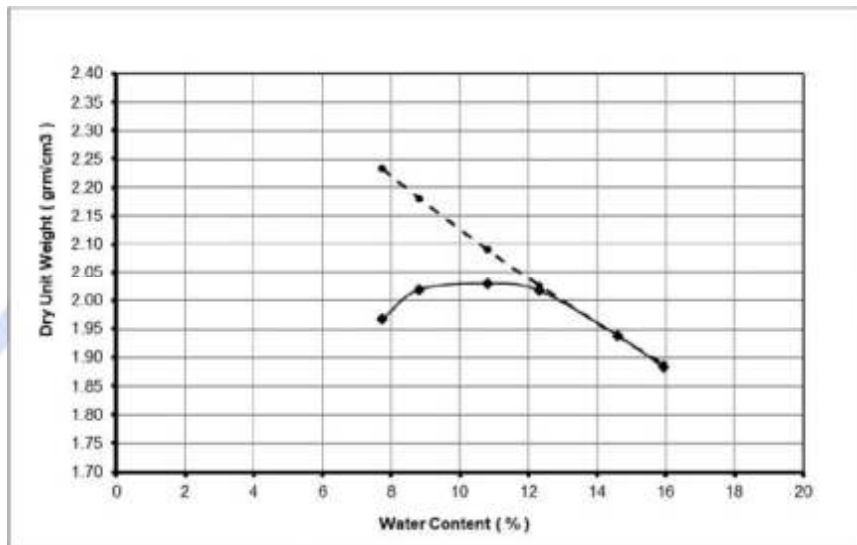
Gambar 4.12 Grafik Perbandingan Void Rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 10 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638

Tabel 4.8 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 15 % PC; 10 Blow/Layer

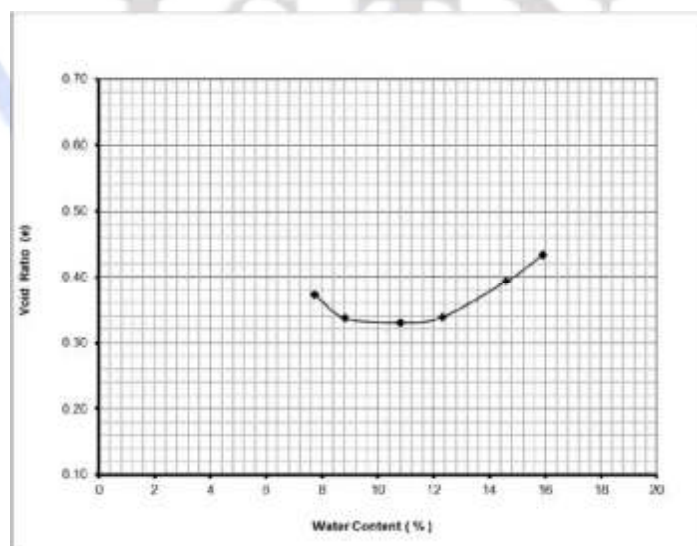
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	9,308	1,872	2,20	0,48
2	11,062	1,871	2,12	0,48
3	13,380	1,923	2,02	0,44
4	15,739	1,891	1,93	0,46
5	18,073	1,848	1,85	0,50
6	19,619	1,788	1,79	0,55
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,923	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			13,380	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 1,923 pada tingkat kadar air optimum 13,380 % dan void rasio 0,44 dengan Berat jenis 2,02.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 5%.



Gambar 4.13 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.14 Grafik Perbandingan Void Rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

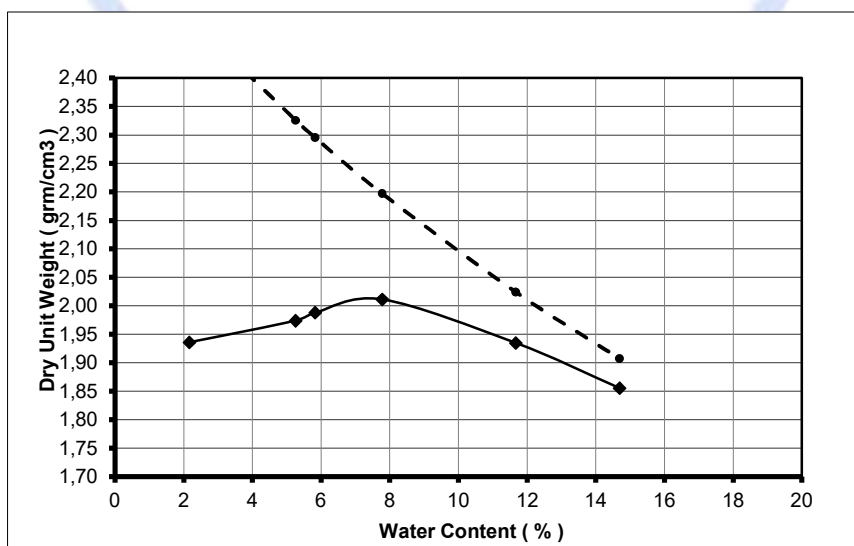
Tabel 4.9

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 5 % PC; 20 Blow/Layer

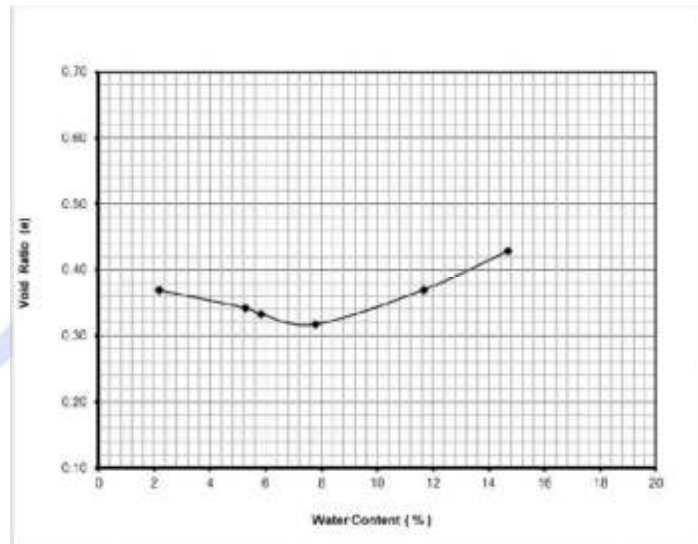
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (grm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	7,743	1,967	2,23	0,37
2	8,827	2,019	2,18	0,34
3	10,802	2,030	2,09	0,33
4	12,308	2,017	2,03	0,34
5	14,608	1,938	1,94	0,39
6	15,920	1,883	1,89	0,43
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,017	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			12,308	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 2 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,017 gr/cm³ pada tingkat kadar air optimum 12,308 % dan void rasio 0,34 dengan berat jenis 2,03.

Dibawah ini disajikan Kurva Pematatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 10%.



Gambar 4.15 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematad 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.16 Grafik Perbandingan Void Rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematad 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

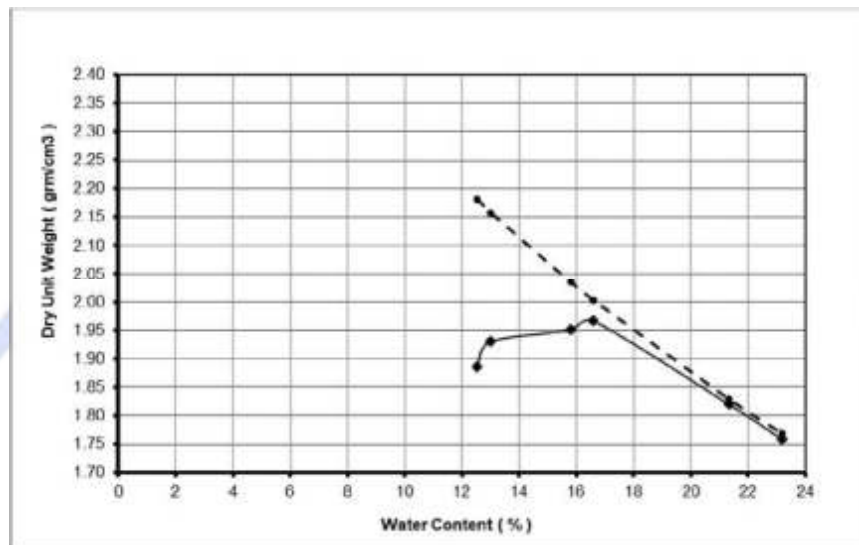
Tabel 4.10

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 10 % PC; 20 Blow/Layer

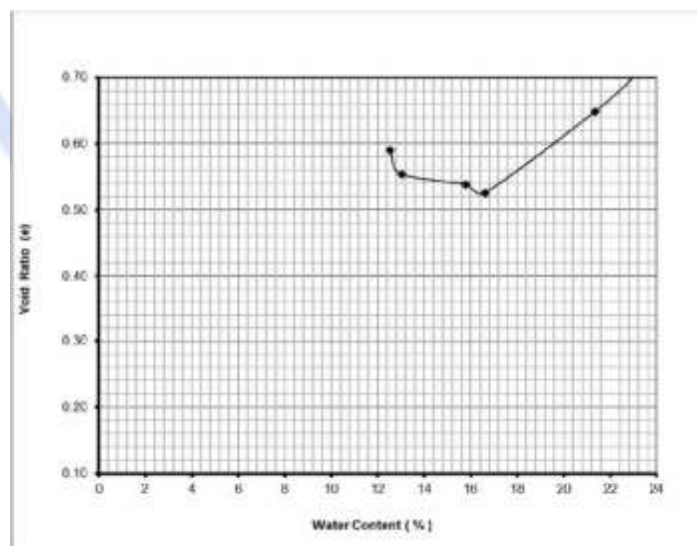
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	2,165	1,936	2,51	0,37
2	5,260	1,974	2,33	0,34
3	5,827	1,988	2,30	0,33
4	7,779	2,011	2,20	0,32
5	11,669	1,935	2,02	0,37
6	14,692	1,856	1,91	0,43
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,988	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			5,827	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai $1,988 \text{ gr/cm}^3$ pada tingkat kadar air optimum $5,827 \%$ dan void rasio $0,32$ dengan berat jenis $2,30$.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 15% .



Gambar 4.17 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.18 Grafik Perbandingan Void Rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 20 Blow/layer (SCMT) methods setara 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

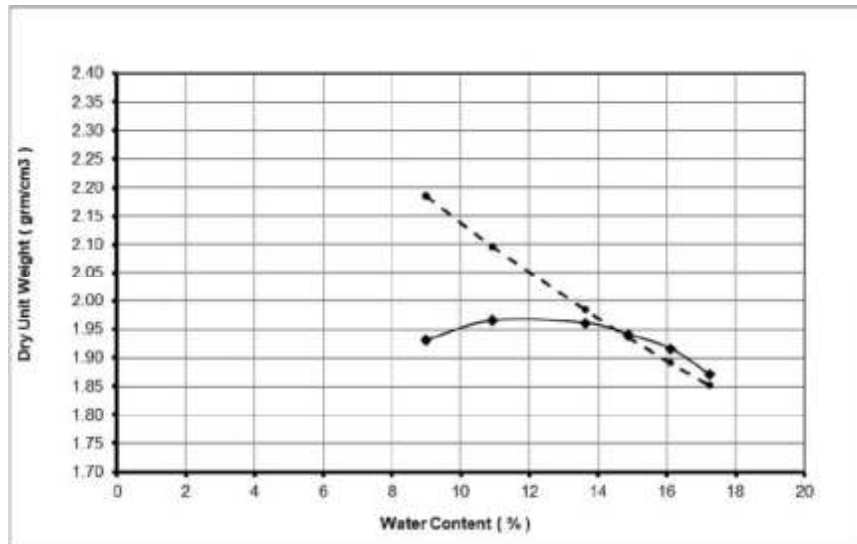
Tabel 4.11

Data hasil uji Clay shale Lapuk dengan 15 % PC; 20 Blow/Layer

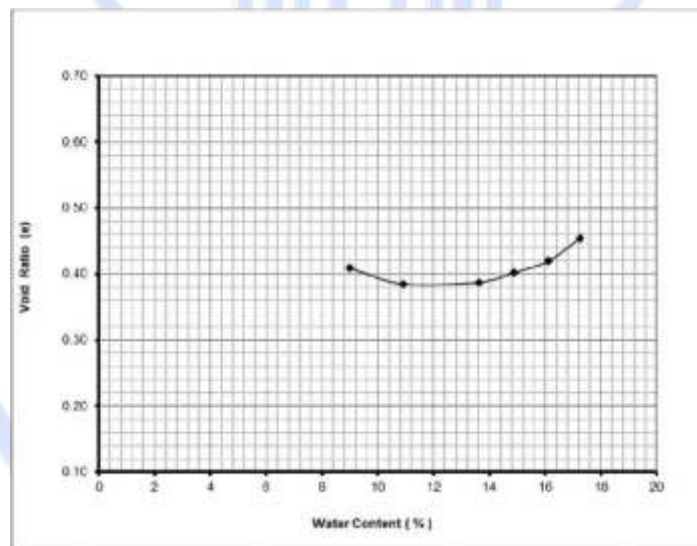
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	12,528	1,886	2,18	0,59
2	13,015	1,930	2,16	0,55
3	15,789	1,950	2,04	0,54
4	16,603	1,966	2,00	0,53
5	21,338	1,820	1,83	0,65
6	23,179	1,759	1,77	0,71
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,966	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			16,603	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 4 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 1,966 gr/cm³ pada tingkat kadar air 16,603 % dan void rasio 0,53 dengan berat jenis 2,00.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods 3 kali setara energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 5%.



Gambar 4.19 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638



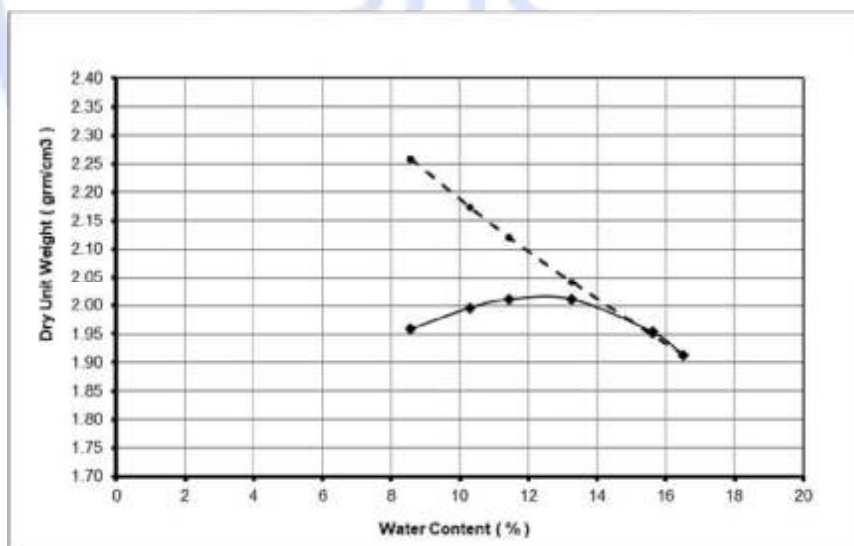
Gambar 4.20 Grafik Perbandingan Void rasio Clay Shale Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

Tabel 4.12 Data hasil uji Clay shale Lapuk dengan 5 % PC; 30 Blow/Layer

No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (grm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	8,992	1,931	2,19	0,41
2	10,927	1,965	2,10	0,38
3	13,630	1,961	1,98	0,39
4	14,884	1,940	1,94	0,40
5	16,103	1,916	1,89	0,42
6	17,239	1,871	1,85	0,45
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,965	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			10,927	%

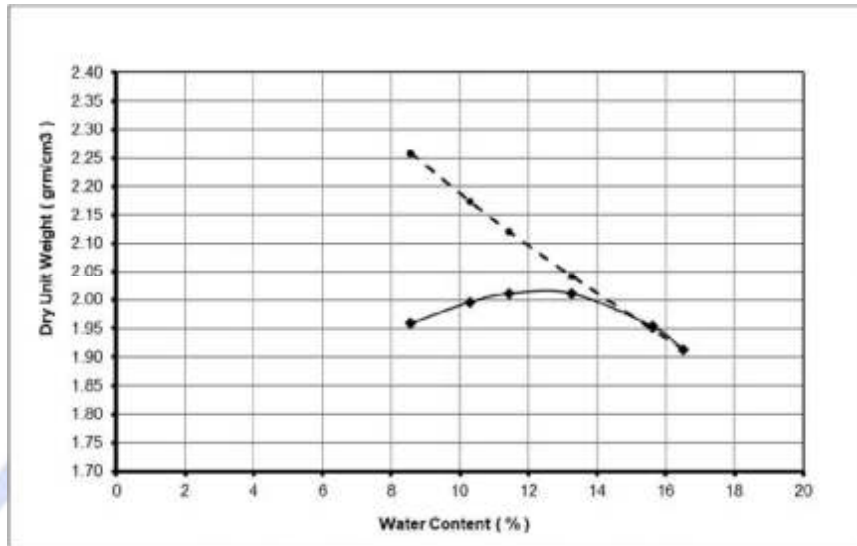
Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 2 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 1,965 gr/cm³ pada tingkat kadar air 10,927% dan void rasio 0,38 dengan berat jenis 2,10.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 10 %.



Gambar 4.21 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 30

Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor
ASTM D 638



Gambar 4.22 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

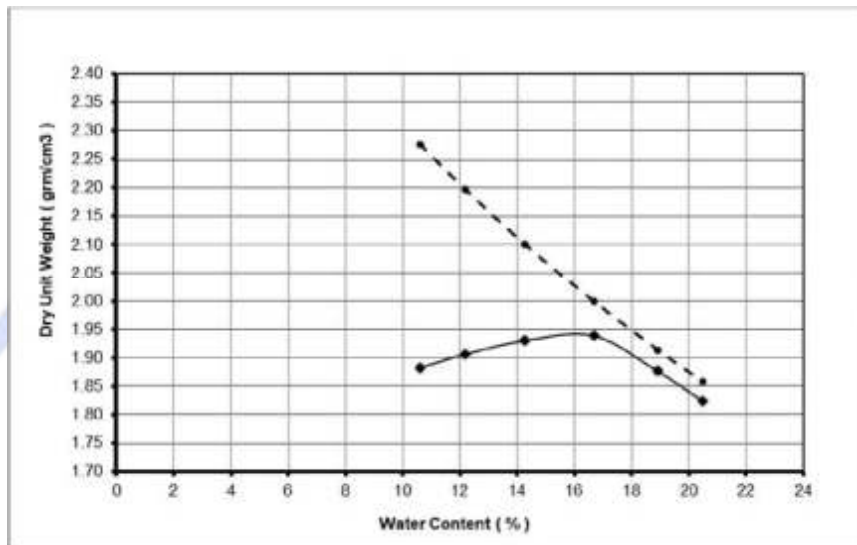
Tabel 4.13

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 10 % PC; 30 Blow/Layer

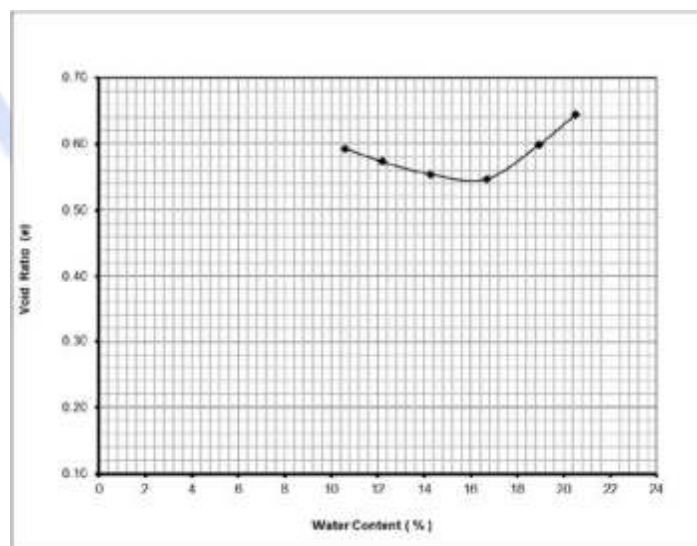
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ _d Sr=100%	Void Ratio e
1	8,561	1,958	2,26	0,43
2	10,289	1,995	2,17	0,40
3	11,444	2,010	2,12	0,39
4	13,250	2,011	2,04	0,39
5	15,607	1,954	1,95	0,43
6	16,502	1,913	1,92	0,46
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max (γ _d max)			2,011	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w _{opt})			13,250	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,011 gr/cm³ pada tingkat kadar air 13,250 % dan void rasio 0,39 dengan berat jenis 2,04.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 dan kadar semen 15 %.



Gambar 4.23 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638



Gambar 4.24 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638

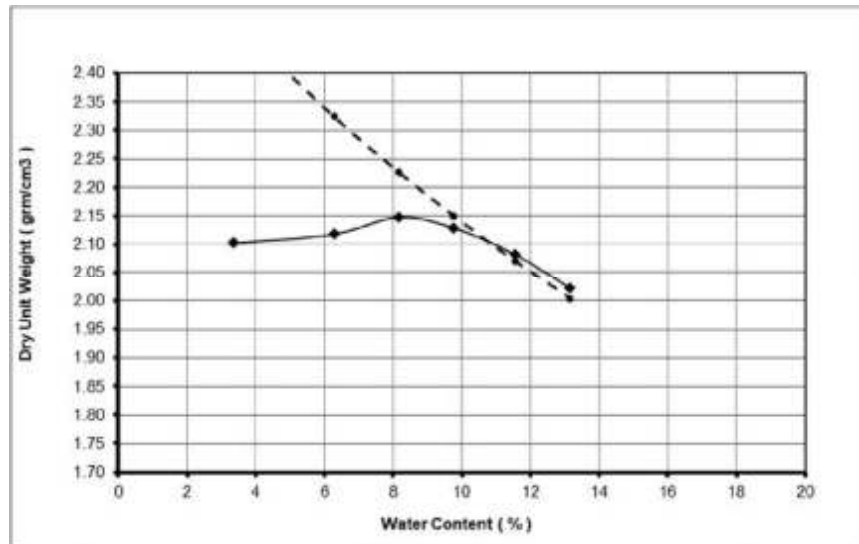
Tabel 4.14

Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 15 % PC; 30 Blow/Layer

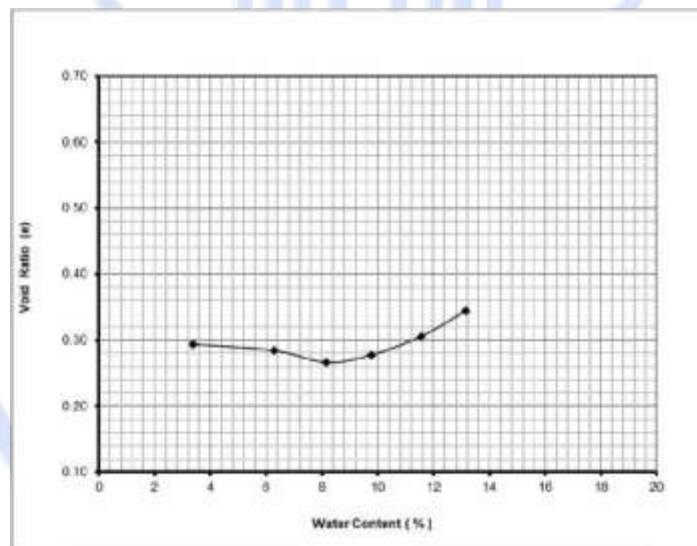
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	10,596	1,883	2,28	0,59
2	12,181	1,907	2,20	0,57
3	14,269	1,931	2,10	0,55
4	16,677	1,939	2,00	0,55
5	18,926	1,876	1,91	0,60
6	20,502	1,824	1,86	0,64
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			1,939	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			16,677	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 4 diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 1,939 gr/cm³ pada tingkat kadar air 16,677 % dan void rasio 0,55 dengan berat jenis 2,00.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah dengan *pressure* sebesar 14,09 kg/cm² dan kadar semen 5 %.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²



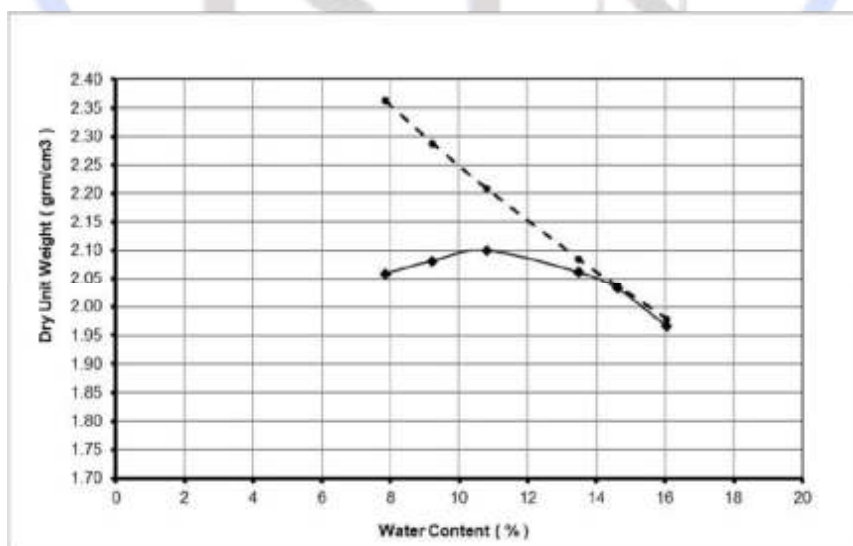
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 5% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²

Tabel 4.15 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 5 % PC; 30 Blow/Layer + *Pressure*

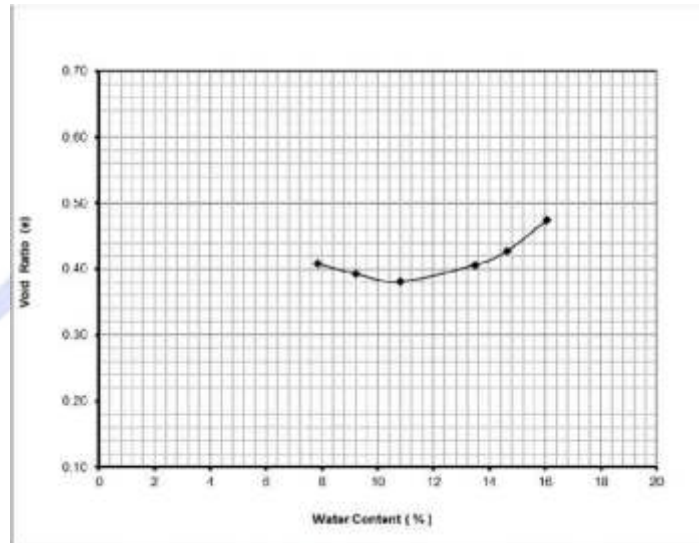
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	3,361	2,102	2,49	0,29
2	6,266	2,118	2,32	0,28
3	8,150	2,148	2,23	0,27
4	9,760	2,129	2,15	0,28
5	11,550	2,083	2,07	0,31
6	13,149	2,023	2,00	0,34
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,148	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			8,150	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 dengan 5 % PC; 30 Blow/Layer + *Pressure* diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,148 gr/cm³ pada tingkat kadar air 8,150 % dan void rasio 0,27 dengan berat jenis 2,23 dengan berat jenis 2,23.

Dibawah ini disajikan Kurva Pematatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah dengan pressure sebesar 14,09 kg/cm² dan kadar semen 10 %.



Gambar 4.25 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²



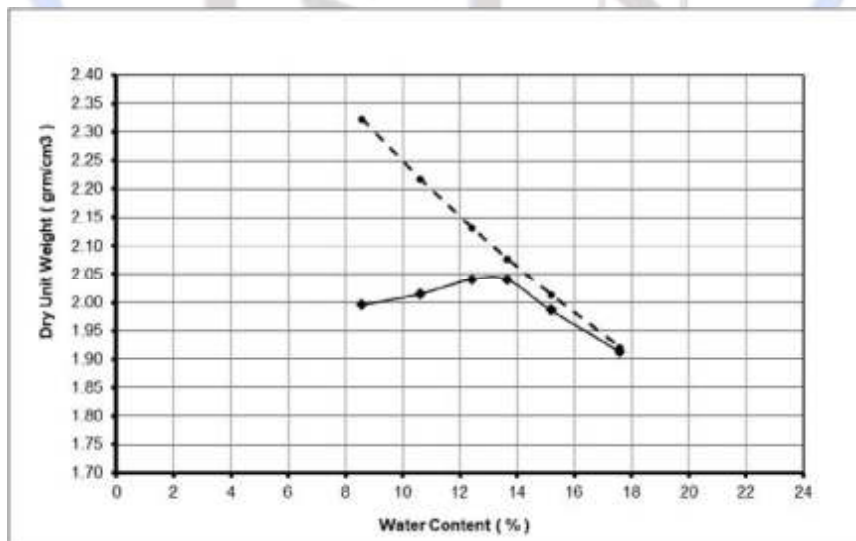
Gambar 4.26 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 10% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²

Tabel 4.16 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 10 % PC; 30 Blow/Layer + *Pressure*

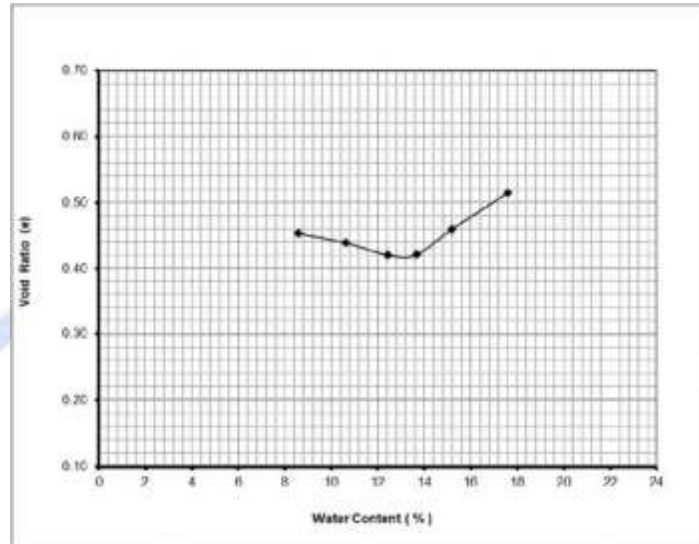
No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gr/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	7,850	2,060	2,36	0,41
2	9,221	2,082	2,29	0,39
3	10,799	2,100	2,21	0,38
4	13,473	2,062	2,09	0,41
5	14,618	2,032	2,04	0,43
6	16,060	1,967	1,98	0,47
Hasil Test				
Parameter Pemadatan			Nilai	
Berat isi Kering max ($\gamma_{d \max}$)			2,100	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			10,799	%

Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 dengan 10 % PC; 30 Blow/Layer + *Pressure* diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,100 gr/cm³ pada tingkat kadar air 10,799 % dan void rasio 0,38 dengan berat jenis 2,21.

Dibawah ini disajikan Kurva Pemadatan *Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pemadat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah dengan *pressure* sebesar 14,09 kg/cm² dan kadar semen 15 %.



Gambar 4.27 Grafik Perbandingan Dry Unit Weight *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²



Gambar 4.28 Grafik Perbandingan Void rasio *Clay Shale* Lapuk Hambalang di tambah 15% PC dan variasi kadar air dengan energi pematat 30 Blow/layer (SCMT) methods setara 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 638 ditambah *pressure* 14,09 Kg/cm²

Tabel 4.17 Data hasil uji *Clay shale* Lapuk dengan 15 % PC; 30 Blow/Layer + *Pressure*

No	Kadar Air (%)	Berat Isi Kering (gm/cm ³)	Gs	2,65
			γ_d Sr=100%	Void Ratio e
1	8,565	1,995	2,32	0,45
2	10,617	2,015	2,22	0,44
3	12,432	2,041	2,13	0,42
4	13,660	2,040	2,08	0,42
5	15,182	1,987	2,01	0,46
6	17,586	1,914	1,92	0,52
Hasil Test				
Parameter Pematatan			Nilai	
Berat isi Kering max (γ_d max)			2,041	gr/cm ³
Kadar air Optimum (w_{opt})			12,432	%

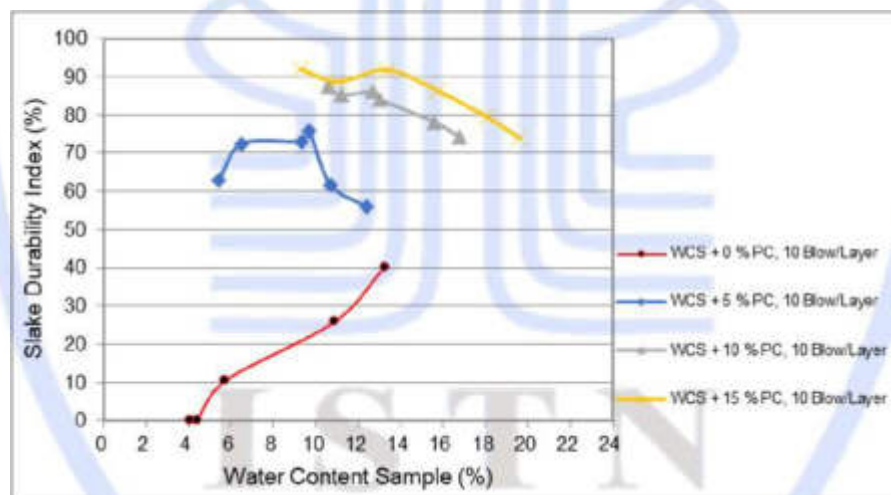
Dari grafik dan tabel diatas dapat dilihat bahwa pada pengujian ke 3 dengan 15 % PC; 30 Blow/Layer+ Pressure diperoleh hasil berat isi kering maksimal dengan nilai 2,041 gr/cm³ pada tingkat kadar air 12,432 % dan void rasio 0,42 dengan berat jenis 2,13.

4.4 Pengaruh Energi Pematat Terhadap *Slake Durability Index*

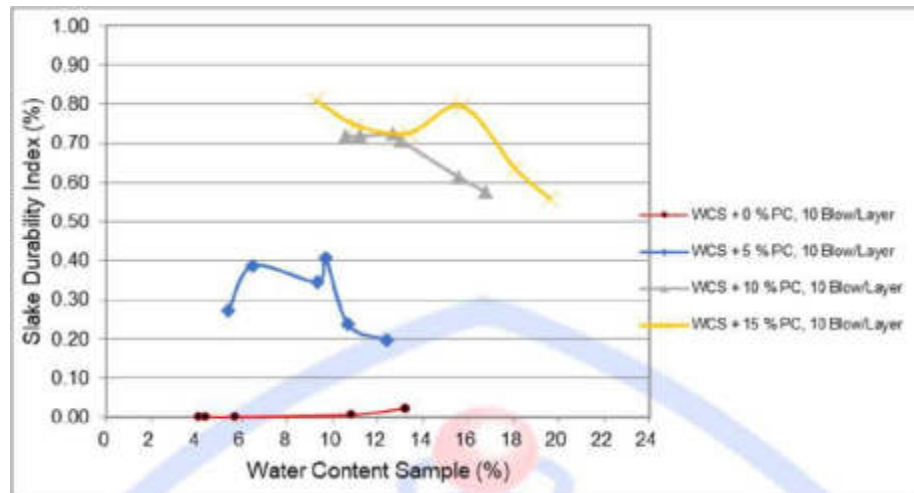
Uji *slake durability index* dilakukan dengan 2 siklus baik itu untuk *clay shale* hambalang asli, maupun dengan penambahan 5%, 10%, 15% semen *Portland* (PC) dengan variasi penambahan air.

4.4.1 Nilai *Slake Durability Indeks* pada *Clay Shale* Lapuk yang Dipadatkan Metoda SCMT dengan Energi 10 Blow/Layer

Dibawah ini disajikan Tabel dan kurva nilai *Slake Durability Index Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 10 Blow/layer SCMT methods setara dengan energi Modified Proctor ASTM D 1158.



Gambar 4.29 Pengaruh energi pematat metode SCMT 10 blow/layer terhadap perubahan *Slake Durability Index* pada siklus ke-1



Gambar 4.30 Pengaruh energi pematat metode SCMT 10 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2

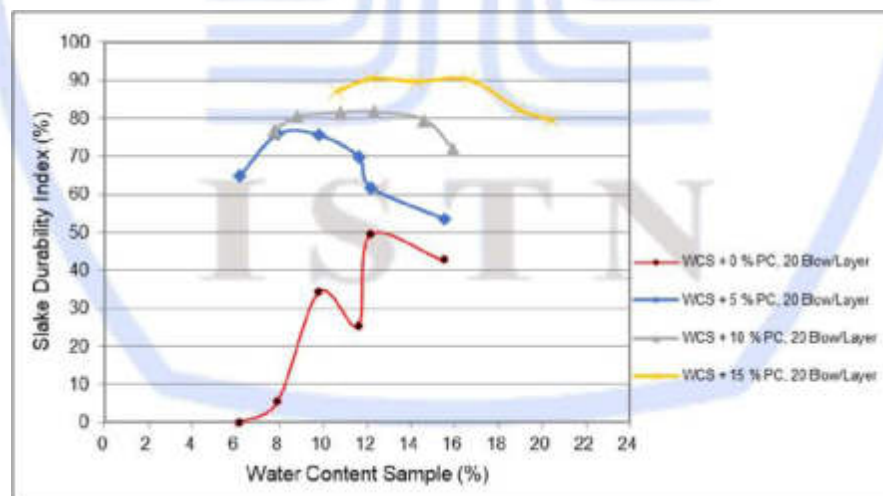
Tabel 4.18 Hasil SDI clay shale lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 10 blow/layer (setara dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Portland Cement.

Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³
1	0	10 ~Mod.C	1	0.00	0.00	10.44	25.93	40.17	31.37
			2	0.00	0.00	0.00	0.01	0.02	0.00
1	5	10 ~Mod.C	1	62.77	72.51	73.09	75.75	61.70	55.86
			2	0.27	0.39	0.35	0.41	0.24	0.20
1	10	10 ~Mod.C	1	87.54	85.23	86.15	84.09	78.18	74.10
			2	0.72	0.72	0.72	0.71	0.61	0.58
1	15	10 ~Mod.C	1	92.00	88.66	91.74	86.36	79.50	73.96
			2	0.81	0.75	0.73	0.80	0.64	0.56

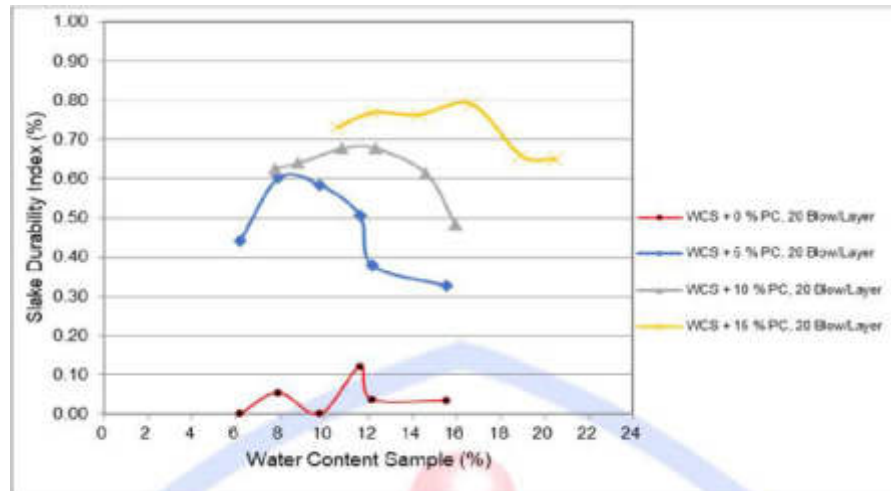
Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan energi pematat 10 blow/layer pada tanah *Clay Shale* Hambalang asli dengan diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1.94 t/m³ pada tingkat kadar air 13.22 % dan nilai *slake durability index* 40,17 % pada *cycle* 1 dan 0.02 % pada *cycle* ke 2. Penambahan semen *Portland* 5 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,00 t/m³ pada tingkat kadar air 9,69 % dan nilai *slake durability index* 75,75 % pada *cycle* 1 dan 0.41 % pada *cycle* ke 2. Penambahan semen *Portland* 10 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1,88 t/m³ pada tingkat kadar air 10,66 % dan nilai *slake durability index* 87,54 % pada *cycle* 1 dan 0.72 % pada *cycle* ke 2. Penambahan semen *Portland* 15 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1,87 t/m³ pada tingkat kadar air 9,31 % dan nilai *slake durability index* 92,00 % pada *cycle* 1 dan 0.81 % pada *cycle* ke 2.

4.4.2 Nilai *Slake Durability Indeks* pada *Clay Shale* Lapuk yang Dipadatkan Metoda SCMT dengan Energi 20 Blow/Layer

Dibawah ini disajikan Tabel dan kurva nilai *Slake Durability Index Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 20 Blow/layer SCMT methods setara dengan 2 kali energi Modified Proctor ASTM D 1158.



Gambar 4.31 Pengaruh energi pematat metode SCMT 20 blow/layer terhadap perubahan *Slake Durability Index* pada siklus ke-1



Gambar 4.32 Pengaruh energi pematid metode SCMT 20 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2

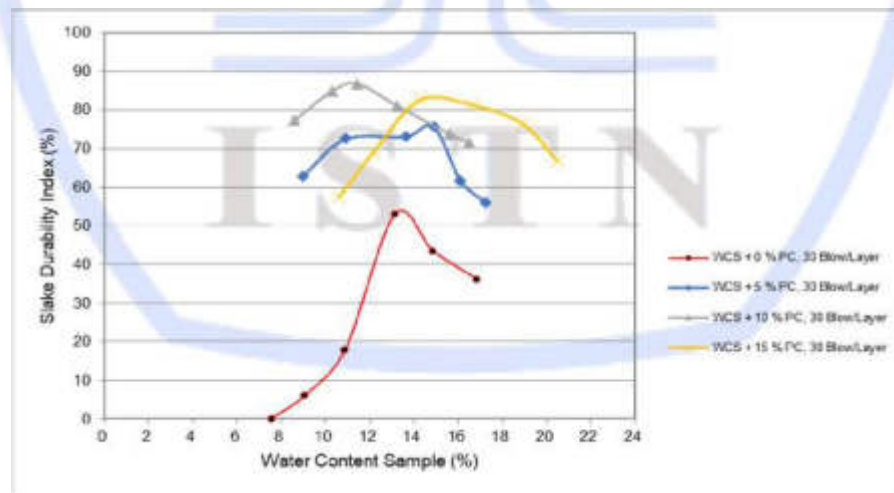
Tabel 4.19 Hasil SDI clay shale lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 20 blow/layer (setara 2 kali dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase semen *Portland*.

Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				6.17	7.92	9.81	11.61	12.17	15.53
			γ_d t/m ³	1.98	2.06	2.07	2.05	2.01	1.90
1	0	20	1	0.00	5.43	34.34	25.33	49.40	42.57
2	0	20	2	0.00	0.05	0.00	0.12	0.04	0.03
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				6.17	7.92	9.81	11.61	12.17	15.53
			γ_d t/m ³	1.98	2.06	2.07	2.05	2.01	1.90
1	5	20	1	64.75	75.76	75.45	69.68	61.71	53.43
2	5	20	2	0.44	0.60	0.58	0.51	0.38	0.33
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				7.74	8.83	10.80	12.31	14.61	15.92
			γ_d t/m ³	1.97	1.99	2.01	2.01	1.94	1.88
1	10	20	1	76.87	80.50	81.49	81.64	79.50	71.77
2	10	20	2	0.63	0.64	0.68	0.68	0.61	0.48
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				10.60	12.18	14.27	16.68	18.93	20.50
			γ_d t/m ³	1.88	1.91	1.93	1.95	1.88	1.82
1	15	20	1	86.93	90.39	89.68	90.11	82.35	79.33
2	15	20	2	0.73	0.77	0.76	0.79	0.66	0.65

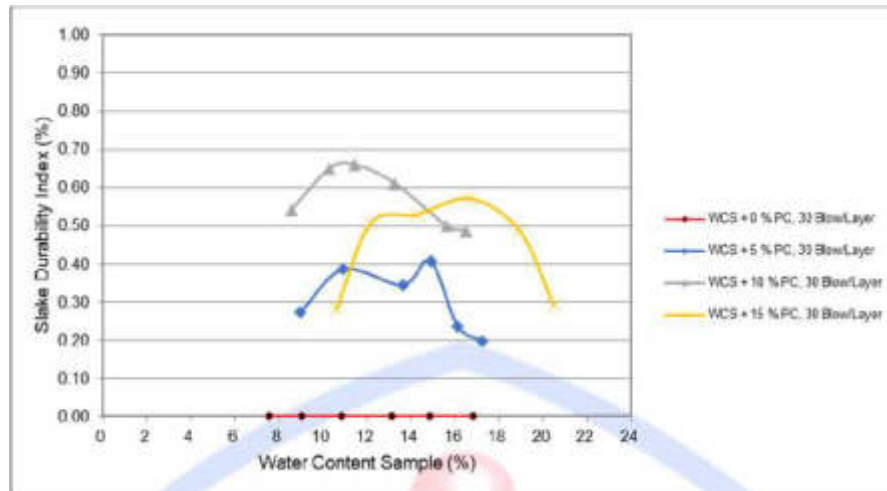
Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan energi pematat 20 blow/layer pada tanah *Clay Shale* Hambalang asli dengan diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,01 t/m³ pada tingkat kadar air 12,17 % dan nilai slake durability index 49,40 % pada cycle 1 dan 0,04 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 5 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,06 t/m³ pada tingkat kadar air 7,92 % dan nilai slake durability index 75,76 % pada cycle 1 dan 0,6 % pada cycle ke 2. Penambahan semen Portland 10 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,01 t/m³ pada tingkat kadar air 12,31 % dan nilai slake durability index 81,64 % pada cycle 1 dan 0,68 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 15 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1,91 t/m³ pada tingkat kadar air 12,18 % dan nilai slake durability index 90,39 % pada cycle 1 dan 0,77 % pada cycle ke 2.

4.4.3 Nilai *Slake Durability Indeks* pada *Clay Shale* Lapuk yang Dipadatkan Metoda SCMT dengan Energi 30 Blow/Layer

Dibawah ini disajikan Tabel dan kurva nilai *Slake Durability Index Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 30 Blow/layer SCMT methods setara dengan 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1158. Hasilnya diperlihatkan dibawah ini :



Gambar 4.33 Grafik Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1



Gambar 4.34 Pengaruh energi pemadat metode SCMT 30 blow/layer terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2

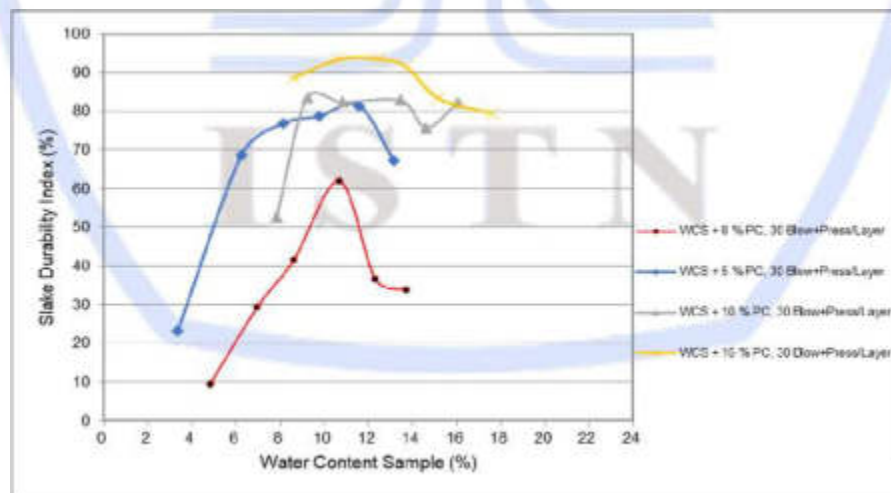
Tabel 4.20 Hasil SDI clay shale lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 30 blow/layer (setara 3 kali dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Portland Cement.

Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				7.55	9.08	10.88	13.13	14.86	16.84
			γ_d t/m ³	1.97	1.98	2.02	2.08	1.96	1.89
1	0	30	1	0.00	6.15	17.86	52.95	43.42	36.05
2	0	30	2	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				8.99	10.93	13.63	14.88	16.10	17.24
			γ_d t/m ³	1.93	1.96	2.03	1.94	1.92	1.87
1	5	30	1	62.77	72.51	73.09	75.75	61.70	55.86
2	5	30	2	0.27	0.39	0.35	0.41	0.24	0.20
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				8.56	10.29	11.44	13.25	15.61	16.50
			γ_d t/m ³	1.96	2.00	2.01	2.03	1.95	1.91
1	10	30	1	77.25	84.83	86.71	80.99	73.90	71.56
2	10	30	2	0.54	0.65	0.66	0.61	0.50	0.49
Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				10.60	12.18	14.27	16.68	18.93	20.50
			γ_d t/m ³	1.88	1.91	1.93	1.95	1.88	1.82
1	15	30	1	57.46	69.20	82.58	81.21	76.37	66.75
2	15	30	2	0.28	0.51	0.53	0.57	0.49	0.29

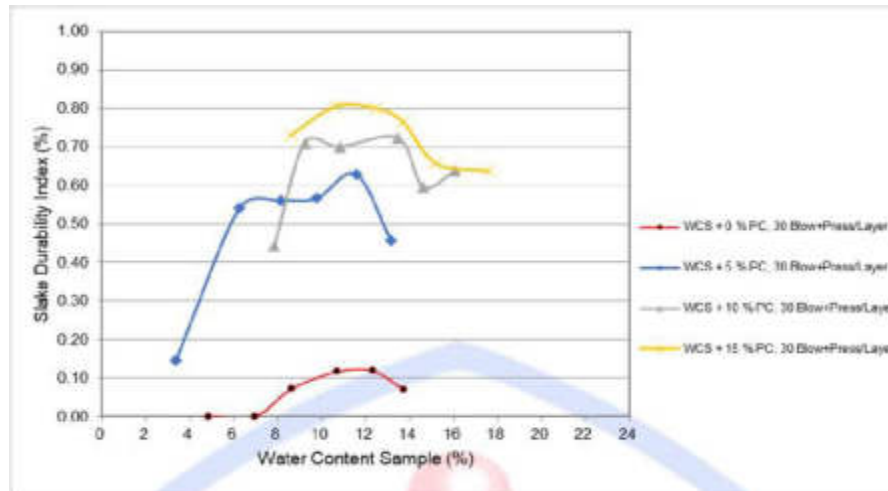
Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan energi pematat 30 blow/layer pada tanah *Clay Shale* Hambalang asli dengan diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,08 t/m³ pada tingkat kadar air 13,13 % dan nilai slake durability index 52,95 % pada cycle 1 dan 0.00 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 5 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1,94 t/m³ pada tingkat kadar air 14,88 % dan nilai slake durability index 75,75 % pada cycle 1 dan 0,41 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 10 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,01 t/m³ pada tingkat kadar air 11,44 % dan nilai slake durability index 86,71 % pada cycle 1 dan 0.66 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 15 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 1,93 t/m³ pada tingkat kadar air 14,27 % dan nilai slake durability index 82,58 % pada cycle 1 dan 0.53 % pada cycle ke 2.

4.4.4 Nilai *Slake Durability Indeks* pada *Clay Shale* Lapuk yang Dipadatkan Metoda SCMT dengan Energi 30 Blow/Layer + Pressure 14,09 kg/cm³

Dibawah ini disajikan Tabel dan kurva nilai *Slake Durability Index Clay shale* Lapuk Hambalang dengan energi pematat 30 Blow/layer SCMT methods + Pressure 14,09 Kg/cm³ setara dengan 3 kali energi Modified Proctor ASTM D 1158. Hasilnya diperlihatkan diawah ini :



Gambar 4.35 Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer + Pressure terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-1

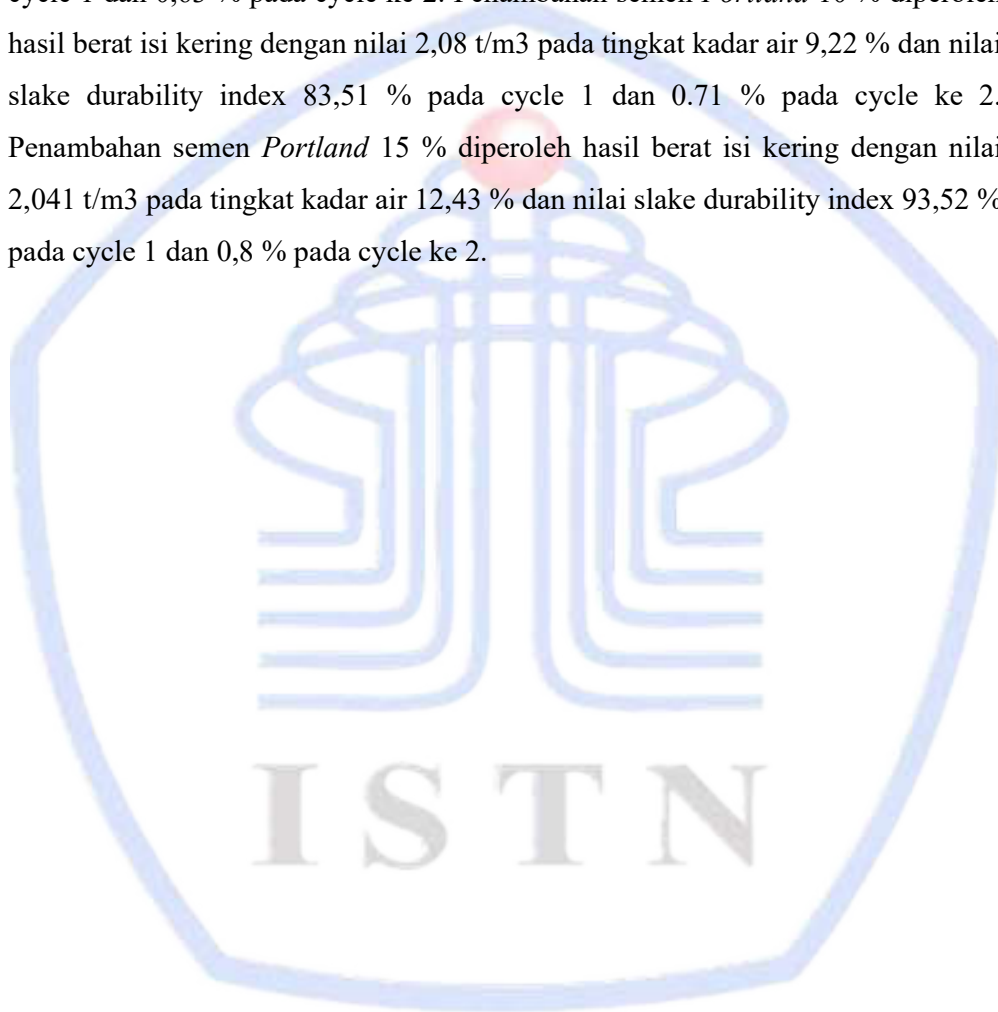


Gambar 4.36 Pengaruh energi pematat metode SCMT 30 blow/layer + *Pressure* terhadap perubahan Slake Durability Index pada siklus ke-2

Tabel 4.21 Hasil SDI clay shale lapuk yang dipadatkan dengan metode SCMT dengan energi 30 blow/layer (setara 3 kali dengan ASTM D 1557) tanpa dan dengan penambahan prosentase Portland Cement + *Pressure*.

Slake Durability Index	% PC	Blow/Layer	Cycle	Wn-1	Wn-2	Wn-3	Wn-4	Wn-5	Wn-6
				γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³	γ_d t/m ³
1	0	30+Press	1	9.42	29.36	41.37	61.85	36.61	33.66
			2	0.00	0.00	0.07	0.12	0.12	0.07
1	5	30+Press	1	23.15	68.75	76.78	78.62	81.40	67.22
			2	0.15	0.54	0.56	0.57	0.63	0.46
1	10	30+Press	1	52.68	83.51	82.37	82.83	75.78	82.29
			2	0.44	0.71	0.70	0.72	0.60	0.64
1	15	30+Press	1	88.56	93.38	93.52	91.68	83.30	79.48
			2	0.73	0.81	0.80	0.77	0.66	0.64

Dari tabel dan grafik diatas dapat dilihat bahwa dengan energi pemadat 30 blow/layer + *Pressure* pada tanah *Clay Shale* Hambalang asli dengan diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,11 t/m³ pada tingkat kadar air 10,67 % dan nilai slake durability index 61,85 % pada cycle 1 dan 0.12 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 5 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,08 t/m³ pada tingkat kadar air 11,55 % dan nilai slake durability index 81,40 % pada cycle 1 dan 0,63 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 10 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,08 t/m³ pada tingkat kadar air 9,22 % dan nilai slake durability index 83,51 % pada cycle 1 dan 0.71 % pada cycle ke 2. Penambahan semen *Portland* 15 % diperoleh hasil berat isi kering dengan nilai 2,041 t/m³ pada tingkat kadar air 12,43 % dan nilai slake durability index 93,52 % pada cycle 1 dan 0,8 % pada cycle ke 2.



BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1.1 Kesimpulan

Pada bab ini, kesimpulan dibuat berdasarkan hasil penelitian serta analisis dan pembahasan pada tanah *clay shale* Hambalang lapuk yang selanjutnya dipadatkan dengan variasi energi dan distabiliasi dengan semen portland (5%PC, 10%PC dan 15%PC) memperlihatkan peningkatan slake durability indeks.

Pada sampel dengan tambahan 15% PC dan dengan energi 30 blow + Pressure menunjukkan Nilai Slake Durability Indeks yang paling tinggi yaitu sebesar 93,52 %. 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 serta hasil penelitian didapatkan yaitu :

1. Untuk campuran tanah *clay shale* yang telah lapuk dapat menggunakan 15% dan energi 30 Blow+pressure per layer.
2. Perlu dilanjutkan penelitian Kembali dengan menggunakan bahan aditif yang berbeda.

DAFTAR PUSTAKA

- 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, 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, 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, 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).
- 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
- 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.*
- 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*
- Redyananda, A. K.** (2021) Pengaruh Semen Portland terhadap Ketahanan Tanah *Clay Shale* yang telah Mengalami Pelapukan (studi Kasus : *Clay Shale*, Cariu, Jonggol), Tesis, ISTN, Jakarta
- 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.*
- 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.
- 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** (1967). *Soil Mechanics in Engineering Practice. 2nd Edition. A Wiley. International Edition. John Wiley & Sons. Inc. New York. London. Sydney.*
- 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** (1936). *A Fundamental Fallacy in Earth Pressure Computations. Journal Boston Soc. Civil Engrs., Vol, 23 pp. 71-88.*
- Vargas, M** (1953). *Some engineering properties of residual clay soils occurring in Southern Brazil. Proc. 3rd Int. Conf. on Soil Mech. and Found. Eng., Zurich, VI, p. 67.*
- Widjaja. B** (2008). *Engineering characteristics of Bukit Sentul Clay Shale based on laboratory and in situ tests. Geotechnical and Geophysical Site Characterization – Huang & Mayne (eds) Taylor & Francis Group, London, p. 1231-1237.*
- Widjaja, B and Rahardjo, P.P** (2002). *Karakteristik Clay Shale di Bukit Sentul, Bogor, dan Pertimbangan untuk Stabilitas Lereng. Prosiding Seminar Nasional SLOPE- 2002, Bandung, pp. 99-114.*
- Walkinshaw, J.L., and Santi, P.M** (1996). *Landslides Investigation and Mitigation, Special Report 247, Chapter 21: Shales and other Degradable Materials. Transportation Research Board, National Research Cou*
- 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.*
- ASTM (American Society for Testing and Material) D 698. Standard Test Method for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Ussing 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.**
- Das, Braja M.** (1995). *Mekanika Tanah I. Erlangga. Jakarta.*
- Bowles, Joseph E.** (1986). *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika tanah). Erlangga. Jakarta.*
- Hardiyatmo, Hary C.** (2017). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan jalan. Gadjah Mada University Press. Jogjakarta.*

Lampiran A
Objek dan Lokasi Penelitian



Lampiran A.1 – Objek Penelitian

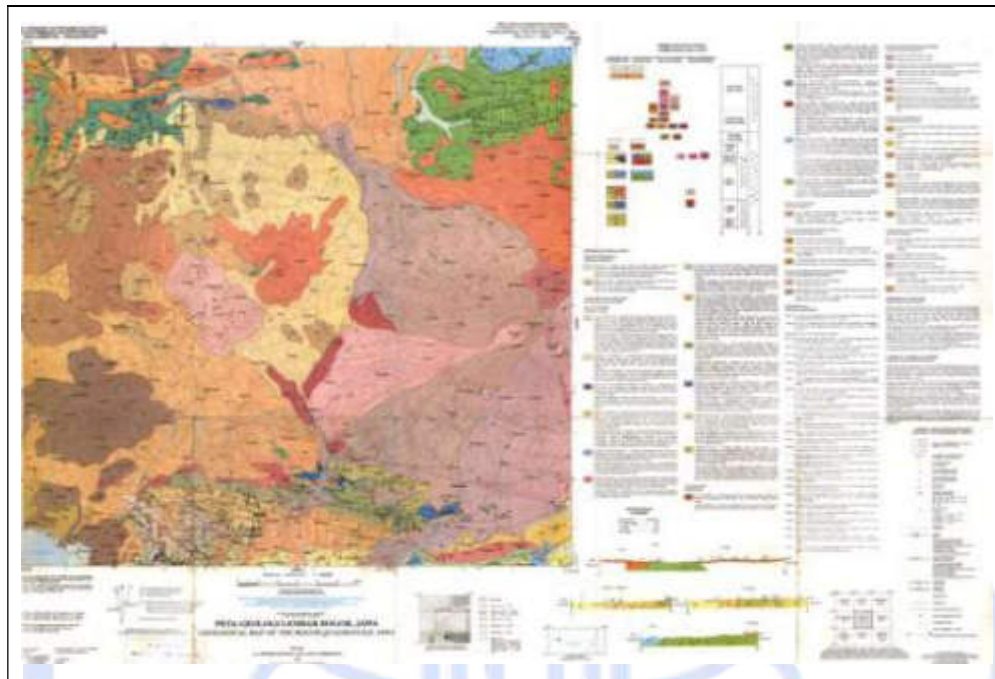


Tipe *Clay Shale*

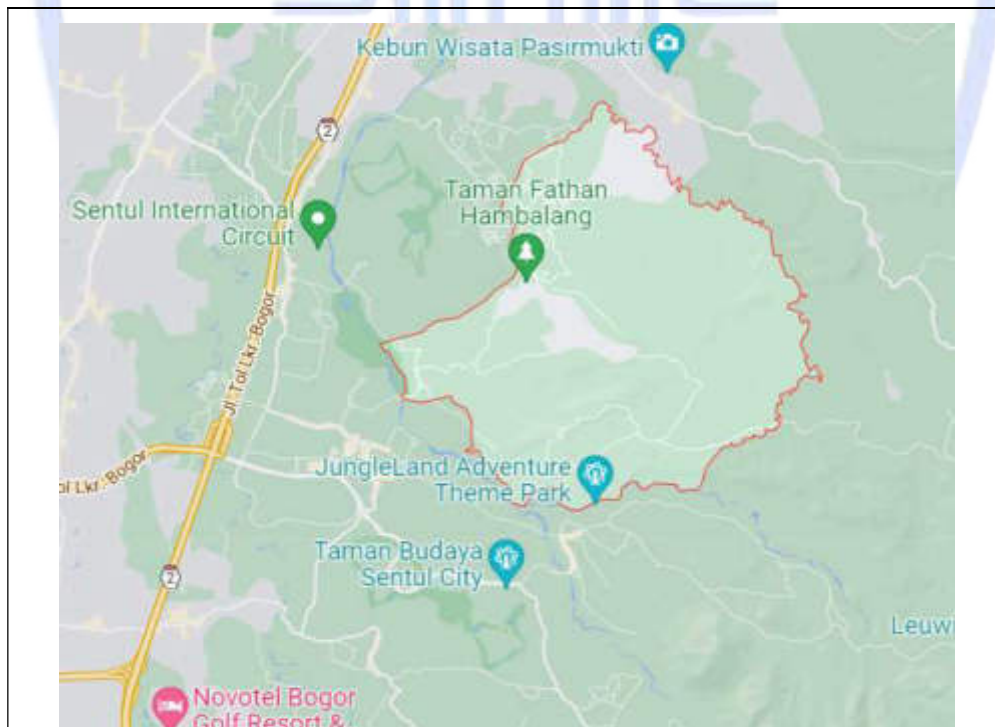


Tipe *Clay Shale*

Lampiran A.1 – Objek Penelitian

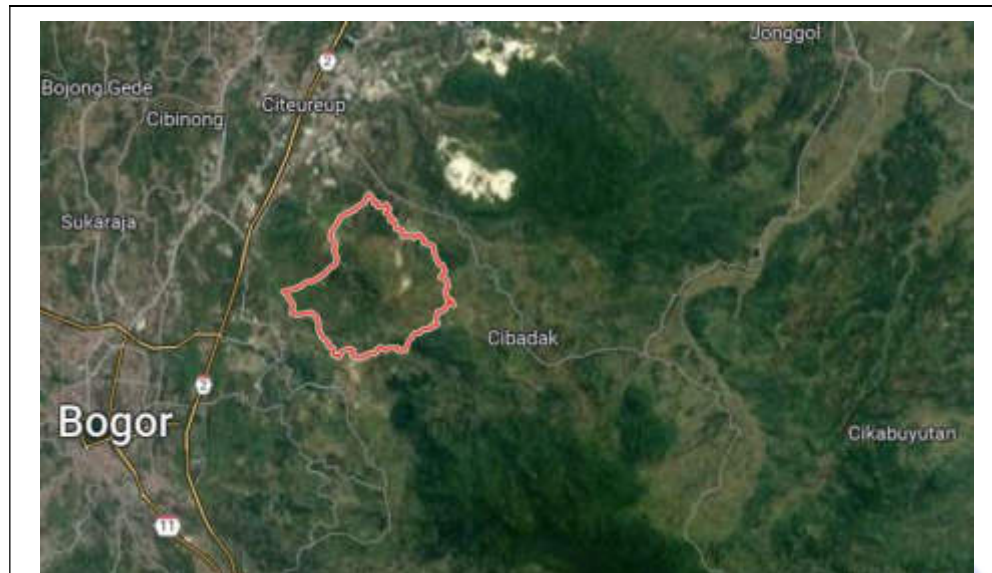


Peta Geologi Batuan Daerah Bogor

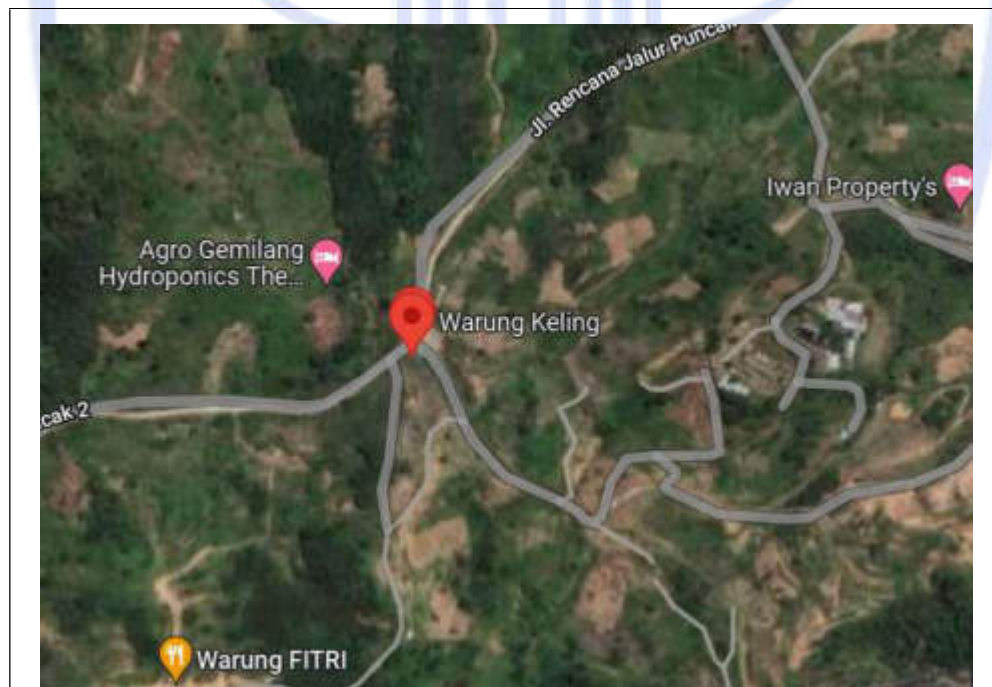


Peta Daerah Hambalang, Bogor

Lampiran A.2 – Lokasi Penelitian



Peta Google Earth Daerah Hambalang Bogor



Peta Google Earth Lokasi Penelitian di Hambalang Bogor

Lampiran A.3 – Pengambilan Sampel Penelitian



Pengambilan Sampel



Contoh Sampel di Lokasi Pengambilan

Lampiran A.4 – Dokumentasi Pengujian di Laboratorium

Lampiran A.4 – Dokumentasi Pengujian di Laboratorium

Lampiran B

Instrumen Penelitian



Lampiran B.1 – Peralatan Laboratorium