

**ANALISIS PENGARUH PENCAMPURAN SEMEN SEBAGAI
BAHAN STABILISASI TANAH GAMBUT TERHADAP NILAI
CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)**

SKRIPSI

Disusun Oleh :

RIOS FIRMANSYAH

148110009



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MEDAN AREA
2021**

UNIVERSITAS MEDAN AREA

© Hak Cipta Di Lindungi Undang-Undang

1. Dilarang Mengutip sebagian atau seluruh dokumen ini tanpa mencantumkan sumber
2. Pengutipan hanya untuk keperluan pendidikan, penelitian dan penulisan karya ilmiah
3. Dilarang memperbanyak sebagian atau seluruh karya ini dalam bentuk apapun tanpa izin Universitas Medan Area

Document Accepted 14/12/21

Access From (repository.uma.ac.id)14/12/21

LEMBAR PENGESAHAN

ANALISIS PENGARUH PENCAMPURAN SEMEN SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH GAMBUT TERHADAP NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)

diajukan Sebagai Salah Satu untuk Menyelesaikan
Program Studi Strata I (S1) pada Jurusan Teknik Sipil
Universitas Medan Area

Disusun Oleh:

RIOS FIRMANSYAH

148110057

Disetujui Oleh:

Pembimbing I


Ir. Kamaluddin Lubis, MT

Pembimbing II


Ir. Amsuardiman, MT

Dekan


Dr. Ir. Dina Maizana, MT

Ka. Prodi Sipil


Susilawati, S.Kom, M.Kom

LEMBAR PERNYATAAN

Saya menyatakan bahwa skripsi yang saya susun, sebagai syarat memperoleh gelar sarjana merupakan hasil karya tulis saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan skripsi ini yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah ditulis sumbernya secara jelas dengan norma, kaidah dan etika penulisan ilmiah.

Saya bersedia menerima sanksi pencabutan gelar akademik yang saya peroleh dan sanksi-sanksi lainnya dengan peraturan yang berlaku, apabila dikemudian hari ditemukan adanya plagiat dalam skripsi ini.

Medan, 17 Juni 2021


METERAI TEMPEL
751238AJX458099924
(Rios Firmansyah)



LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR / SKRIPSI / TESIS UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

Sebagai sivitas akademik Universitas Medan Area, saya yang bertanda tangan dibawah ini :

Nama : Rios Firmansyah

NPM : 148110057

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Jenis Karya : Tugas Akhir / Skripsi / Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Medan Area Hak Bebas Royalti Non-eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul :

“Analisis Pengaruh Pencampuran Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)”

Beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-eksklusif ini Universitas Medan Area berhak menyimpan, mengalih media / formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan mempublikasikan Tugas Akhir / Skripsi / Tesis saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis / pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Medan, 17 Juni 2021

Yang Menyatakan,


(Rios Firmansyah)

iii

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah segala puji bagi Allah SWT dengan segala nikmat yang diturunkan dan juga karunia yang diberikan. Sholawat dan salam selalu tercurahkan atas kehadiran Rasulullah SAW beserta keluarga dan sahabat-sahabatnya.

Skripsi ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Medan Area. Dalam penelitian ini, penulis mengambil judul “Analisis Pengaruh Pencampuran Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)”.

Dalam proses penulisan Skripsi ini, saya ingin mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada kedua orang tua saya kepada bapak saya Muhammad s. dan mamak saya Marianum yang mendidik dan selalu memberi dukungan moril dan materil dari segala keadaan dalam penyelesaian skripsi ini. Dan tidak lupa pula saya selayaknya menyampaikan terima kasih kepada:

- Bapak Prof. Dr. Dadan Ramdan, M.Eng, M.Sc, selaku Rektor Universitas Medan Area.
- Ibu Dr. Ir. Dina Maizana, MT, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Ibu Susilawati, S.Kom, M.Kom, Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Medan Area.

- Bapak Ir. Kamaluddin Lubis, MT selaku Dosen Pembimbing I dan Bapak Ir. Amsuardiman, MT, selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saran dan masukan yang bermanfaat bagi penulis.
- Bapak dan Ibu Dosen tanpa terkecuali dan para staf Fakultas Teknik Universitas Medan Area.
- Kepala Laboratorium Mekanika Politeknik Negeri Medan dan Asisten Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan yang telah membantu dalam penelitian dilaboratorium.
- Seluruh teman-teman mahasiswa dan teman seperjuangan di Fakultas Teknik, khususnya untuk Program Studi Teknik Sipil Stambuk 2014 dan Stambuk 2016.

Seterlah segala kemampuan dicurahkan serta diiringi dengan doa untuk menyelesaikan skripsi ini hanya kepada Allah SWT semua dikembalikan. Akhir kata penulis berharap semoga skripsi ini dapat berguna bagi kita semua.

Medan, 17 Juni 2021

Hormat Saya,

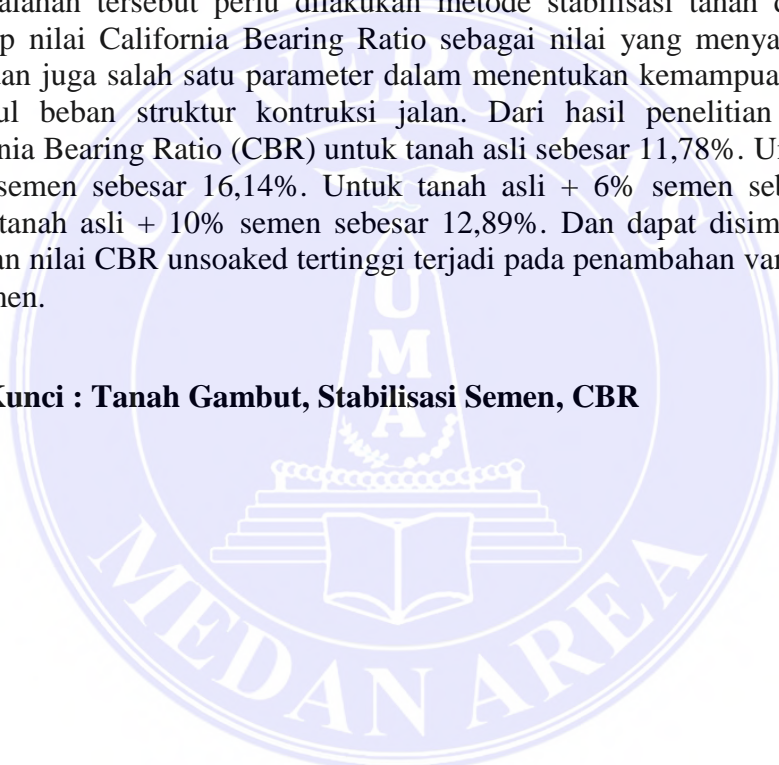


RIOS FIRMANSYAH
148110057

ABSTRAK

Tanah gambut merupakan material organik yang berasal dari tumbuhan dan terbentuk dalam tanah basah yang berubah secara kimia akibat pengaruh cuaca dan kondisi topografi. Material organik yang terkandung didalam tanah gambut mempunyai daya dukung yang relatif rendah dan memiliki kompresibilitas yang sangat besar, sehingga jika menerima atau memikul beban yang besar diatasnya akan terjadi penurunan yang besar dalam waktu yang relatif pendek, maka masalah penurunan yang besar menjadi masalah utama bagi struktur kontruksi jalan yang akan dibangun diatasnya. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui penambahan daya dukung tanah dari segi nilai California Bearing Ratio (CBR). Penelitian ini dilakukan di laboratorium, dengan melakukan pengujian sifat - sifat fisis tanah dan sifat - sifat mekanis tanah. Dalam hal ini untuk mengatasi permasalahan tersebut perlu dilakukan metode stabilisasi tanah dengan semen terhadap nilai California Bearing Ratio sebagai nilai yang menyatakan kualitas tanah dan juga salah satu parameter dalam menentukan kemampuan tanah dalam memikul beban struktur kontruksi jalan. Dari hasil penelitian didapat nilai California Bearing Ratio (CBR) untuk tanah asli sebesar 11,78%. Untuk tanah asli + 2% semen sebesar 16,14%. Untuk tanah asli + 6% semen sebesar 13,72%. Untuk tanah asli + 10% semen sebesar 12,89%. Dan dapat disimpulkan bahwa kenaikan nilai CBR unsoaked tertinggi terjadi pada penambahan variasi campuran 2% semen.

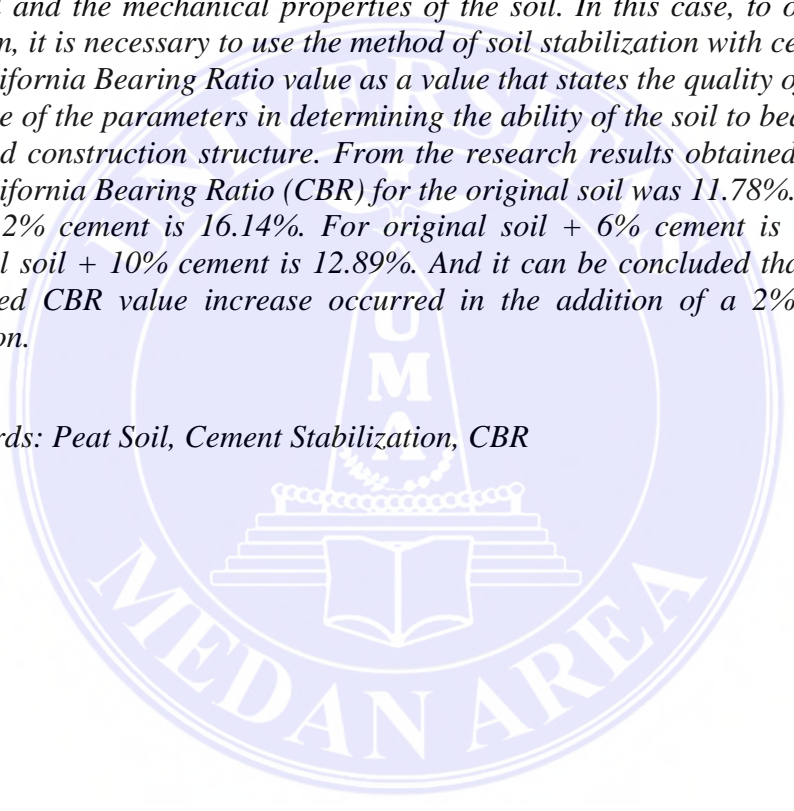
Kata Kunci : Tanah Gambut, Stabilisasi Semen, CBR



ABSTRACT

Peat soil is organic material that comes from plants and is formed in wet soils that change chemically due to the influence of weather and topographic conditions. The organic material contained in peat soils has a relatively low bearing capacity and has a very large compressibility, so that if it receives or carries a large load, there will be a large reduction in a relatively short time, then a large settlement problem becomes a major problem for the structure. road construction that will be built on it. This study aims to determine the addition of soil bearing capacity in terms of the value of the California Bearing Ratio (CBR). This research was conducted in a laboratory, by testing the physical properties of the soil and the mechanical properties of the soil. In this case, to overcome this problem, it is necessary to use the method of soil stabilization with cement against the California Bearing Ratio value as a value that states the quality of the soil and also one of the parameters in determining the ability of the soil to bear the load of the road construction structure. From the research results obtained the value of the California Bearing Ratio (CBR) for the original soil was 11.78%. For original soil + 2% cement is 16.14%. For original soil + 6% cement is 13.72%. For original soil + 10% cement is 12.89%. And it can be concluded that the highest unsoaked CBR value increase occurred in the addition of a 2% cement mix variation.

Keywords: Peat Soil, Cement Stabilization, CBR



DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN SKRIPSI	i
HALAMAN PERNYATAAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN PUBLIKASI	iii
KATA PENGANTAR	iv
ABSTRAK	vi
<i>ABSTRACT</i>	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Lingkup Penelitian	3
1.4 Maksud dan Tujuan.....	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Umum	5
2.2 Klasifikasi Tanah	6
2.2.1 Sistem Klasifikasi Unified	7
2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO	10
2.3 Stabilisasi Tanah	14
1. Prinsip Dasar Perbaikan Tanah	17
2.4 Kadar Air	17
2.5 Specific Gravity	19
2.6 Batas – batas Atterberg	20
2.6.1 Batas Cair (Liquid Limit,LL)	21
2.6.2 Batas Plastis (Plasticity Limit,PL)	23
2.6.3 Indeks Plastisitas (Plasticity Index)	24
2.7 Analisa Ukuran Butiran	24

2.7.1 Tanah Berbutiran Kasar	25
2.7.2 Tanah Berbutiran Halus.....	25
2.8 Pemadatan	27
2.8.1 Uji Proctor Standar (<i>Standard Proctor Test</i>).....	29
2.8.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan	32
2.9 CBR (<i>California Bearing Ratio</i>).....	37
2.10 Tanah Gambut	39
2.10.1 Pembentukan Tanah Gambut	40
2.10.2 Klasifikasi Tanah Gambut	42
2.11 Semen	44
2.11.1 Komposisi Kimia Semen	49
III. METODOLOGI PENELITIAN	51
3.1 Gambaran Daerah Penelitian	51
3.2 Lokasi Penelitian.....	51
3.3 Metode Pengambilan Sampel	52
3.4 Bahan Uji	53
3.5 Metode Penelitian	53
1. Penelitian Terhadap Tanah Asli	54
2. Penelitian Terhadap Tanah Yang Telah Distabilisasi	54
3.6 Metode Pengumpulan data.....	54
3.7 Pengujian Laboratorium	55
3.8 Sampel Uji	56
3.7 Bagan Alur	57
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	58
4.1 Analisa Perhitungan	58
4.1.1 Kadar Air	59
4.1.2 Berat Isi	60
4.1.3 Berat Jenis, GS	62
4.1.4 Analisa Saringan	63
4.1.5 Pemadatan Standart/ Standart Compaction	64
4.1.6 California Bearing Ratio, CBR Unsoaked	68
4.2 Pembahasan	75

4.2.1 Kadar Air	76
4.2.2 Berat Isi	76
4.2.3 Berat Jenis, GS	76
4.2.4 Analisa Saringan	77
4.2.5 Pemadatan Standart/ Standart Compaction	78
4.2.6 California Bearing Ratio, CBR Unsoaked	78
V. KESIMPULAN DAN SARAN	80
5.1 Kesimpulan	80
5.2 Saran	80
DAFTAR PUSTAKA	81
LAMPIRAN.....	82



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Persentase analisa lolos saringan	9
Tabel 2.2	Sistem klasifikasi unified	10
Tabel 2.3	Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar (sistem AASHTO)	12
Tabel 2.4	Volume minimum berat contoh tanah basah	18
Tabel 2.5	Berat jenis tanah (specific gravity)	20
Tabel 2.6	Harga-harga ($N/25$) ^{0,121}	23
Tabel 2.7	Nilai indeks plastisitas dan macam tanah	24
Tabel 2.8	Saringan standart Amerika	25
Tabel 2.9	Hitungan energi pemadatan	37
Tabel 2.10	Beban standar yang dipakai untuk percobaan CBR....	38
Tabel 2.11	Tipe-tipe semen	46
Tabel 2.12	Mineral penyusun semen	50
Tabel 2.13	Range persentase mineral	50
Tabel 3.1	Sampel Penguian laboratorium	56
Tabel 4.1	Hasil pengujian sifat fisis tanah	58
Tabel 4.2	Hasil pengujian sifat mekanis tanah	58
Tabel 4.3	Hasil pengujian kadar air	59
Tabel 4.4	Hasil pengujian berat isi	60
Tabel 4.5	Hasil pengujian berat jenis, Gs	62
Tabel 4.6	Hasil pengujian analisa saringan	63
Tabel 4.7	Hasil pemadatan standart/ standart compaction test ...	64
Tabel 4.8	Hasil CBR unsoaked tanah asli	68
Tabel 4.9	Hasil CBR unsoaked tanah asli + 2% semen	69

Tabel 4.10 Hasil CBR unsoaked tanah asli + 6% semen	70
Tabel 4.11 Hasil CBR unsoaked tanah asli + 10% semen	72



DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Rentang (range) dari batas cair (L.L) dan indeks plastistas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7	13
Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg	20
Gambar 2.3 Skema alat uji batas cair	21
Gambar 2.4 Kurva untuk penentuan batas cair lempung	22
Gambar 2.5 Alat hydrometer dan posisi hydrometer saat pengendapan berlangsung	27
Gambar 2.6 Prinsip Pemdatan	28
Gambar 2.7 Alat uji standar Proctor)	30
Gambar 2.8 Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering ..	31
Gambar 2.9 Bentuk umum kurva pemadatan untuk empat jenis tanah (ASTM D-698).....	33
Gambar 2.10 Berbagai macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah	35
Gambar 2.11 Pengaruh energi pemadatan pada hasil pemadatan lempung berpasir	36
Gambar 2.12 Hasil Percobaan CBR	39
Gambar 2.13 Proses pembentukan gambut di daerah cengkung lahan basah : a. Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah, b. Pembentukan gambut topegen , dan c. Pembentukan gambut ombrogen diatas gambut topogen...	42

Gambar 3.1	Lokasi Pengambilan Sampel	52
Gambar 3.2	Sampel Tanah	53
Gambar 3.3	Bagan Alir	57
Gambar 4.1	Grafik analisa saringan	77
Gambar 4.2	Grafik pemadatan standart	78
Gambar 4.3	Pengaruh Penambahan variasi semen terhadap nilai CBR	79



DAFTAR SIMBOL DAN LAMBANG

Simbol	Dimensi	Keterangan
G	[-]	Kerikil (<i>gravel</i>)
S	[-]	Pasir (<i>sand</i>)
C	[-]	Lempung (<i>clay</i>)
M	[-]	Lanau (<i>silt</i>)
O	[-]	Lanau atau Lempung Organik (<i>organic silt or clay</i>)
Pt	[-]	Tanah Gambut dan Tanah Organik Tinggi (<i>peat and highly organic soil</i>)
W	[-]	Gradasi Baik (<i>well-graded</i>)
P	[-]	Gradasi Buruk (<i>poorly-graded</i>)
H	[%]	Plastisitas Tinggi (<i>high-plasticity</i>)
L	[%]	Plastisitas Rendah (<i>low-plasticity</i>)
GI	[%]	Indeks Kelompok (<i>group index</i>)
F	[%]	Persen Butiran Lolos Saringan no. 200 (0,075)
LL	[%]	Batas Cair
PL	[%]	Batas Plastis
PI	[%]	Indeks Plastis
W _c	[%]	Kadar Air (<i>water content</i>)
W _w	[gram]	Berat Air
W _s	[gram]	Berat Tanah dalam Keadaan Kering Oven (<i>Oven dry</i>)
G _s	[-]	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>)
Y _d	[gram/cm ³]	Berat Volume Butiran Padat
Y _w	[gram/cc]	Berat Volume Air
I _F	[-]	Indeks Aliran
w ₁	[%]	Kadar Air (%) pada N ₁ pukulan
w ₂	[%]	Kadar Air (%) pada N ₂ pukulan
N	[-]	Jumlah Pukulan
w _N		Kadar Air
tgβ	[-]	0,121 (tapi tg β tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

γ_{zav}	[kN]	Berat Volume pada Kondisi <i>zero air void</i>
e	[-]	Angka Pori
Nb	[-]	Jumlah Pukulan per lapisan
Nl	[-]	Jumlah Lapisan
W	[gram]	Berat Pemukul
H	[-]	Tinggi Jatuh Pemukul
V	[gram]	Volume <i>mould</i>
P_T	[Lb]	Beban Percobaan (<i>test load</i>)
P_S	[Lb]	Beban Standar (<i>standard load</i>)
γ_{wet}	[gram/cm]	Berat Volume Tanah Kondisi Basah (Berat tanah dibagi volumenya)



BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar belakang

Tanah gambut merupakan material organik yang berasal dari tumbuhan dan terbentuk dalam tanah basah yang berubah secara kimia akibat pengaruh cuaca dan kondisi topografi. Pembentukannya di pengaruhi oleh sirkulasi oksigen yang kurang bagus. Sebagai akibatnya sebagian serat tumbuhan sangat berpengaruh terhadap terbentuknya tanah gambut yang bersangkutan. Tanah gambut Indonesia termasuk dalam jenis gambut tropis karena hanya dua iklim yang ada berpengaruh pada tanah gambut tersebut. Jenis tumbuhan yang terurai terdiri atas berbagai macam jenis rumput, bakau, pandan, pinang, serta tumbuhan rawa lainnya. (LUHUR, Ariyanto, dan Rismalinda 2016)

Menurut (Prabowo dan Fauziah 2018), tanah gambut memiliki sifat berongga (porous) dan sangat ringan, sehingga mempunyai daya dukung yang relatif rendah. Tanah gambut memiliki kompresibilitas yang sangat besar, sehingga jika menerima atau memikul beban yang besar di atasnya akan terjadi penurunan yang besar dalam waktu yang relatif pendek, maka masalah penurunan yang besar menjadi masalah utama bagi struktur yang akan dibangun di atasnya.

Berdasarkan hal di atas untuk tanah jika mengalami permasalahan penurunan atau daya dukung yang kurang baik maka perlu dilakukan stabilisasi, stabilisasi tanah dapat dilakukan secara mekanis maupun menggunakan bahan-bahan aditif (zat kimia). Secara mekanis stabilisasi tanah dilakukan dengan mengatur gradasi butiran tanah kemudian dilakukan proses pemadatan,

sedangkan stabilisasi yang menggunakan bahan aditif dapat dilakukan dengan menambah bahan aditif kemudian dilakukan pemadatan.

Banyak macam bahan aditif untuk stabilisasi tanah yang ada di Indonesia antara lain, semen portland, aspal, sodium klorida, limbah pabrik kertas, limbah pabrik pupuk (gypsum), sulfuric acid, lignin, dll. Pada penelitian ini digunakan semen Portland tipe I sebagai bahan stabilisasi. Pemilihan semen sebagai bahan tambahan stabilisasi karena semen relatif mudah diperoleh di kota Medan.

Pemakaian semen sebagai bahan aditif pada tanah gambut sudah ada digunakan dalam penelitian di Indonesia seperti Luhur Beni, Anton Ariyanto, dan Rismalinda. 2016. "STABILISASI TANAH GAMBUT DENGAN CAMPURAN PORTLAND CEMENT DI TINJAU DARI NILAI CALIFORNIA BEARING RATIO (CBR)." Dalam tulisan di atas, pemakaian bahan stabilisasi semen Portland diamati dari efek penggunaannya, dan memiliki nilai seperti kadar air yang lebih dari standart tanah gambut ialah 100% .

Tanah gambut memiliki permasalahan dalam pekerjaan bangunan teknik sipil. Khususnya peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan konstruksi jalan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (subgrade). Dalam hal tersebut untuk menentukan kekuatan tanah dasar digunakan metode California bearing ratio (CBR) sebagai nilai yang menyatakan kualitas tanah dan juga salah satu parameter dalam menentukan kemampuan tanah dalam memikul beban di atas nya seperti konstruksi transportasi (aspal).

Oleh karena itu peneliti tertarik untuk mengkaji “Pengaruh Pencampuran Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)”

1.2 Rumusan Masalah

1. Apakah pengaruh penambahan semen dalam tanah gambut untuk di stabilisasi?
2. Apakah nilai CBR tanah gambut dapat mendapatkan nilai yang lebih baik setelah distabilisasi menggunakan semen?
3. Apakah penambahan semen dapat memperkecil penurunan lapisan tanah?

1.3 Lingkup Penelitian

Batasan masalah dari penelitian ini adalah :

1. Membatasi masalah persentasi semen optimum di laboratorium yang digunakan.
2. Benda uji yang digunakan adalah tanah gambut dan semen poltland sebagai stabilisasi dengan perbandingan 0%, 2%,6%, 10% dari berat tanah.
3. Penelitian ini menggunakan metode California Bearing Ratio (CBR) laboratorium tanpa rendaman (unsoaked).
4. Tidak menguji batas- batas atterberg
5. Penelitian ini hanya menguji index properties, proctor standart dan CBR.

1.4 Tujuan Penelitian

Maksud dari penitian ini adalah menganalisis pengaruh penambahan semen untuk stabilisasi tanah gambut terhadap nilai CBR dan daya dukung tanah.

Sedangkan tujuan dari penelitian ini adalah meningkatkan stabilitas tanah gambut dengan menggunakan bahan tambah semen terhadap nilai *California Bearing Ratio* (CBR).

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat yang diharapkan penulis dari penelitian ini adalah :

1. Sebagai bekal atau ilmu bagi penulis yang dapat digunakan dalam ilmu mekanika tanah yang berkaitan dunia pekerjaan.
2. Sebagai bahan referensi bagi para peneliti dalam pengembangan pemanfaatan metode perbaikan tanah dengan penambahan semen untuk tanah gambut.
3. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi masukan bagi pemerintah setempat sebagai bahan referensi dalam ilmu yang berkaitan dengan stabilisasi tanah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Umum

Tanah merupakan material yang terdiri dari agregat (butiran) padat yang tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 2017).

Tanah juga didefinisikan sebagai akumulasi partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah ikatan partikelnya, yang berbentuk karena dari batuan. Diantara partikel-partikel tanah terdapat tanah ruang kosong yang disebut pori-pori yang berisi air dan udara. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan oleh karbonat dan oksida yang tersenyawa diantara partikel partikel tersebut, atau dapat juga disebabkan oleh adanya material organik. Bila hasil dari pelapukan tersebut berada pada tempat semula maka bagian ini disebut sebagai tanah sisa (*residu oil*). Hasil pelapukan terangkut ketempat lain dan mengendap di beberapa tempat yang berlainan disebut tanah bawaan (*transportation soil*), media pengangkat tanah berupa gravitasi, angin, air, dan gletsyer. Pada saat akan berpindah tempat, ukuran dan bentuk partikel-partikel dapat berubah dan terbagi dalam beberapa rentang ukuran. Proses penghancuran dalam pembentukkan tanah dari batuan terjadi secara fisis atau kimiawi, proses fisis antara lain berupa erosi akibat tiupan angin, pengikisan oleh air dan gletsyer, atau perpecahan akibat pembekuan dan pencairan es dalam bantuan sedangkan proses kimiawi menghasilkan perubahan pada susunan mineral batuan asalnya. Salah satu

penyebabnya adalah air yang mengandung asam alkali, oksigen dan karbondioksida. Pelapukan kimiawi menghasilkan pembentukan kelompok-kelompok partikel yang berukuran koloid (<0.002 mm). Semua macam tanah secara umum terdiri dari tiga bahan yaitu butiran tanahnya sendiri, serta air dan udara yang terdapat dalam ruangan antara butir-butir tersebut. Ruangan ini disebut pori (*voids*) apabila tanah sudah benar-benar kering maka tidak akan ada air sama sekali dalam porinya, keadaan semacam ini jarang ditemukan pada tanah yang masih dalam keadaan asli di lapangan. Air hanya dapat dihilangkan sama sekali dari tanah apabila kita ambil tindakan khusus untuk maksud itu, misalnya dengan memanaskan didalam oven. Peranan tanah ini sangat penting dalam perencanaan atau pelaksanaan bangunan karena tanah tersebut berfungsi untuk mendukung beban yang ada di atasnya, oleh karena itu tanah yang akan dipergunakan untuk mendukung konstruksi harus dipersiapkan terlebih dahulu sebelum dipergunakan sebagai tanah dasar (Hary Christady Hardiyatmo, 2016).

2.2 Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok-kelompok dan subkelompok-subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Sistem klasifikasi memberikan suatu bahasa yang mudah untuk menjelaskan secara singkat sifat-sifat umum tanah yang sangat bervariasi tanpa penjelasan terinci. Sebagian besar sistem klasifikasi tanah yang telah dikembangkan untuk tujuan rekayasa didasarkan pada sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran dan plastisitas. Walaupun saat ini terdapat berbagai sistem klasifikasi tanah, tetapi tidak ada satupun dari sistem-sistem tersebut yang benar-

benar memberikan penjelasan yang tegas mengenai segala kemungkinan pemakaiannya. Hal ini disebabkan karena sifat-sifat tanah yang bervariasi (Braja M. Das, 2017).

Kebanyakan klasifikasi tanah menggunakan indeks pengujian yang sangat sederhana untuk memperoleh karakteristik tanah. Karakteristik tersebut digunakan untuk menentukan kelompok klasifikasi. Umumnya, klasifikasi tanah didasarkan atas ukuran partikel yang diperoleh dari analisis saringan (dan uji sedimentasi) dan plastisitas (Braja M. Das, 2017).

Terdapat dua sistem klasifikasi yang sering digunakan, yaitu *Unified Soil Classification* dan AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials*). Sistem klasifikasi AASHTO pada umumnya dipakai oleh departemen jalan di semua negara bagian di Amerika Serikat. Sedangkan sistem klasifikasi Unified pada umumnya lebih disukai oleh para ahli geoteknik untuk keperluan-keperluan teknik yang lain. Sistem-sistem ini menggunakan sifat-sifat indeks tanah yang sederhana seperti distribusi ukuran butiran, batas cair dan indeks plastisitas (Braja M. Das, 2017).

2.2.1 Sistem Klasifikasi Unified

Sistem ini pada mulanya diperkenalkan oleh Casagrande pada tahun 1942 untuk dipergunakan pada pekerjaan lapangan terbang yang dilaksanakan oleh The Army Corps of Engineers selama perang dunia ke II. Dalam rangka kerja sama dengan United States Bureau of Reclamation tahun 1952, sistem ini disempurnakan. Pada masa kini, sistem klasifikasi tersebut digunakan secara luas oleh para ahli teknik (Braja M. Das, 2017).

Pada Sistem Unified, tanah diklasifikasikan ke dalam tanah berbutir kasar (kerikil dan pasir) jika kurang dari 50% lolos saringan nomor 200, dan sebagai tanah berbutir halus (lanau/lempung) jika lebih dari 50% lolos saringan nomor 200. Selanjutnya, tanah diklasifikasikan dalam sejumlah kelompok dan subkelompok (Hary Christady Hardiyatmo, 2016). Simbol-simbol yang digunakan pada system unified di antara adalah:

G = kerikil (*gravel*)

S = pasir (*sand*)

C = lempung (*clay*)

M = lanau (*silt*)

O = lanau atau lempung organik (*organic silt or clay*)

Pt = tanah gambut dan tanah organik tinggi (*peat and highly organic soil*)

W = gradasi baik (*well-graded*)

P = gradasi buruk (*poorly-graded*)

H = plastisitas tinggi (*high-plasticity*)

L = plastisitas rendah (*low plasticity*)

Misalnya dari hasil pengujian di laboratorium diperoleh data batas plastis (PL) = 16 % ; batas cair (LL) = 42%, sedangkan dari analisis saringan diperoleh data seperti dapat dilihat dalam Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persentase analisa lolos saringan

Nomer saringan	% butiran lolos
4 (4,75 mm)	100,0
10 (2,0 mm)	93,2
40 (0,42 mm)	81,0
200 (0,075 mm)	61,5

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2016

Karena persentase lolos saringan nomer 200 adalah 61,5% yang berarti lebih besar dari 50% maka harus digunakan kolom bawah yaitu butiran halus. Karena nilai $LL = 42\%$ (lebih kecil dari 50%), maka termasuk CL atau ML. Selanjutnya, ditentukan nilai indeks plastisnya, $PI = LL - PL$ atau $PI = 42\% - 16\% = 26\%$. Nilai - nilai PI dan LL, kemudian digambar pada diagram plastisitas, sehingga akan ditemukan letak titik di atas garis A, yang menempati zona CL. Jadi, tanah tersebut dapat diklasifikasikan sebagai CL (lempung anorganik plastisitas rendah). Klasifikasi tanah berbutir halus dengan symbol ML, CL, OL, MH, CH, dan OH didapat dengan cara menggambar batas cair dan indeks plastisitas tanah yang bersangkutan pada bagan plastisitas (Hary Christady Hardiyatmo, 2016) yang diberikan pada tabel 2.2.

Tabel 2.2 Sistem klasifikasi unified

Sumber : Hary Christady Hardiyatmo, 2016

2.2.2 Sistem Klasifikasi AASHTO

Sistem klasifikasi AASHTO (*American Association of State Highway and Transportation Officials Classification*) berguna untuk menentukan kualitas tanah dalam perancangan timbunan jalan, *subbase* dan *subgrade*. Sistem ini terutama ditujukan untuk maksud-maksud dalam lingkup tersebut (Hary Christady Hardiyatmo, 2016).

Sistem klasifikasi ini dikembangkan dalam tahun 1929 sebagai Public Road Administration Classification System. Sistem ini sudah mengalami beberapa perbaikan yaitu versi yang saat ini berlaku adalah yang diajukan oleh Committee on Classification of Material for Subgrade and Granular Type Road of the Highway Research Board dalam tahun 1945 (ASTM Standart no D-3282, AASHTO metode M145) (Braja M. Das, 2017).

Sistem klasifikasi AASHTO membagi tanah ke dalam 7 kelompok besar, yaitu A-1 sampai A-7 termasuk sub-sub kelompok. Tanah yang diklasifikasikan ke dalam A-1, A-2, A-3, adalah tanah berbutiran di mana 35% atau kurang dari

jumlah butiran tanah tersebut lolos ayakan No, 200. Tanah di mana lebih dari 35% butirannya lolos ayakan No. 200 dikalsifikasikan ke dalam kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7. Butiran dalam kelompok A-4 sampai A-7 tersebut sebagian besar adalah lanau dan lempung (Braja M. Das, 2017). Sistem klasifikasi ini didasarkan pada kriteria dibawah ini:

a) Ukuran butir

Krikil : bagian tanah yang lolos ayakan dengan diameter 75 mm dan yang tertahan ayakan No. 200.

Pasir : bagian tanah yang lolos ayakan No. 10 (2 mm) dan yang tertahan pada ayakan No. 200 (0,075 mm).

Lanau dan lempung : bagian tanah yang lolos ayakan No. 200

b) Plastisitas

Nama berlanau dipakai apabila bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plasitisitas (*plasticity index*) sebesar 10 atau kurang.

Nama berlempung dipakai bilamana bagian-bagian yang halus dari tanah mempunyai indeks plastis sebesar 11 atau lebih.

c) Apabila batuan (ukurannya lebih besar dari 75 mm) ditemukan di dalam contoh tanah yang akan ditentukan klasifikasi tanahnya, maka batuan-batuan tersebut harus dikeluarkan terlebih dahulu. Tetapi, presentase dari batuan yang dikeluarkan tersebut harus dicatat.

Menurut Braja M. Das, 2017 apabila sistem AASHTO dipakai untuk mengklasifikasikan tanah, maka data hasil uji dicocokkan dengan angka-angka yang diberikan kemudian di baca dari kolom sebelah kiri ke kolom sebelah kanan hingga ditemukan angka-angka yang sesuai, berikut diberikan pada tabel 2.3.

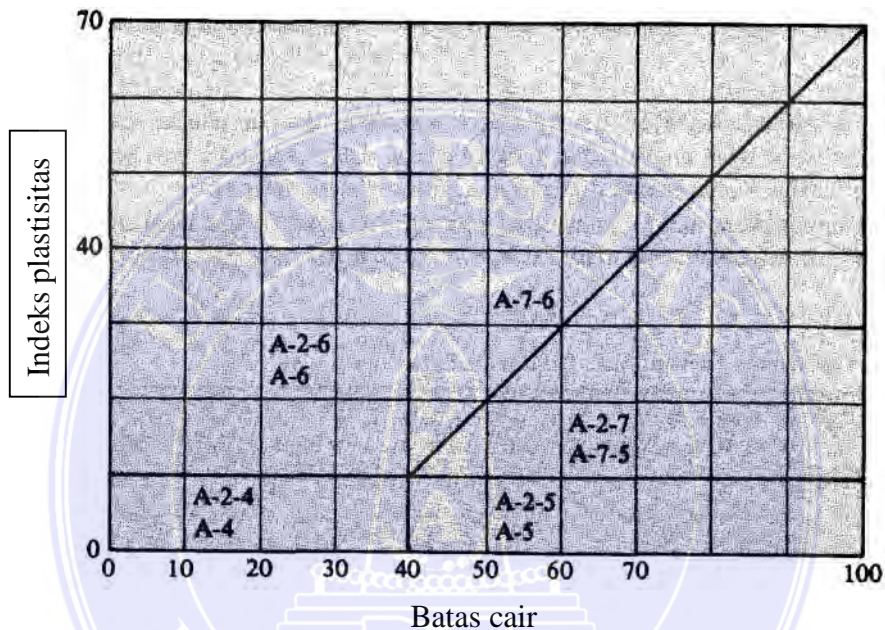
Tabel 2.3 Klasifikasi tanah untuk lapisan tanah dasar (sistem AASHTO)

Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-1		A-3	A-2		A-2	
	A-1-a	A-1-b		A-2-4	A-2-5	A-2-6	A-2-7
Analisa ayakan (% lolos)							
No. 10	Maks. 50						
No.40	Maks. 30	Maks. 50	Maks. 51				
No. 200	Maks. 15	Maks. 25	Maks. 10	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35	Maks. 35
Sifat fraksi yang lolos ayakan N. 40				Maks. 40	Maks. 41	Maks. 40	Maks. 41
Batas cair (LL)				Maks. 10	Maks. 10	Maks. 11	Maks. 11
Indeks plastisitas (PI)	Maks. 6		NP	Krikil dan pasir yang berlanau atau berlempung			
Tipe matrial yang paling dominan	Batu pecah, krikil, dan pasir		Pasir halus	Baik sekali sampai baik			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar							
Klasifikasi Umum	Tanah berbutir (35% atau kurang dari seluruh contoh tanah lolos ayakan No. 200)						
	A-4		A-5	A-6	A-7		
Klasifikasi Klompok					A-7-5*		
					A-7-5 ⁺		
Analisa ayakan (% lolos)							
No. 10							
No.40							
No. 200	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36	Min. 36
Sifat fraksi yang lolos ayakan N. 40							
Batas cair (LL)	Maks. 40	Maks. 41	Maks. 40	Maks. 40	Maks. 41	Maks. 41	Maks. 41
Indeks plastisitas (PI)	Maks. 10	Maks. 10	Maks. 11	Maks. 11	Maks. 11	Maks. 11	Maks. 11
Tipe matrial yang paling dominan	Tanah berlanau			Tanah berlempung			
Penilaian sebagai bahan tanah dasar	Baik sekali sampai baik						

Sumber: Braja M. Das, 2017

Keterangan : * untuk A-7-5, $PI \leq LL - 30$
 + untuk A-7-6, $PI > LL - 30$

Untuk tanah yang termasuk dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7 menunjukkan sesuatu gambar dari sepanjang batas cair (*liquid limit*, LL) dan indeks plastisitas (PI), berikut gambar 2.1.



Gambar 2.1 Rentang (range) dari batas cair (LL) dan indeks plastisitas (PI) untuk tanah dalam kelompok A-2, A-4, A-5, A-6, dan A-7

Sumber : Braja M. Das, 2017

Tanah-tanah dalam tiap kelompoknya dievaluasi terhadap indeks kelompoknya yang dihitung dengan rumus-rumus empiris. Pengujian yang digunakan adalah analisis saringan dan batas-batas Atterberg.

Indeks kelompok (*group index*) digunakan untuk mengevaluasi lebih lanjut tanah-tanah dalam kelompoknya. Indeks kelompok dihitung dengan persamaan:

$$GI = (F-35) [0,2 + 0,005 (LL - 40)] + 0,01 (F-15) (PI-10) \quad (2.1)$$

Dimana :

GI = indeks kelompok (*group index*)

F = persen butiran lolos saringan no.200 (0,075 mm)

LL = batas cair

PI = indeks plastis

2.3 Stabilisasi Tanah

Dalam perrekaayaan konstruksi bangunan sipil, sering ditemukan lapisan tanah yang memiliki daya dukung rendah (*low strength*), yang sangat mempengaruhi berbagai tahapan rancang-bangun konstruksi, baik dalam tahap perencanaan (*design*), tahap pelaksanaan (*perform*), maupun tahapan operasional dan pemeliharaan (*Operational and Maintenance*) (H. Darwis, 2017).

Stabilisasi tanah adalah suatu metode yang digunakan untuk meningkatkan kemampuan daya dukung suatu lapisan tanah, dengan cara memberikan perlakuan (*treatment*) khusus terhadap lapisan tanah tersebut.

Dengan demikian dapat diketahui bahwa tujuan dari stabilisasi tanah adalah minimal untuk memenuhi satu dari empat sasaran berikut ini:

1. Untuk memperbaiki (meningkatkan) daya dukung tanah.
2. Untuk memperbaiki (memperkecil) penurunan lapisan tanah.
3. Untuk memperbaiki (menurunkan) permeabilitas dan swelling potensial tanah.
4. Untuk menjaga (mempertahankan) potensi tanah yang ada (*existing strength*).

Dari keempat sasaran dari suatu tindakan stabilisasi yang diuraikan diatas, sangat jarang dapat dicapai secara bersamaan (sekaligus). Akan tetapi harus selalu diupayakan agar dapat tercapai perbaikan parameter yang diinginkan, dengan tanpa mengakibatkan pengrusakan parameter yang lainnya. Seperti halnya

stabilisasi dengan semen (*cement stabilization*) dapat meningkatkan daya dukung lapisan tanah, akan tetapi dapat pula memperbesar permeabilitas lapisan (H. Darwis, 2017).

Adapun salah satu jenis dari stabilisasi tanah adalah stabilisasi kimia, yaitu stabilisasi dengan menggunakan bahan-bahan kimia yang memungkinkan terjadinya reaksi kimia, dan menghasilkan senyawa baru yang bersifat stabil dari pada senyawa yang terdapat dalam massa tanah sebelum stabilisasi dilakukan. Salah satu contoh stabilisasi kimia pada tanah yaitu stabilisasi dengan semen (H. Darwis, 2017).

Campuran tanah – semen memiliki bahan organik dan kadar garam tinggi khususnya sulfat, dapat menghambat atau mencegah hidrasi semen dalam campuran tanah – semen. Hal ini, karena bahan organik tersebut cenderung menyerap ion-ion kalsium. Oleh karena itu, penambahan sumber kalsium, seperti kalsium klorida atau kapur terhidrasi, memungkinkan tanah tersebut dapat dirawat. Semen khususnya, yaitu semen cepat mengeras yang mengandung kalsium klorida, cocok digunakan untuk stabilisasi tanah – semen bila tanah mengandung organik. Namun, umumnya disarankan tanah yang distabilisasi sebaiknya tidak mengandung bahan organik, atau kadar organiknya harus rendah agar hasilnya baik. Pada umumnya, kadar organik sekitar 2% merupakan batas maksimumnya (H. Darwis, 2017).

Semua tindakan mengubah sifat-sifat asli dari pada tanah, untuk disesuaikan dengan kebutuhan konstruksi adalah merupakan tindakan yang dapat dikategorikan sebagai upaya stabilisasi tanah. Secara khusus pengertian stabilisasi

tanah juga dapat dilihat dari berbagai definisi yang dikemukakan beberapa ahli, antara lain:

1. Menurut Lambe (1962), mendefinisikan stabilisasi tanah sebagai perubahan dari setiap property tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya (*soil stabilization as "the alteration of any property of a soil to improve its engineering performance"*), dalam pengertian ini Lambe memakai sifat-sifat tanah (*soil property*) mencakup sifat mikroskopis dan makroskopis dari massa tanah.
2. Jon A. Epps et al. (1971), mengatakan stabilisasi tanah adalah tindakan untuk memperbaiki sifat rekayasa tanah (*soil properties*).
3. Ingles & Metcalf (1972), mengatakan bahwa perubahan sifat tanah untuk memenuhi persyaratan teknik tertentu, dikenal sebagai stabilisasi tanah.
4. Punmia (1980), menyatakan bahwa stabilisasi tanah dalam pengertian luas mencakup berbagai metode yang digunakan untuk memodifikasi sifat tanah untuk memperbaiki kinerja tekniknya. Dalam hal ini menurut Punmia bahwa tujuan utama dari stabilisasi tanah adalah untuk meningkatkan kekuatan atau stabilisasi tanah dan mengurangi biaya konstruksi dengan memanfaatkan sebaik-baiknya bahan yang tersedia secara lokal.
5. Winterkorn (1975), menyatakan bahwa stabilisasi tanah adalah istilah kolektif untuk metode fisik, kimia, atau biologi, atau kombinasi metode semacam itu, yang digunakan untuk memperbaiki sifat tertentu dari tanah alami agar sesuai dengan tujuan rekayasa yang tepat.
6. Ruston Paving Company Inc., menyatakan bahwa "stabilisasi tanah adalah perubahan fisik dan kimia permanen dari tanah dan agregat untuk

meningkatkan sifat tekniknya sehingga meningkatkan daya dukung sub-grade atau susb-basis untuk mendukung perkerasan dan pondasi.

Selain definisi di atas, masih banyak lagi terminologi yang dikemukakan beberapa ahli lain. Secara umum orang mengartikan bahwa stabilisasi tanah adalah pencampuran tanah dengan bahan tertentu guna memperbaiki sifat-sifat teknis tanah, atau dapat pula diartikan secara umum bahwa stabilisasi tanah adalah usaha untuk mengubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah agar memenuhi syarat teknis tertentu (H. Darwis, 2017).

1. Prinsip Dasar Perbaikan Tanah

Perbaikan tanah terbagi atas dua kelompok, yakni perbaikan tanah secara kimiawi dan perbaikan tanah secara fisik. Kedua cara tersebut memiliki kesamaan dalam tujuan dan sasaran yang ingin dicapai, namun banyak perbedaan dalam metode maupun bahan pencampur (*addictive*) yang dipergunakan.

Teknik perbaikan tanah memiliki prinsip dasar bahwa kapasitas tanah yang kurang baik (dalam berbagai aspek), dapat diperbaiki melalui peningkatan sifat-sifat (*properties*) dari pada tanah, sesuai dengan tujuan perbaikan yang diinginkan (H. Darwis, 2017).

2.4 Kadar Air

Secara umum, tanah terdiri dari tiga unsur yaitu butiran tanah atau partikel padat (*solid*), air (*water*), serta udara (air dan gas). Kandungan air dan udara yang terdapat di dalam tanah menempati rongga (*void*) yang terdapat di antara butiran, yang disebut pori tanah. Bila volume pori di dalam tanah dipenuhi oleh air, maka tanah dinyatakan dalam kondisi jenuh. Sebaliknya bila di dalam pori tanah tidak berisi air sama sekali, maka tanah dalam kondisi kering.

Besarnya volume air yang terkandung di dalam pori tanah disbanding dengan volume pori tanah yang ditempati oleh air dan udara disebut derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yang dinotasikan dengan S .

Besarnya kandungan air yang terdapat di dalam suatu contoh tanah yang sering disebut kadar air, w_c (*moisture content* atau *water content*) dinyatakan dalam persentase terhadap berat tanah dalam keadaan kering, sehingga:

$$W_C = \frac{W_W}{W_S} \times 100\% \quad (2.2)$$

Dengan :

W_C = kadar air / *water content* (persen %)

W_W = berat air (gram)

W_S = berat tanah dalam keadaan kering oven / *oven dry* (gram)

ASTM (1981) memberikan batasan tentang berat minimum contoh tanah yang harus dipergunakan dalam pengujian untuk mendapatkan kadar air yang representatif. Besarnya berat minimum tersebut tergantung dari ukuran butiran seperti pada Tabel 2.4.

Tabel 2.4 Volume minimum berat contoh tanah basah

Ukuran butiran tanah (lebih dari 10%)	Berat minimum Contoh tanah basah
2 mm (ayakan No. 10 ASTM)	100 – 200 gr
4.75 mm (ayakan No. 4 ASTM)	300 – 500 gr
19 mm	500 – 1000 gr
38 mm	1500 – 3000 gr
76 mm	5000 – 10000 gr

Sumber: ASTM

2.5 Specific Gravity (Gs)

Berat spesifik atau berat jenis / *specific gravity* (G_s) adalah perbandingan antara butir – butir tanah dengan berat destilasi di udara dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Adapun dalam mencari nilai berat jenis tanah atau G_s biasanya menggunakan persamaan berikut.

$$G_s = \frac{W_s}{[(W_5 - W_1) - (W_3 - W_2)]} \quad (2.3)$$

Dengan :

G_s = *specific gravity*

W_s = berat tanah kering (gram)

W_1 = berat picnometer (gram)

W_2 = berat picnometer + tanah kering

W_3 = berat picnometer + tanah kering + air (gram)

W_5 = berat picnometer + air terkorelasi (gram)

G_s tidak berdimensi. Secara tipikal, berat jenis berbagai jenis tanah berkisar antara 2,65 sampai 2,75. Berat jenis tanah $G_s = 2,67$ biasanya digunakan untuk tanah-tanah tidak berkoheesi atau tanah granuler, sedang untuk tanah-tanah kohesif tidak mengandung bahan organik G_s berkisar diantara 2,68 sampai 2,72. Nilai-nilai berat jenis dari berbagai jenis tanah diberikan dalam dan juga untuk peat berkisar 1,20 sampai 1.85. Berat jenis dapat dilihat pada tabel 2.5 (Hardiyatmo, 2016).

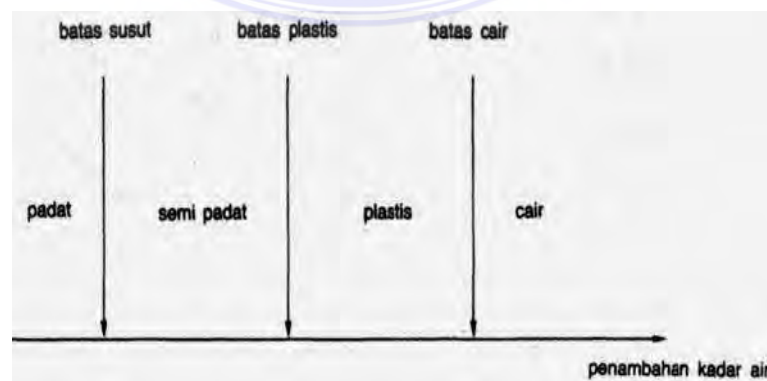
Tabel 2.5 Berat jenis tanah (specific gravity)

Jenis Tanah	Gs
Kerikil	2.65 - 2.68
Pasir	2.65 - 2.68
Lanau, anorganik	2.62 - 2.68
Lempung, organik	1.58 - 2.65
Lempung, anorganik	2.68 - 2.75
Humus	1.37
Gambut	1.25 - 1.80

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

2.6 Batas – batas Atterberg

Suatu hal yang penting pada tanah berbutir halus adalah sifat plastisitasnya. Plastisitas disebabkan oleh adanya partikel mineral lempung dalam tanah. Istilah plastisitas menggambarkan kemampuan tanah dalam menyesuaikan perubahan bentuk pada volume yang konstan tanpa retak-retak atau remak. Atterberg (1991), memberikan cara untuk menggambarkan batas-batas konsistensi dari tanah berbutir halus dengan mempertimbangkan kandungan kadar air tanah. Batas-batas tersebut adalah batas cair (*liquid limit*), batas plastis (*plastic limit*) dan batas susut (*shrinkage limit*). Kedudukan batas-batas konsistensi untuk tanah kohesif ditunjukkan dalam gambar (2.2) (Hardiyatmo, 2016).

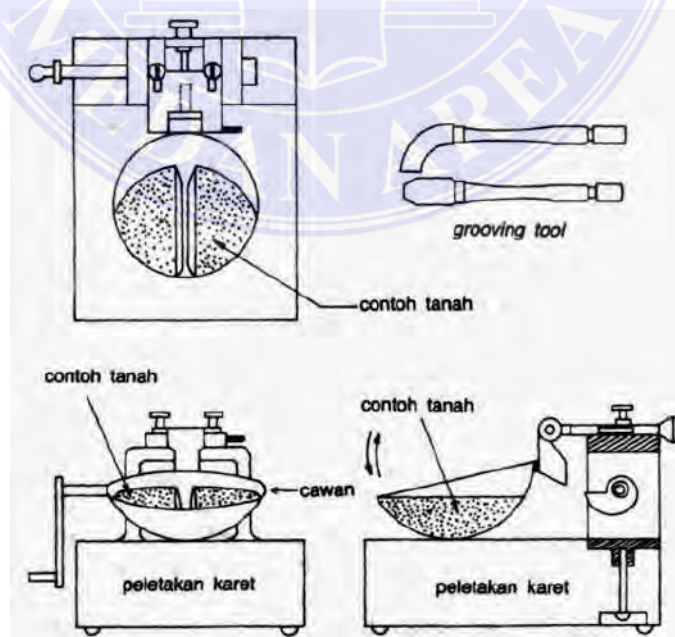


Gambar 2.2 Batas-batas Atterberg
Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

Bergantung pada kadar air, tanah dapat berbentuk cair, plastis, semi padat atau padat. Kedudukan fisik tanah berbutir halus pada kadar air tertentu disebut *konsistensi*. Konsistensi bergantung pada gaya tarik antara partikel mineral lempung. Sembarang pengurangan kadar air menghasilkan berkurangnya tebal lapisan kation yang menyebabkan bertambahnya gaya tarik partikel. Bila tanah dalam kedudukan plastis, besarnya jaringan gaya antar partikel akan sedemikian hingga partikel bebas menggelincir antara satu dengan yang lain, dengan kohesi yang tetap terpelihara. Pengurangan kadar air menghasilkan pengurangan volume tanah (Hardiyatmo, 2016).

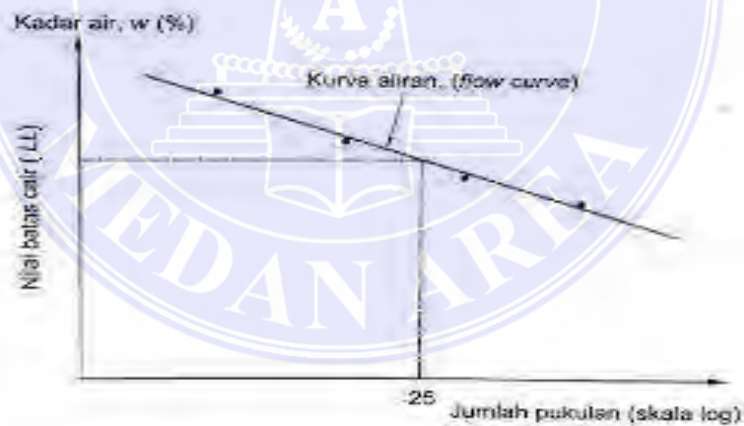
2.6.1 Batas Cair (*Liquid Limit, LL*)

Batas cair (*LL*), didefinisikan sebagai kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis, yaitu batas atas dari daerah plastis. Batas cair biasanya ditentukan dari uji Casagrande (1948). Gambar skematis dari alat pengukur batas cair dapat dilihat pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3 Skema alat uji batas cair
Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

Contoh tanah dimasukkan dalam cawan. Tinggi contoh dalam cawan kira-kira 8 mm. Alat pembuat alur (*grooving tool*) dikerukkan tepat di tengah-tengah cawan hingga menyentuh dasarnya. Kemudian, dengan alat penggetar, cawan diketuk-ketukkan pada landasan dengan tinggi jatuh 1 cm. persentase kadar air yang dibutuhkan untuk menutup celah sepanjang 12,7 mm pada dasar cawan, sesudah 25 kali pukulan, didefinisikan sebagai batas cair tanah tersebut. Karena sulitnya mengatur kadar air pada waktu celah menutup pada 25 kali pukulan, maka biasanya percobaan dilakukan beberapa kali, yaitu dengan kadar air yang berbeda dengan jumlah pukulan berkisar antara 15 sampai 35. Kemudian, hubungan kadar air dan jumlah pukulan digambarkan dalam grafik semi logaritmik untuk menentukan kadar air pada 25 kali pukulan dapat dilihat di gambar 2.4 dibawah (Hardiyatmo, 2016).



Gambar 2.4 Kurva untuk penentuan batas cair lempung
Sumber: Hary Chritady Hardiyatmo, 2016

Kemiringan dari garis dalam kurva didefinisikan sebagai indeks aliran (*flow index*), dan dinyatakan dalam persamaan:

$$I_F = \frac{w_1 - w_2}{\log(N_2/N_1)} \quad (2.4)$$

Dengan:

I_F = indeks aliran

w_1 = kadar air (%) pada N_1 pukulan

w_2 = kadar air (%) pada N_2 pukulan

Perhatikan bahwa nilai w_1 dan w_2 dapat ditukarkan untuk memperoleh nilai positifnya, walaupun kemiringan kurva sebenarnya negatif.

Dari banyak uji batas-cair, Waterways Experiment Station di Vicksburg, Mississippi (1949), mengusulkan persamaan batas cair:

$$LL = w_N \left(\frac{N}{25}\right)^{tg\beta} \quad (2.5)$$

Dengan :

LL = *liquid limit*

N = jumlah pukulan, untuk menutup celah 0,5 in (12,7 mm)

w_N = kadar air (gram)

$tg\beta = 0,121$ (tapi $tg\beta$ tidak sama dengan 0,121 untuk semua jenis tanah)

Tabel 2.6 Harga-harga $(N/25)^{0,121}$

N	$(N/25)^{0,121}$	N	$(N/25)^{0,121}$
20	0,973	26	1,005
21	0,979	27	1,009
22	0,985	28	1,014
23	0,99	29	1,018
24	0,995	30	1,022
25	1,000		

Sumber : Braja M. Das, 2017

2.6.2 Batas Plastis (*Plastic Limit, PL*)

Batas plastis (*PL*), didefinisikan sebagai kadar air pada kedudukan antara daerah plastis dan semi padat, yaitu persentase kadar air dimana tanah dengan diameter silinder 3,2 mm mulai retak-retak ketika digulung (Braja M. Das, 2017).

2.6.3 Indeks Plastisitas (*Plasticity Index*)

Indeks plastisitas (*PI*) adalah selisih batas cair dan batas plastis:

$$PI = LL - PL \quad (2.6)$$

Dengan :

PI = indeks plastisitas

LL = *liquid limit*

PL = *plastic limit*

Indeks plastisitas (*PI*) merupakan interval kadar air dimana tanah masih bersifat plastis. Karena itu, indeks plastisitas menunjukkan sifat keplastisan tanah. Jika tanah mempunyai *PI* tinggi, maka tanah mengandung banyak butiran tanah.. Jika *PI* rendah, seperti lanau, sedikit pengurangan kadar air berakibat lempung menjadi kering. Batasan mengenai indeks plastisitas, sifat, macam tanah, dan kohesi diberikan oleh Atterberg terdapat dalam Tabel 2.7 (Hardiyatmo, 2016).

Tabel 2.7 Nilai indeks plastisitas dan macam tanah

<i>PI</i>	Sifat	Macam Tanah	Kohesi
0	Non plastis	Pasir	Non kohesif
< 7	Plastisitas rendah	Lanau	Kohesif sebagian
7 - 17	Plastisitas sedang	Lempung berlanau	Kohesif
> 17	Plastisitas tinggi	Lempung	Kohesif

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

2.7 Analisa Ukuran Butiran

Sifat – sifat tanah sangat bergantung pada ukurabn butirannya. Besarnya butiran dijadikan dasar untuk pemberian nama dan klasifikasi tanah. Oleh karena itu, analisa butiran tanah adalah penentuan presentase berat butiran pada satu unit saringan, dengan ukuran diameter lubang tertentu (Hardiyatmo, 2016).

2.7.1 Tanah Berbutiran Kasar

Distribusi ukuran tanah untuk berbutir kasar dapat ditentukan dengan cara menyaring. Caranya, tanah benda uji disaring lewat satu unit saringan standart. Berat tanah yangn tinggal pada masing-masing saringan ditimbang, lalu peresentase terhadap berat kumulatif tanah dihitung. Contoh nomor-nomor saringan dan diameter lubang dari standart Amerika dapat dilihat dalam table 2.8 (Hardiyatmo, 2016).

Tabel 2.8 Saringan standart Amerika

No. saringan	Diameter lubang (mm)
3	6,35
4	4,75
6	3,35
8	2,36
10	2,00
16	1,18
20	0,85
30	0,60
40	0,42
50	0,30
60	0,25
70	0,21
100	0,15
140	0,106
200	0,075
270	0,053

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

2.7.2 Tanah Berbutiran Halus

Distribusi ukuran tanah untuk berbutir halus atau bagian berbutir halus dari tanah berbutir kasar, dapat ditentukan dengan cara sedimentasi. Metode ini didasarkan pada hokum Stokes, yang berkenaan dengan kecepatan mengndap butiran pada larutan suspense (Hardiyatmo, 2016).

Menurut Stokes, kecepatan mengendap butiran dapat ditentukan dari persamaan :

$$v = \frac{Y_s - Y_w}{18\mu} D^2 \quad (2.7)$$

Dengan :

V = kecepatan, sama dengan jarak/waktu (L/t)

Y_w = berat volume air (g/cm^3)

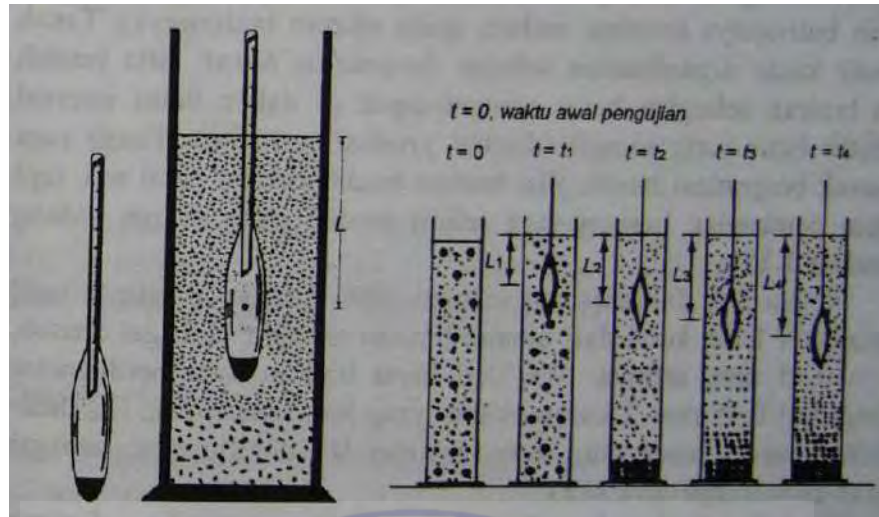
Y_s = berat volume butiran padat (g/det/cm^2)

μ = kekentalan air absolut (g.det/cm^2)

D = diameter butiran tanah (mm)

Hukum Stokes tidak cocok untuk butiran yang lebih kecil dari 0,0002 mm, karena gerak turunnya butiran akan dipengaruhi oleh gerak Brownian.

Pada uji hydrometer, tanah benda uji sebelumnya harus dibebaskan dari zat organik, kemudian tanah dilarutkan ke dalam air destilasi yang dicampuri dengan bahan pendeflokulasi (deflocculating agent) dapat berupa sodium hexametaphosphate agar partikel – partikel menjadi bagian yang terpisah satu dengan yang lain. Gambar 2.5 menunjukkan alat hydrometer dan posisi hydrometer saat pengendapan berlangsung (Hardiyatmo, H.C, 2016).



Gambar 2.5 Alat hydrometer dan posisi hydrometer saat pengendapan berlangsung

Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

2.8 Pemadatan

Tanah, kecuali berfungsi sebagai pendukung fondasi bangunan, juga digunakan sebagai bahan timbunan seperti: tanggul, bendungan, dan jalan. Jika tanah dilapangan membutuhkan perbaikan guna mendukung bangunan di atasnya, atau tanah akan digunakan sebagai bahan timbunan, maka pemadatan sering dilakukan (Braja M. Das, 2017).

Tingkat pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Bila air ditambahkan kepada suatu tanah yang sedang dipadatkan, air tersebut akan berfungsi sebagai pembasah (pelumas) pada partikel-partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeseran satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Untuk usaha pemadatan yang sama, berat volume kering dari tanah akan naik bila kadar air dalam tanah (pada saat dipadatkan) meningkat. Harap dicatat bahwa pada saat kadar air $w = 0$, berat volume basah dari tanah (V') adalah sama dengan

berat volume keringnya (γ_d), atau bisa dilihat di persamaan dibawah (Braja M. Das, 2017).

$$\gamma = \gamma_{d(w=0)} = \gamma_1 \quad (2.7)$$

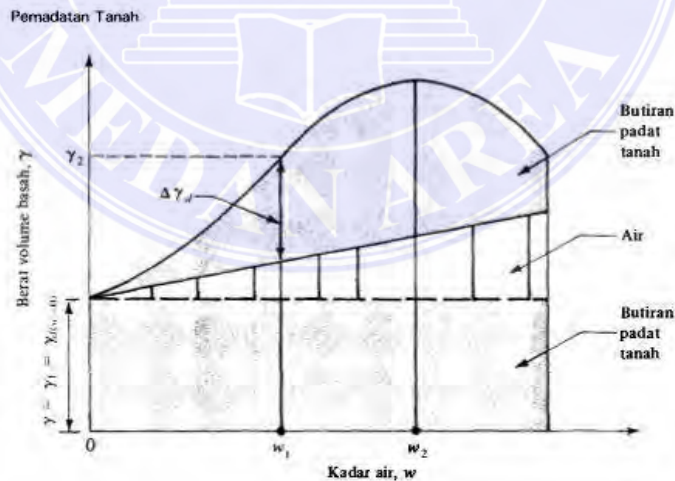
Bila kadar airnya ditingkatkan terus secara bertahap pada usaha pemadatan yang sama, maka berat dari jumlah bahan padat dalam tanah persatuan volume juga meningkat secara bertahap pula. Misalnya, pada $w = w_1$, berat volume basah dari tanah sama dengan:

$$\gamma = \gamma_2 \quad (2.8)$$

Berat volume kering dari tanah tersebut pada kadar air ini dapat dinyatakan dalam persamaan dibawah ini :

$$\gamma_{d(w=w_1)} = \gamma_{d(w=0)} + \Delta \gamma_d \quad (2.9)$$

Prinsip – prinsip pemadatan tanah, saat dilakukan uji pemadatan di laboratorium, diterangkan dalam gambar 2.6 dibawah.



Gambar 2.6 Prinsip Pemadatan
Sumber: Braja M. Das, 2017

Setelah mencapai kadar air tertentu $w = w_2$, adanya penambahan kadar air justru cenderung menurunkan berat volume kering dari tanah. Hal ini disebabkan karena air tersebut kemudian menempati ruang-ruang pori dalam tanah yang sebetulnya dapat di tempati oleh partikel-partikel padat dari tanah. Kadar air dimana harga berat volume kering maksimum tanah dicapai disebut *kadar air optimum* (Braja M. Das, 2017).

Percobaan-percobaan di laboratorium yang umum dilakukan untuk mendapatkan berat volume kering maksimum dan kadar air optimum adalah *Proctor Compaction Test (Uji Pemadatan Proctor)*, menurut nama penemunya, Proctor, 1933). Cara dan prosedur untuk melakukan percobaan tersebut akan dibahas dalam uraian-uraian berikut.

2.8.1 Uji Proctor Standar (*Standard Proctor Test*)

Untuk menentukan hubungan kadar air dan berat volume, dan untuk mengevaluasi tanah agar memenuhi persyaratan kepadatan, maka umumnya dilakukan uji pemadatan (Hardiyatmo, 2016).

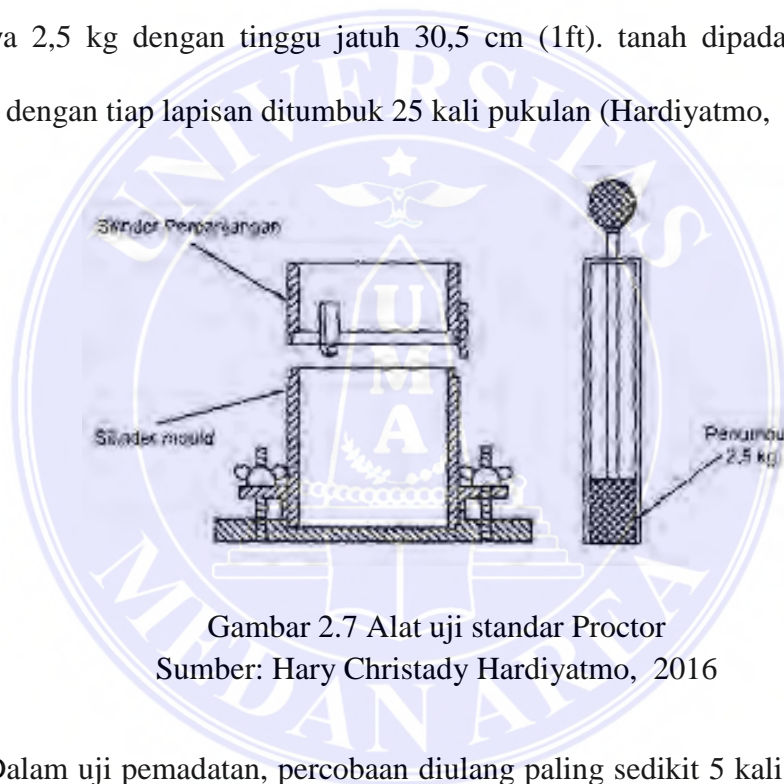
Proctor (1933) telah mengamati bahwa ada hubungan yang pasti antara kadar air dan berat volume kering tanah padat. Untuk berbagai jenis tanah pada umumnya, terdapat suatu nilai kadar air optimum tertentu untuk mencapai berat volume kering maksimumnya (Hardiyatmo, 2016).

Hubungan berat volume kering (γ_d) dengan berat volume basah (γ_b) dan kadar air (w), dinyatakan dalam persamaan :

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1+w} \quad (2.10)$$

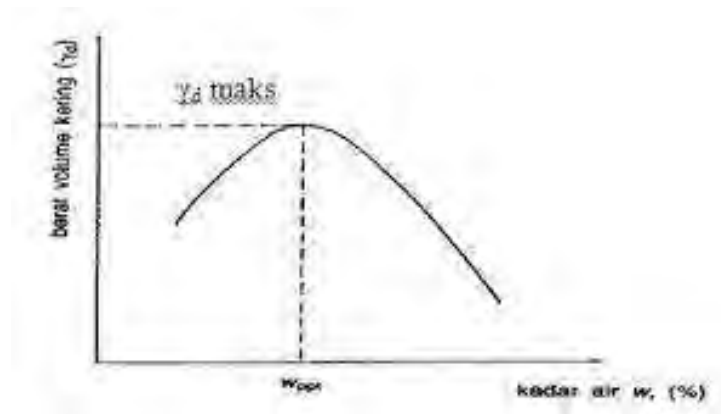
Berat volume kering setelah pemadatan bergantung pada jenis tanah, kadar air, dan usaha yang diberikan oleh alat penumbuknya. Karakteristik kepadatan tanah dapat dinilai dari pengujian standar laboratorium yang disebut uji Proctor.

Pada uji Proctor, tanah dipadatkan dalam sebuah alat pemadat berupa silinder *mould* yang mempunyai volume $9,44 \times 10^{-4} \text{ m}^3$. Tanah dicampur air dengan kadar yang berbeda-beda dan kemudian dipadatkan dengan menggunakan penumbuk khusus. Tanah di dalam *mould* dipadatkan dengan penumbuk yang beratnya 2,5 kg dengan tinggu jatuh 30,5 cm (1ft). tanah dipadatkan dalam 3 lapisan dengan tiap lapisan ditumbuk 25 kali pukulan (Hardiyatmo, 2016).



Gambar 2.7 Alat uji standar Proctor
Sumber: Hary Christady Hardiyatmo, 2016

Dalam uji pemadatan, percobaan diulang paling sedikit 5 kali dengan kadar air tiap percobaan divariasikan. Kemudian, digambarkan sebuah grafik hubungan kadar air dan berat volume keringnya. Kurva yang dihasilkan dari pengujian memperlihatkan nilai kadar air yang terbaik (w_{opt}) untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Berikut grafik hubungan kadar air dan berat volume kering terlihat di gambar 2.8.



Gambar 2.8 Kurva hubungan kadar air dan berat volume kering
Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2016

Pada nilai kadar air rendah, untuk kebanyakan tanah, tanah cenderung bersifat kaku dan sulit dipadatkan. Setelah kadar air ditambah, tanah menjadi lebih lunak. Pada kadar air yang tinggi, berat volume kering berkurang. Bila seluruh udara di dalam tanah dapat dipaksa keluar pada waktu pemadatan, tanah akan berada pada kedudukan jenuh dan nilai berat volume kering akan menjadi maksimum. Akan tetapi, dalam praktik, kondisi ini sulit dicapai (Hardiyatmo, 2016).

Kemungkinan berat volume kering maksimum dinyatakan sebagai berat volume kering dengan tanpa rongga udara atau berat volume kering saat tanah menjadi jenuh (γ_{zav}), dapat dihitung dari persamaan:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + w G_s} \quad (2.11)$$

Karena saat tanah jenuh ($S = 1$) dan $e = w G_s$, maka:

$$\gamma_{zav} = \frac{G_s \gamma_w}{1 + e} \quad (2.12)$$

dimana,

γ_{zav} = berat volume pada kondisi *zero air void* (t/m^3)

γ_w = berat volume air (Cc)

e = angka pori

G_s = berat spesifik butiran pada tanah

Berat volume kering (γ_d) setelah pemadatan pada kadar air w dengan kadar udara (*water content*), A ($A = V_a/V = \text{volume udara/volume total}$) dapat dihitung dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{G_s (1-A)\gamma_w}{1+wG_s} \quad (2.13)$$

Spesifikasi yang diberikan untuk uji Proctor menurut ASTM dan AASHTO dengan volume cetakan sebesar $1/30 \text{ ft}^3$ dan jumlah tumbukan 25 kali per lapisan pada umumnya dipakai untuk tanah-tanah berbutir halus yang lolos ayakan Amerika no. 4. Sebenarnya, pada masing-masing ukuran cetakan masih ada empat metode lain yang disarankan, yang berbeda-beda menurut ukuran cetakan, jumlah tumbukan per lapisan, dan ukuran partikel tanah maksimum pada agregat tanah yang dipadatkan (Hardiyatmo, 2016).

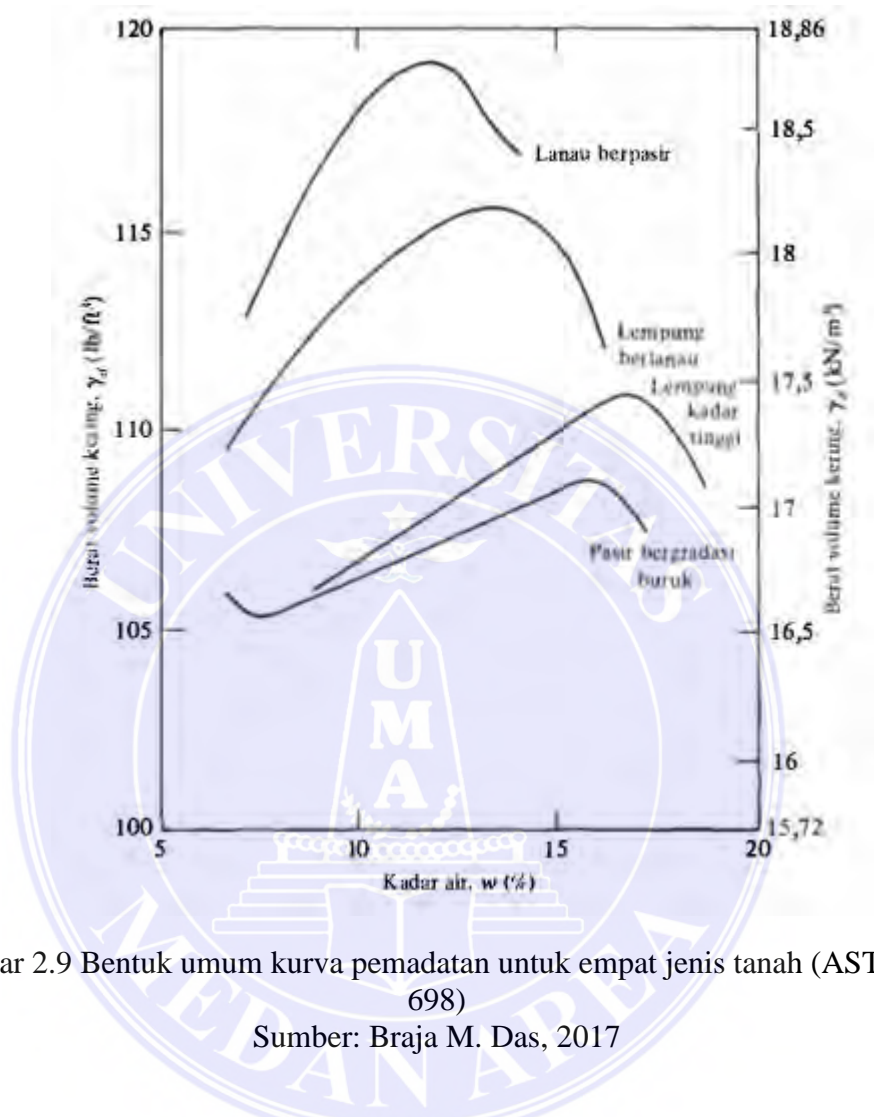
2.8.2 Faktor-faktor Yang Mempengaruhi Hasil Pemadatan

Pada sub-sub terdahulu ditunjukkan bahwa kadar air mempunyai pengaruh yang besar terhadap tingkat kepadatan yang dapat dicapai oleh suatu tanah. Selain kadar air, factor yang sangat mempengaruhi kepadatan adalah jenis tanah dan usaha pemadatan (Braja M. Das, 2017).

1) Pengaruh Jenis Tanah

Jenis tanah, seperti distribusi ukuran butiran, bentuk butiran tanah, berat jenis dan macam mineral lempung yang terdapat dalam tanah sangat berpengaruh pada berat volume maksimum dan kadar air optimumnya. Prosedur pemadatan diuji menurut ASTM *Test Designation* D – 698. Sifat-sifat khusus kurva

pemadatan yang diperoleh oleh beberapa macam tanah diperlihatkan pada gambar 2.9.

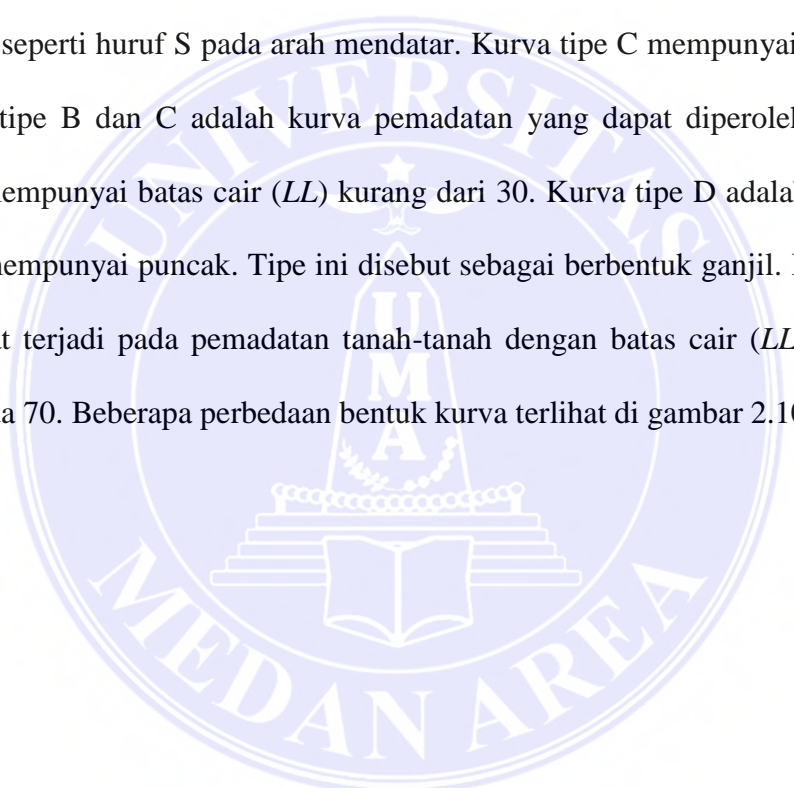


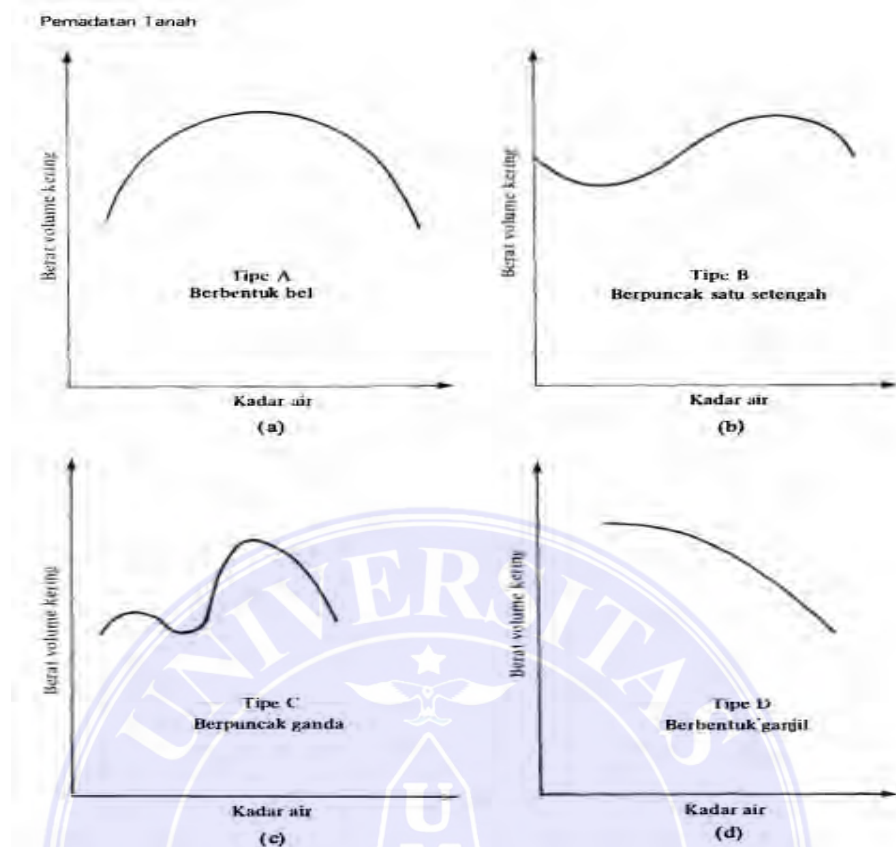
Gambar 2.9 Bentuk umum kurva pemadatan untuk empat jenis tanah (ASTM D-698)
 Sumber: Braja M. Das, 2017

Kurva pemadatan berbentuk bel adalah umum terdapat pada hampir semua tanah lempung. Pada tanah pasir, harga berat volume kering cenderung menurun dahulu dengan naiknya kadar air, kemudian naik sampai mencapai harga maksimum dengan penambahan kadar air lebih lanjut. Penurunan berat volume pada awal kurva disebabkan karena pengaruh peristiwa kapiler pada tanah. Pada kadar air yang lebih rendah, adanya tegangan tarik kapiler pada pori-pori tanah mencegah kecenderungan partikel tanah untuk bergerak lebih bebas untuk

menjadi lebih padat. Kemudian tegangan kapiler tersebut akan berkurang dengan bertambahnya kadar air sehingga partikel-partikel menjadi mudah bergerak dan menjadi lebih dekat.

Lee dan Suedkamp (1972) mempelajari kurva-kurva pemadatan untuk 35 jenis tanah, hasilnya terdapat beberapa perbedaan bentuk kurva pemadatan. Kurva tipe A adalah kurva yang mempunyai satu puncak. Tipe ini biasanya ditemukan pada tanah-tanah yang mempunyai batas cair 30 dan 70. Kurva tipe B mempunyai bentuk seperti huruf S pada arah mendatar. Kurva tipe C mempunyai dua puncak. Kurva tipe B dan C adalah kurva pemadatan yang dapat diperoleh pada tanah yang mempunyai batas cair (*LL*) kurang dari 30. Kurva tipe D adalah kurva yang tidak mempunyai puncak. Tipe ini disebut sebagai berbentuk ganjil. Kurva C atau D dapat terjadi pada pemadatan tanah-tanah dengan batas cair (*LL*) lebih besar daripada 70. Beberapa perbedaan bentuk kurva terlihat di gambar 2.10





Gambar 2.10 Berbagai macam tipe kurva pemadatan yang sering dijumpai pada tanah

Sumber: Braja M. Das, 2017

2. Pengaruh Usaha Pemadatan

Energy pemadatan per volume satuan E dinyatakan oleh persamaan:

$$E = \frac{N_b N_l W H}{V} \quad (2.14)$$

dengan,

N_b = jumlah pukulan per lapisan

N_l = jumlah lapisan

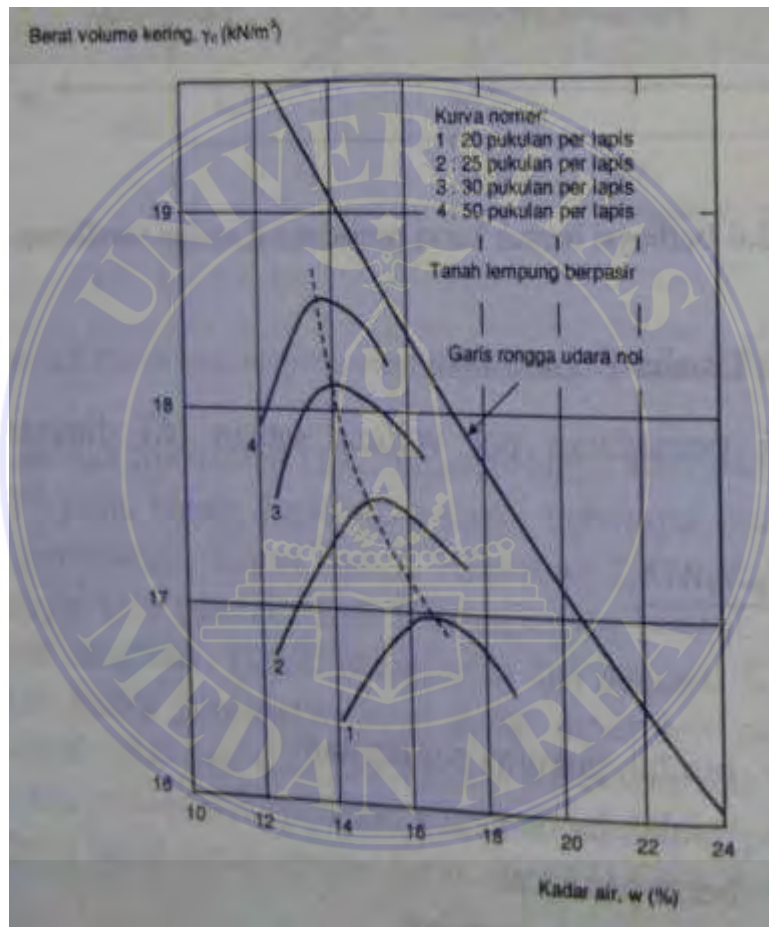
W = berat pemukul

H = tinggi jatuh pemukul

V = volume *mould*

Pada uji standar Proctor:

Jika usaha pemadatan per volume satuan E berubah, maka bentuk kurva hubungan kadar air terhadap berat volume kering juga berubah. Jumlah lapisan pada saat pemadatan di dalam *mould* sama, yaitu 3 lapisan, akan tetapi jumlah pukulan pada tiap lapisan dibedakan, yaitu antara 20 sampai 50 kali pukulan. Pada Gambar 2.11 diperlihatkan hasil uji pemadatan tanah lempung berpasir dengan *mould* dari standar Proctor.



Gambar 2.11 Pengaruh energi pemadatan pada hasil pemadatan lempung berpasir
 Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2016

Besarnya energy pemadatan dihitung dengan menggunakan Persamaan (2.15) dan hasilnya diperlihatkan dalam Tabel 2.9.

$$E = \frac{(25)(3)(5,5)(1)}{(1/30)} = 12375 \text{ ft} - \text{ft}^3(592,5 \text{ kJ/m}^3) \quad (2.15)$$

Tabel 2.9 Hitungan energi pemadatan

No. Kurva pada Gambar 2.9	Jumlah pukulan per lapisan (Nb)	Energi pemadatan (ft-lb/ft ³)
1	20	9900
2	25	12375
3	30	14850
4	50	24750

Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2016

Catatan 1 ft-lb/ft³ = 47,99 J/m³

2.9 CBR (*California Bearing Ratio*)

Lapisan tanah yang akan dipakai sebagai lapisan sub-base atau sub-grade suatu konstruksi jalan pada umumnya memerlukan proses pemadatan agar mampu menerima beban sesuai dengan yang direncanakan. Salah satu cara untuk mengukur kekokohan (*bearing*) lapisan tanah adalah pengujian California Bearing Ratio (CBR).

California Bearing Ratio (CBR) merupakan suatu perbandingan antara beban percobaan (*test load*) dengan beban standar (*standar load*) dan dinyatakan dalam persentase. CBR juga merupakan perbandingan antara bahan penetrasi suatu bahan terhadap beban standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama.

Lebih jelas lagi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$CBR = \frac{P_T}{P_S} \times 100\% \quad (2.16)$$

Dalam hal ini:

P_T = beban percobaan (*test load*)

P_S = beban standar (*standard load*)

Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100% dalam memikul beban lalu lintas.

Tabel 2.10 Beban standar yang dipakai untuk percobaan CBR

Penetrasi plunyer (in)	Beban Standar (lb)	Penetrasi Plunyer (mm)	Beban Standar (kg)	Beban Standar (Kn)
0.10	3.000	2.50	1.370	13.50
0.20	4.500	5.00	2.055	20.00
0.30	5.700	7.50	2.630	25.50
0.40	6.900	10.00	3.180	31.00
0.50	7.800	12.50	3.600	35.00

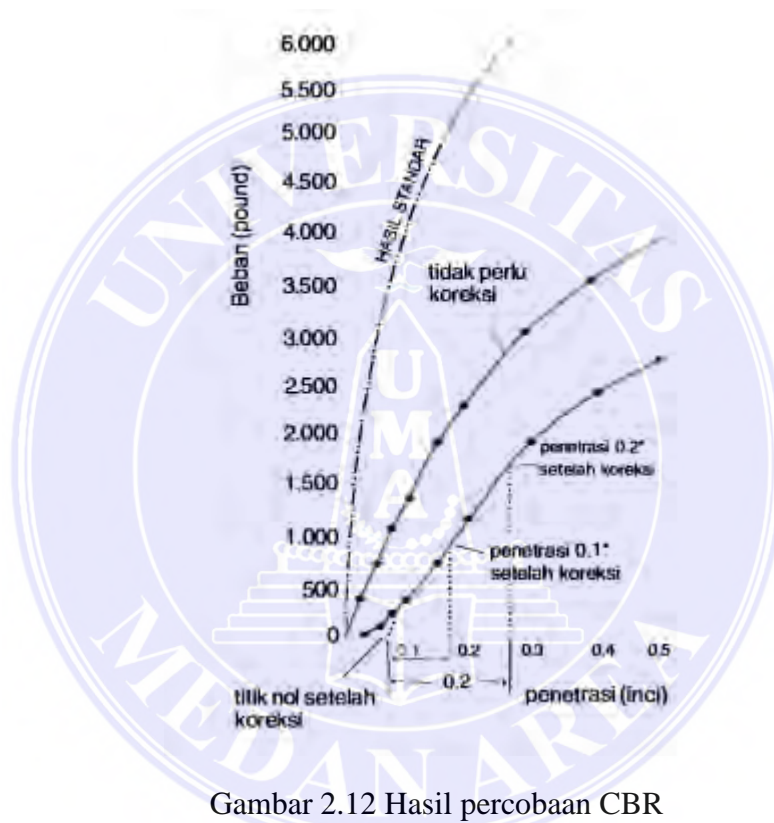
Sumber: Ir. G. Djatmiko Soedarmo, Ir. S. J. Edy Purnomo,

Prinsip dasar dari pengujian CBR adalah membandingkan besarnya beban (gaya) yang diperlukan untuk menekan torak dengan luas penampang 3 inch² ke dalam lapisan perkerasan sedalam 0,1 inch (2,54 mm) atau 0,2 inch (5,08 mm) dengan beban standar. Oleh karena itu, kekokohan lapisan perkerasan dinyatakan dalam “kekokohan relatif” atau persen kekokohan. Besarnya beban standar penetrasi 0,1 inch adalah 3000 lbs (*pound*) atau sekitar 1350 kg, sedangkan besarnya beban standar untuk penetrasi 0,2 inch adalah 4500 lbs atau sekitar 2025 kg.

Suatu hal yang perlu diingat bahwa pengujian CBR hanya mengukur kekokohan relatif dari lapisan permukaan tanah, karena diameter penampang torak yang dipergunakan hanya sekitar 4,96 cm, sehingga daerah (volume) lapisan tanah di bawah torak yang terpengaruhi tekanan (*stress bulb*) hanya di permukaan.

Metoda CBR ini mula-mula diciptakan oleh O.J. Porter, kemudian dikembangkan oleh California Stage Highway Departement, tetapi kemudian dikembangkan dan dimodifikasi oleh corps insinyur-insinyur tetantara Amerika

Serikat (*U.S. Army Corps of Engineers*). Metoda ini mengkombinasikan percobaan pembebanan di laboratorium atau di lapangan dengan rencana empiris (*empirical design charts*) untuk menentukan tebal lapisan perkerasan. Hal ini digunakan sebagai metode perencanaan perkerasan lentur (*flexible pavement*) jalan raya dan lapangan terbang. Adapun hasil grafik dari hasil percobaan cbr dapat dilihat pada gambar berikut.



Gambar 2.12 Hasil percobaan CBR
 Sumber: Ir. G. Djatmiko Soedarmo, Ir. S. J. Edy Purnomo,

2.10 Tanah Gambut

Indonesia memiliki lahan gambut terluas diantara negara tropis, yaitu sekitar 21 juta ha, yang tersebar terutama di Sumatera, Kalimantan dan Papua (Litbang SDLP, 2008 dalam Agus dan Subiksa, 2008). Perluasan pemanfaatan lahan gambut meningkat pesat di beberapa provinsi yang memiliki area gambut luas, seperti Riau, Kalimantan Barat dan Kalimantan Tengah. Namun karena

variabilitas lahan ini sangat tinggi, baik dari segi ketebalan gambut, kematangan maupun kesuburannya, tidak semua lahan gambut layak untuk dijadikan area pertanian dan juga area pembangunan konstruksi. Faktor pembatas utama adalah kondisi media perakaran dan unsur hara 5 yang tidak mendukung pertumbuhan tanaman. Dari 18,3 juta ha lahan gambut di pulau-pulau utama Indonesia, hanya sekitar 6 juta ha yang layak untuk pertanian (Agus dan Subiksa, 2008).

Susunan kandungan senyawa organik dan hara mineral dari tanah gambut sangat beragam. Tergantung pada jenis jaringan penyusun gambut, lingkungan pembentukan dan perlakuan reklamasi. Senyawa organik utama terdapat dalam gambut antara lain hemiselulosa, selulosa, dan lignin. Selain senyawa tersebut juga terdapat senyawa tanin dan resin dalam jumlah kecil. Kadar senyawa polisakarida, hemiselulosa dan tanin menurun relatif cepat jika gambut makin dalam sampai jeluk 40 cm dan selanjutnya menurun sangat kecil, kecuali hemiselulosa dari hutan alami. Selulosa meningkat secara perlahan jika gambut makin dalam kecuali hutan alami (Ratmini, 2012). Tanah gambut merupakan tanah yang berbahan induk dari sisa tumbuhan dengan proses dekomposisi anaerobic terhambat.

2.10.1 Pembentukan Tanah Gambut

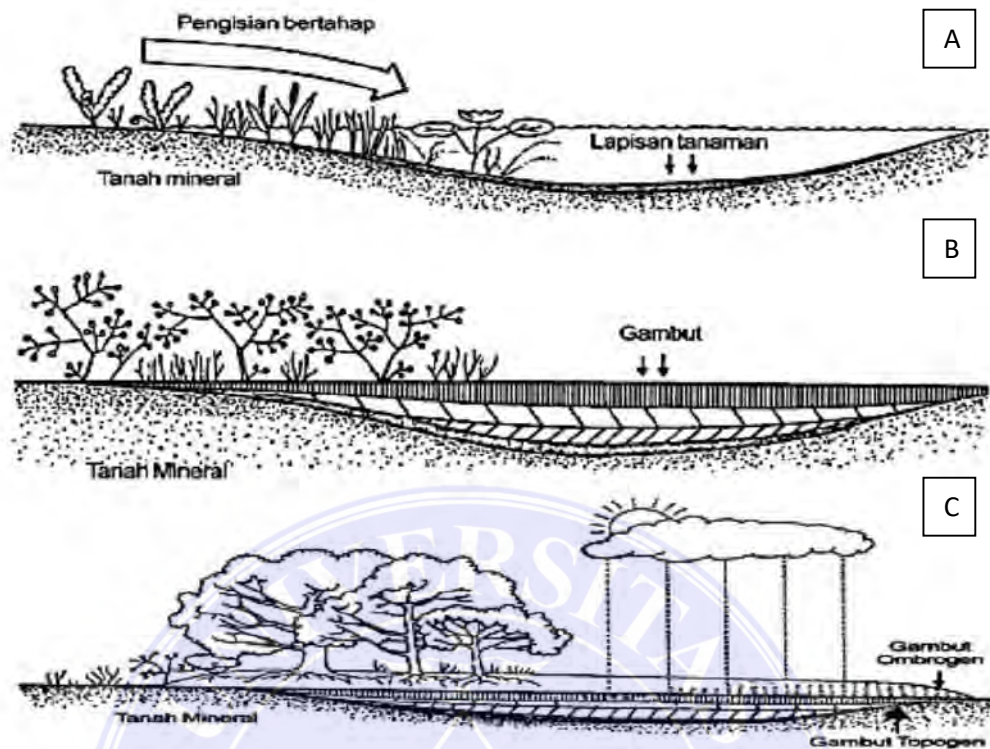
Gambut terbentuk dari timbunan sisa-sisa tanaman yang telah mati, baik yang sudah lapuk maupun belum. Timbunan terus bertambah karena proses dekomposisi terhambat oleh kondisi anaerob dan kondisi lingkungan lainnya yang menyebabkan rendahnya tingkat perkembangan biota pengurai. Pembentukan tanah gambut merupakan proses geogenik yaitu pembentukan tanah yang disebabkan oleh proses deposisi dan transportasi, berbeda dengan proses

pembentukan tanah mineral yang pada umumnya merupakan proses pedogenik (Agus, F. dan I.G. M. Subikasi 2008).

Proses pembentukan gambut dimulai dari adanya danau dangkal yang secara perlahan ditumbuhi oleh tanaman air dan vegetasi lahan basah. Tanaman yang mati dan melapuk secara bertahap membentuk lapisan yang menjadi lapisan transisi antara lapisan gambut dengan substratum (lapisan di bawahnya) berupa tanah mineral. Tanaman berikutnya tumbuh pada bagian yang lebih tengah dari danau tersebut menjadi penuh.

Bagian gambut yang tumbuh mengisi danau dangkal tersebut disebut dengan gambut topogen karena proses pembentukannya disebabkan oleh topografi daerah cekungan. Gambut topogen biasanya relatif subur (eutrofik) karena adanya pengaruh tanah mineral. Bahkan pada waktu tertentu, misalnya jika ada banjir besar terjadi pengkayaan mineral yang menambah kesuburan gambut tersebut. Tanaman tertentu masih dapat tumbuh subur di atas gambut topogen.

Hasil pelapukan membentuk lapisan gambut baru yang lama kelamaan membentuk kuba (dome) gambut yang permukaannya cembung. Gambut yang tumbuh diatas gambut topoge dikenal dengan gambut ombrogen, yang pembentukannya dibandingkan dengan gambut topogen karena hampir tidak ada pengkayaan mineral. Berikut gambar 2.13 adalah pembentukan gambut.



Gambar 2.13 Proses pembentukan gambut di daerah cengkung lahan basah :
a. Pengisian danau dangkal oleh vegetasi lahan basah, b. Pembentukan gambut topegen , dan c. Pembentukan gambut ombrogen diatas gambut topogen (Noor, 2001 mengutip van de meene, 1982)

2.10.2 Klasikasi Tanah Gambut

Secara umum dalam klasifikasi tanah, tanah gambut dikenal sebagai Organosol atau Histosols yaitu tanah yang memiliki lapisan bahan organik dengan berat jenis (BD) dalam keadaan lembab $< 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 60 \text{ cm}$ atau lapisan organik dengan $\text{BD} > 0,1 \text{ g cm}^{-3}$ dengan tebal $> 40 \text{ cm}$ (Agus, F. dan I.G. M. Subikasi 2008).

Gambut di Indonesia sebagian besar tergolong gambut mesotrofik dan oligotrofik. Gambut eutrofik di Indonesia hanya sedikit dan umumnya tersebar di daerah pantai dan di sepanjang jalur aliran sungai. Tingkat kesuburan gambut

ditentukan oleh kandungan bahan mineral dan basa-basa, dan ketebalan lapisan gambut (Agus, F. dan I.G. M. Subikasi 2008).

Gambut diklasifikasi lagi berdasarkan berbagai sudut pandang yang berbeda: dari tingkat kematangan, kedalaman, kesuburan dan posisi pembentukannya. Berdasarkan tingkat kematangannya, gambut dibedakan menjadi:

- Gambut saprik (matang) adalah gambut yang sudah melapuk lanjut dan bahan asalnya tidak dikenali, berwarna coklat tua sampai hitam, dan bila diremes kandungan seratnya < 15%
- Gambut hemik (setengah matang) adalah gambut setengah lapuk, sebagian bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, dan bila diremas bahan seratnya 15 – 75%.
- Gambut fibrik (mentah) adalah gambut yang belum melapuk, bahan asalnya masih bisa dikenali, berwarna coklat, bila diremes > 75% seratnya masih tersisah.

Berdasarkan tingkat kesuburannya, gambut dibedakan menjadi:

- Gambut eutrofik adalah gambut yang subur yang kaya akan bahan mineral dan basa-basa serta unsur hara lainnya. Gambut yang relatif subur biasanya adalah gambut yang tipis dan dipengaruhi oleh sedimen sungai atau laut.
- Mesotrofik adalah gambut yang agak subur karena memiliki kandungan mineral dan basa-basa sedang.
- Gambut oligotrofik adalah gambut yang tidak subur karena miskin mineral dan basa – basa.

Berdasarkan lingkungan pembentukannya, gambut dibedakan atas:

- Gambut ombrogen yaitu gambut yang berbentuk pada lingkungan yang hanya di pengaruhi oleh air hujan,
- Gambut topoge yaitu gambut yang terbentuk di lingkungan yang mendapat pengayaan air pasang. Dengan demikian gambut topogen akan lebih kaya mineral dan lebih subur dibandingkan dengan gambut ombrogen.

Berdasarkan kedalamannya gambut dibedakan menjadi :

- Gambut dangkal (50 – 100 cm),
- Gambut sedang (100-200 cm),
- Gambut dalam (200-300 cm),
- Gambut sangat dalam (>300 cm)

Berdasarkan proses dan lokasi pembentukannya, gambut dibagi menjadi :

- Gambut pantai adalah gambut yang terbentuk dekat pantai laut dan mendapat pengayaan mineral dari air laut
- Gambut pedalaman adalah gambut yang terbentuk di daerah yang tidak dipengaruhi oleh pasang surut air laut tetapi hanya oleh air hujan.
- Gambut transisi adalah gambut yang terbentuk di antara kedua wilayah tersebut, yang secara tidak langsung dipengaruhi oleh air pasang laut.

2.11 Semen

Semen berasal dari bahasa latin *caementum* yang berarti bahan perekat. Secara sederhana, Definisi semen adalah bahan perekat atau lem, yang bisa merekatkan bahan – bahan material lain seperti batu bata dan batu koral hingga bisa membentuk sebuah bangunan. Sedangkan dalam pengertian secara umum semen diartikan sebagai bahan perekat yang memiliki sifat mampu mengikat

bahan – bahan padat menjadi satu kesatuan yang kompak dan kuat. (Bonardo Pangaribuan, Holcim).

Definisi Semen Portland berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) nomor 15-2049-2004, semen Portland adalah semen hidrolisis yang dihasilkan dengan cara menggiling terak (Clinker) portland terutama yang terdiri dari kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) yang bersifat hidrolis dan digiling bersama – sama dengan bahan tambahan berupa satu atau lebih bentuk kristal senyawa kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan boleh ditambah dengan bahan tambahan lain (Mineral in component). Hidrolis berarti sangat senang bereaksi dengan air, senyawa yang bersifat hidrolis akan bereaksi dengan air secara cepat. Semen portland bersifat hidrolis karena di dalamnya terkandung kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) dan kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) yang bersifat hidrolis dan sangat cepat bereaksi dengan air. Reaksi semen dengan air berlangsung secara irreversibel, artinya hanya dapat terjadi satu kali dan tidak bisa kembali lagi ke kondisi semula (Hadiyatmo, 2017).

Unsur utama pembentukan semen kalsium oksida, silikat, dan aluminat yang membentuk seperti pasta pengikat, ketika terhidrasi. Media perekat ini kemudian akan memadat dan membentuk massa yang keras. Reaksi pembentukan media perekat ini disebut hidrasi. Pada proses hidrasi tersebut, hasil hidrasi ini akan mengendap di bagian luar, sedangkan di bagian dalam akan terhidrasi secara bertahap, sehingga volumenya mengecil. Umumnya terdapat 5 tipe semen yang terlihat pada table 2.11 dibawah ini.

Tabel 2.11 Tipe-tipe semen

Tipe - Tipe Semen	Pengertian dan Fungsi Semen
Tipe I	Semen Portland biasa (<i>ordinary portland cement</i>), digunakan untuk bangunan pada umumnya, dimana tidak ada persyaratan khusus
Tipe II	Semen tahan sulfat sedaan (<i>moderately sulfate-restraint cement</i>), digunakan untuk bangunan pada umumnya terutama bila disyaratkan agak tahan terhadap sulfat dan panas hidrasi sedang
Tipe III	Semen kekuatan cepat tinggi (<i>high early cement</i>), digunakan untuk bangunan pada yang menuntut persyaratan kekuatan awal yang tinggi
Tipe IV	Semen hidrasi panas tinggi (<i>highly sulfate-restraint cement</i>), digunakan untuk bangun-bangunan yang mensyaratkan pada hidrasinya rendah
Tipe V	Semen tahan sulfattinggi (<i>highly sulfate-restraint cement</i>), digunakan untuk bangun-bangunan yang mensyaratkan sangat tahan terhadap sulfat

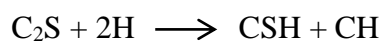
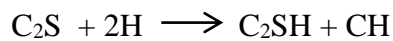
Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2017

Kalsium silfikat (C_3S dan C_2S) merupakan unsur yang paling banyak, yaitu mencapai 70-80% dari semen, sehingga merupakan unsur yang berpengaruh beda pada sifat semen. Bila semen terkena air, C_3S segera terhidrasi dan menghasilkan panas. Selain itu C_3S juga berpengaruh beda pada kecepatan pengerasan semen, terutama sebelum mencapai umur 14 hari. Sebaliknya, C_2S bereaksi lebih lambat dengan air, sehingga pengaruhnya pada pengerasan semen setelah berumur lebih dari 7 hari, dan kemudian memberikan kekuatan finalnya. Unsur C_2S juga membuat semen tahan terhadap serangan bahan kimia, selain juga mereduksi besarnya penyusutan saat pengeringan. Untuk terjadinya reaksi kimia, kedua unsur utama ini membutuhkan air berturut-turut sekitar 24% dan 21% dari

beratnya. Namun, saat terjadinya hidrasi, C_3S membebaskan kalsium hidroksida hampir 3 kali lebih banyak dari yang dibebaskan oleh C_2S . karena itu, jika C_3S mempunyai presentase lebih tinggi, maka akan menghasilkan proses pengerasan yang cepat pada pembentukan kekuatan awalnya yang disertai dengan panas hidrasi yang tinggi. Sebaliknya, persen C_2S yang lebih tinggi menghasilkan proses pengerasan yang lambat, panas hidrasi yang rendah, namun mempunyai ketahanan terhadap serangan kimia yang lebih baik (Hardiyatmo, H.C., 2017)

Reaksi kimia pada saat terjadi hidrasinya semen, atau mekanisme bagaimana semen membuat stabil tanah, masih menjadi objek penelitian. Namun, dipercaya bahwa semen yang secara tipikal mengandung 63% CaO , 21% SiO_2 , 6% Al_2O_3 , 3% Fe_2O_3 , 3% MgO , ditambah oksida-oksida lain, bereaksi dengan silica dalam tanah dan mengikat partikel secara bersama-sama (Hardiyatmo, H.C., 2017).

Pada tanah-tanah pasir, banyak butiran-butiran individu yang tersementasi. Namun dalam tanah lempung, proporsi partikel yang tersementasi kecil. Karena semen portland biasa terdiri dari 45% trikalsium silikat (C_3S) dan 27% kalsium silikat (C_2S), dan berhidrasi oleh adanya tanah dalam bentuk gel mono dan kalsium silikat hidrat (CSH dan C_2SH), reaksinya dapat dinyatakan oleh (Ingles dan Metcalf, 1972):



Kapur bebas (CH) terlepas dari reaksi hidrasi. Gel kalsium silikat tak larut mengkristal sangat lambat kedalam suatu matrik saling mengisi.

Sembarang semen dapat digunakan untuk stabilisasi, tapi semen Portland biasa (Tipe I) lebih banyak digunakan. Semen Tipe II atau Tipe V juga pernah digunakan, karena ketahanan yang lebih besar terhadap sulfat, dengan biaya yang dikeluarkan relatif sama. Semen Tipe III yang mempunyai ukuran butiran lebih halus dan terdiri dari beberapa komposisi campuran yang berbeda menghasilkan kekuatan yang lebih tinggi pada stabilisasi tanah tipe tertentu (Hadiyatmo, 2017).

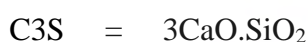
Spesifikasi sifat fisik dan kimiawi semen Portland dapat dilihat dalam ASTM 150. Distribusi ukuran butiran semen biasa (Tipe I) adalah sekitar 0,5 dan 100 mikron, dengan nilai rata-rata sekitar 20 mikron. Partikel yang lebih besar sulit atau jarang secara menyeluruh dapat terhidrasi. Partikel 10 mikron dapat membutuhkan waktu 3 bulan agar terhidrasi total (Hadiyatmo, 2017).

Semen yang digunakan harus cocok dengan standart normal, yaitu bahan yang jelek harus tidak digunakan. Jika semen khusus digunakan, maka pengaruh lingkungan perlu dipertimbangkan, sehingga perubahan dari pemakaian semen yang biasa digunakan masih dibenarkan. Semen yang cepat mengeras berguna untuk tanah-tanah organik, karna semen ini menggunakan kalsium ekstra untuk menetralkan adanya bahan organik. Kadang-kadang penggunaan bahan pelambat reaksi dapat membantu menanggulangi hilangnya kekuatan yang terjadi pada semen biasa (Tipe I), akibat penundaan dalam pemrosesan dan pematatan (Hadiyatmo, 2017).

SNI 03-3438-1994 mensyaratkan semen digunakan untuk stabilisasi semen adalah semen Tipe I, sesuai SII-0013-1981.

2.11.1 Komposisi kimia semen

Seperti yang telah disinggung di atas, bahan kimia utama penyusun semen adalah kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$), kalsium sulfat ($\text{CaSO}_4 \cdot x\text{H}_2\text{O}$) dan bahan tambahan lain (Mineral in component) yang akan berperan sebagai *cement filler*. Dimana mineral kalsium silikat ($x\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) bersifat sangat hidrolis, di dalam industri semen mineral – mineral penyusun semen diistilahkan sebagai C3S, C2S, C3A dan C4AF yang berarti :



Inilah yang membuat industri semen berbeda dengan industri kimia pada umumnya, dimana pada industri kimia lain C dipakai untuk Carbon, S untuk Sulfur, dan F untuk Fluoro sedangkan pada industri semen dipakai hanya untuk kemudahan dalam pelafalan (Hadiyatmo, 2017).

Setiap mineral penyusun semen tersebut, memiliki peran dan fungsi masing – masing terhadap sifat semen. Berikut fungsi dari masing – masing material dilihat pada table 2.12

Tabel 2.12 Mineral penyusun semen

Mineral	Empirical Formula	Fuction
C2S = [Alite]	3CaO - SiO ₂	Early Strength
C2S = [Belite]	2Cao - SiO ₂	Late Strength
C3A = [Aluminate]	3CaO - A12O3	Very Early Strength Lower hear of hydrattion Impairs resistance towards sulfate attack
C4AF = [Ferrite]	4Ca0 - A12O3 - Fe2o3	Effect on colours

Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2017

Tentu saja persentase untuk tiap material tersebut akan berbeda tergantung dari jenis semen yang di produksi dan kondisi operasi tiap – tiap pabrik semen yang berbeda – beda, tetapi secara umum range persentase untuk tiap material diberikan sebagai berikut.

Tabel 2.13 Range persentase mineral

Mineral	Empirical Formula	Persentase (% mass)
Tricalcium silicate	3CaO - SiO ₂	50 – 70
Tricalcium silicate	2Cao - SiO ₂	15 – 30
Dicalcium aluminate	3CaO - A12O3	5 – 10
Tetracalcium Aluminofluoritte	4Ca0 - A12O3 - Fe2o3	5 – 15
Tricalcium silicate	CaSO4 - xH ₂ O	± 5

Sumber: Hary Christady Hadiyatmo, 2017

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Gambaran Daerah Penelitian

Kabupaten Labuhanbatu provinsi Sumatera Utara memiliki luas 354.580 km² yang terbagi dari beberapa kecamatan, salah satunya kecamatan di wilayah Labuhanbatu ialah Marbau. Kecamatan Marbau memiliki luas 35.590 km² yang sebagian dari kawasan tersebut menjadi lahan pengelolaan perkebunan kelapa sawit. Tanah di kawasan ini merupakan tanah gambut pedalaman karena tanah gambut pedalaman menjadi incaran pengusaha untuk dikelola. Dulunya pemilik perkebunan kelapa sawit memang mencari kawasan berlahan gambut dikarenakan gambut memiliki keuntungan lebih. Sampel tanah dalam penelitian ini diambil didalam kawasan perkebunan kelapa sawit.

3.2 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan. Yaitu terletak di Universitas Sumatera Utara, jalan Almamater no. 1. Pengujiannya dengan mengambil sampel tanah gambut di lokasi pengambilan sampel dan kemudian dilakukan uji laboratorium. Gambar 3.1 adalah peta lokasi pengambilan sampel di kawasan Marbau.



Gambar 3.1 Lokasi Pengambilan Sampel

3.3 Metode Pengambilan Sampel

Dilakukan pekerjaan lapangan dengan maksud untuk pengambilan sampel tanah. Pengambilan sampel dalam penelitian ini meliputi 2 cara yaitu, tanah terganggu dan tanah tidak terganggu. Pengambilan sampel tanah terganggu dengan cara mengambil tanah dan kemudian dimasukkan kedalam karung. Untuk tanah yang tidak terganggu sampel tanah dimasukkan kedalam pipa dengan panjang 70 cm dan berdiameter 4 inci kemudian ujung pipa kanan, kiri nya di tutup plastik lalu diselasikan.



Gambar 3.2 Sampel Tanah

3.4 Bahan Uji

Adapun beberapa bahan yang harus di siapkan meliputi :

1. Tanah, dalam penelitian ini tanah yang digunakan adalah tanah gambut yang diperoleh dari Jln. Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
2. Semen, semen yang digunakan berasal dari toko material yaitu semen merah putih.
3. Air, air yang digunakan berasal dari Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan.

3.5 Metode Penelitian

Metode yang dilakukan pada penulisan tugas akhir ini adalah studi literatur dan penelitian di laboratorium mekanika tanah Politeknik Negeri Medan. Studi literatur dilakukan dengan mencari dan mengumpulkan teori-teori dan data-data dari buku ajar, standar perencanaan yang relevan, jurnal maupun buku-buku petunjuk teknis yang sesuai dengan pembahasan “Analisa Pencampuran Semen Sebagai Stabilisasi Tanah Gambut Terhadap Nilai California Bearing Ratio

(CBR)” serta masukkan dari dosen pembimbing. Kemudian menganalisis aplikasi penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi dilapangan Penelitian dilakukan 2 tahap, yaitu penelitian terhadap tanah asli (sebelum dicampur semen) dan penelitian setelah dicampur semen.

1. Penelitian terhadap tanah asli

Adapun pengujian Indeks Properties yang dilakukan antara lain :

- a. Kadar air (sesuai dengan ASTM D 2216-71)
- b. Berat isi (sesuai dengan ASTM D 2937-83)
- c. Berat jenis (sesuai dengan ASTM D 854 - 58)
- d. Batas Cair (sesuai dengan ASTM D 2216-80)
- e. Batas plastis (sesuai dengan ASTM D 2216-80)
- f. Analisa saringan (sesuai dengan ASTM D 2487-69)
- g. Analisa hydrometer (sesuai dengan ASTM D 2487-69)

2. Penelitian terhadap tanah yang telah distabilisasi

adapun pengujian Engineering Properties yang dilakukan antara lain :

- a. Percobaan pemadatan (sesui dengan ASTM D 3441-86)
- b. CBR Laboratorium (sesuai dengan ASTM D 1883-87)

3.6 Metode Pengumpulan Data

Penelitian ini adalah sebuah eksperimen, yaitu membuat suatu percobaan tentang suatu hal yang menarik atau suatu penomena. Dalam hal uji laboratorium ada beberapa pengujian, yaitu :

1. Menentukan Kadar Air (Water Content), yaitu menentukan kadar air yang terkandung didalam sample tanah.

2. Menentukan Specific Gravity (Gs), yaitu menentukan berat jenis tanah.
3. Menentukan Batas – batas Atterberg yang meliputi batas cair, dan batas plastis tanah sehingga mendapatkan nilai IP (*Indeks Plasticity*)
4. Uji Standart Proctor (Pemadatan Tanah), untuk mendapatkan kepadatan tanah yang maksimum pada pemadatan yang standard, dengan memberikan kadar air yang optimum.
5. Uji CBR (California Bearing Ratio), yang bertujuan untuk menentukan daya dukung permukaan lapisan tanah yang umumnya akan dipakai sebagai sub-base (urugan) atau sub-grade (lapisan tanah dasar).

3.7 Pengujian Laboratorium

Dalam proses pengujian di Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan. Beberapa tahap pengujian antara lain adalah :

1. Indeks Properties, meliputi test kadar air (*water content*), batas cair, batas plastis dan berat jenis.
2. Engineering Properties, meliputi percobaan pemadatan standar proctor dan CBR Unsoaked Laboratorium.

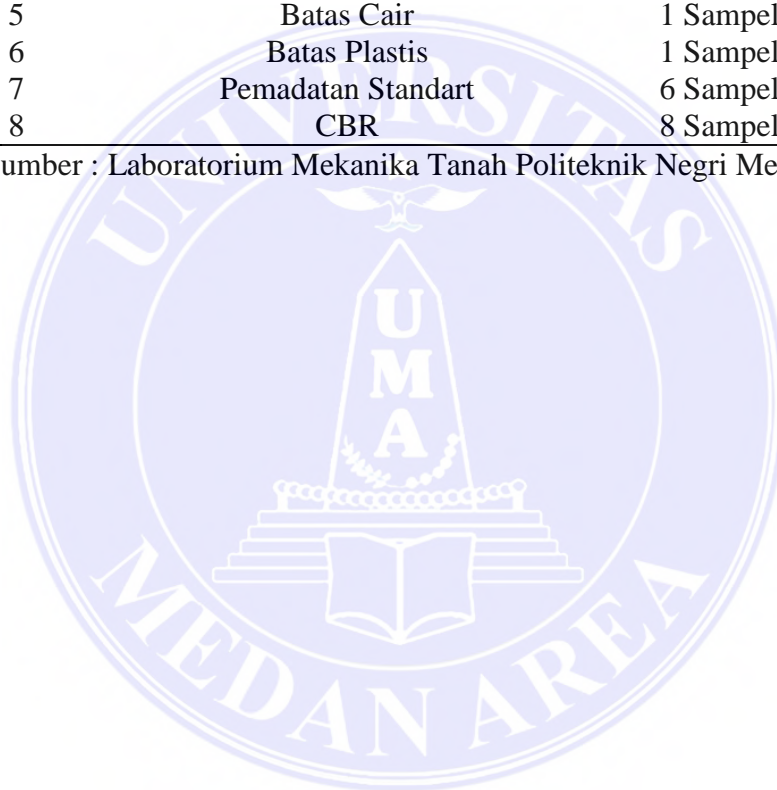
3.8 Sampel Uji

Sampel pengujian untuk tanah asli yang dibuat untuk indeks properties dan engineering properties dapat dilihat di table 3.1 yang meliputi :

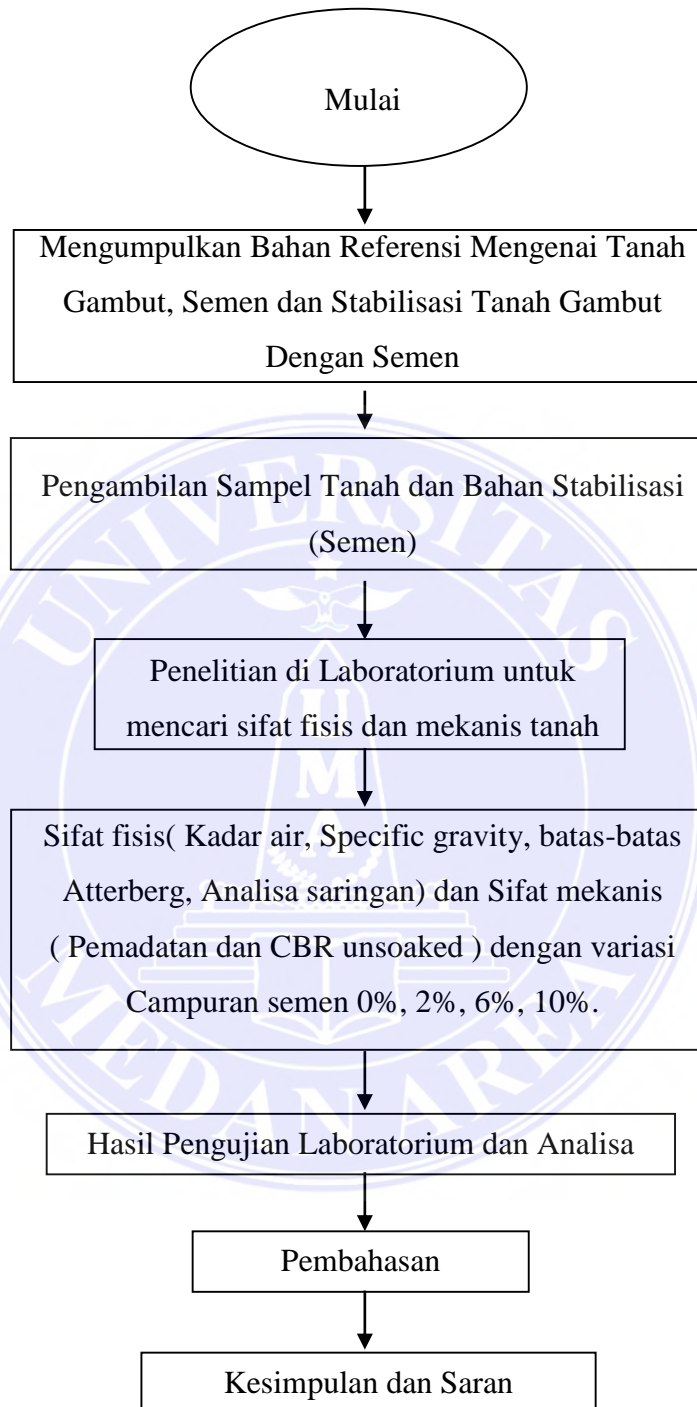
Tabel 3.1 Sampel Penguian laboratorium

No	Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji
1	Kadar Air	2 Sampel
2	Berat Jenis Tanah	2 Sampel
3	Analisa Saringan	1 Sampel
4	Analisa Hydrometer	1 Sampel
5	Batas Cair	1 Sampel
6	Batas Plastis	1 Sampel
7	Pemadatan Standart	6 Sampel
8	CBR	8 Sampel

Sumber : Laboratorium Mekanika Tanah Politeknik Negeri Medan



3.9 Bagan Alir



Gambar 3.3 Bagan Alir

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 KESIMPULAN

Dari hasil penelitian dan analisa yang dilakukan oleh penyusun, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai CBR untuk tanah gambut sebelum pencampuran semen (tanah asli) sebesar 11,75% dengan penambahan semen kenaikan rata-rata nilai CBR mencapai 2%.
2. Kenaikan nilai CBR unsoaked tertinggi terjadi pada penambahan variasi campuran 2% semen dengan nilai 16,14%.

5.2 SARAN

1. Diperlukan penyelidikan tanah gambut pada tempat yang berbeda penurunan tanah gambut.
2. Proses pencampuran tanah dengan semen harus lebih diperhatikan agar mendapatkan data yang lebih akurat.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian lebih lanjut untuk sifat kimia tanah gambut.

DAFTAR PUSTAKA

- B. Mochtar Indrasurya, Noor Endah dan Braja M. Das. 2017. Mekanika Tanah (Prinsip Rekayasa Geoteknis). Erlangga, Surabaya.
- Budi Gogot Setyo. 2011. Pengujian Tanah di Laboratorium. Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Darwis, H. 2017. Dasar – dasar Teknik Perbaikan Tanah. Pustaka AQ, Yogyakarta.
- Hardiyatmo C. Hary. 2016. Mekanika Tanah 1. Gajah Mada University Press, Yogyakarta.
- Luhur, Beni, Anton Ariyanto, dan Rismalindah. 2016. “Stabilisasi Tanah Gambut Dengan Campuran Portland Cemant Di Tinjau Dari Nilai California Bearing Ratio (CBR).“ UPP, 1-7. Jurnal Jurusan Teknik Sipil.
- Prabowo, Aris, dan Miftahul Fauziah. 2018 “Pengaruh Stabilisasi Tanah Menggunakan Kapur Dan Matos Terhadap Kuat Gesar Dan Konsolidasi Tanah Gambut.” Jurnal Jurusan Teknik Sipil.
- Rahayu Cindy. 2019. Analisa Pengaruh Campuran Kapur Pada Tanah Lempung Ekspansif Terhadap Nilai CBR. *Skripsi*. Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik. Universitas Medan Area.
- Ajie, Norseta S, Dan Respati Rida, 2018. “Stabilisasi Tanah Gambut Palangka Raya Dengan Bahan Campuran Non Organik Dan Kapur.” Media Ilmiah Teknik Sipil, Volume 6, Nomor 2, Juni 2018: 124-131.

LAMPIRAN



Tanah Gambut Proses Penjemuran Sample



Tanah Gambut Proses Penjemuran Sample



Proses Pengeluaran Sample tidak terganggu



Proses Pengujian Kadar Air dan Berat Isi



Proses Pengujian Berat Jenis Tanah di Dalam Desikator



Proses Pengujian Batas Cair (LL)



Proses Pengujian Analisa Saringan



Proses Pengujian Hidrometer



Proses Pemadatan Standart



Proses Pembacaan Dial CBR



Proses Mengeluarkan Benda Uji Setelah Pengujian CBR



Benda Uji Setelah Pengujian CBR



Jl. Almamater No. 1 Kampus USU 20155, Indonesia
 Tel.(061) 8210371, 8211235, 8215951, 8210436, Fax. (061) 8215845
 http://www.polmed.ac.id email : sipil_polmed@yahoo.co.id
 Telepon Jurusan Teknik Sipil: (061) 8225153, Fax : 061-8225153

Nomor : B/ 583 /PL5.11/TA.00.01/2020
 Lampiran : -
 Hal : **Persetujuan Pengujian Tanah
 untuk Keperluan Data Tugas Akhir**

Kepada Yth : **Ibu Susilawati, S.Kom., M.Kom.
 Wakil Dekan Bidang Akademik
 Fakultas Teknik Universitas Medan Area**

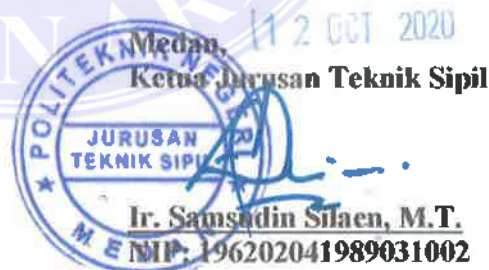
Dengan Hormat,
 Sehubungan dengan surat Ibu Nomor: 160/FT.1/01.10/IX/2020 tertanggal 28 September 2020 perihal Pengujian Tanah untuk Mencari Nilai California Bearing Ratio (CBR), maka pada prinsipnya kami dapat mengabulkan Permohonan dari Ibu dan menerima Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Universitas Medan Area yang bernama:

Nama : Rios Firmansyah
 NPM : 148110057
 Fakultas/Program Studi : Teknik/Teknik Sipil

dalam melakukan Pengujian Tanah untuk Mencari Nilai California Bearing Ratio (CBR) untuk menunjang keperluan Data Tugas Akhir Mahasiswa tersebut dengan judul "Analisis Pengaruh Pecampuran Semen sebagai Bahan Stabilisasi Tanah Gambut terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR)" di Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan dengan syarat tidak mengganggu pelaksanaan Proses Belajar Mengajar di Jurusan Teknik Sipil Polmed.

Hal yang berhubungan dengan administrasi dalam melaksanakan kegiatan ini akan ditentukan kemudian oleh Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Medan.

Demikian disampaikan, atas kerjasama yang baik dihaturkan terima kasih.



Tembusan:
 - Ka. Lab Jur. T. Sipil Polmed

Document No : UPM-07-01

Revision No. : 01

Date of Issue : 3 September 2018





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	22 – Oktober - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Water Content (ASTM D-2216-71)

		I	II
Weight of wet soil + cont	[gram]	130.00	130.00
Weight of dry soil + cont	[gram]	39.20	40.40
Weight of water	[gram]	115.60	116.00
Weight of container	[gram]	14.40	14.00
Weight of dry soil	[gram]	24.80	26.40
Water Content	[%]	366.13	339.39
		352.76	

Unit Weight of Soil (ASTM D-2937-83)

Weight of wet soil + Ring	[gram]	109.00	105.60
Weight of Ring	[gram]	80.80	78.0
Weight of wet soil	[gram]	28.20	27.60
Diameter of Ring	[cm]	3.51	3.51
Height of Ring	[cm]	2.55	2.55
Volume of Soil (Ring)	[cm ³]	24.66	24.66
Unit Weight of wet Soil	[gr/cm ³]	1.14	1.12
Average	[gr/cm ³]	1.13	
Water Content	[%]	370.00	283.33
Unit Weight of wet Soil	[gr/cm ³]	0.24	0.29
Average	[gr/cm ³]	0.27	



Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	04 – November - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Specific Gravity, G_s (ASTM D-854-58)

		I	II
Depth	[m]	0-1	0-1
Picnometer No		36	43
Berat Picnometer	[gram]	44.96	46.48
Berat Picnometer + tanah kering	[gram]	58.16	60.88
Berat Picnometer + tanah kering + air	[gram]	24.80	26.40
Berat Picnometer + air	[gram]	143.00	143.87
Temperatur (T)	[°C]	27.00	27.00
Density Water at T		142.93	143.80
Specific Gravity of Soil (G _s)		1.30	1.33
		1.26	

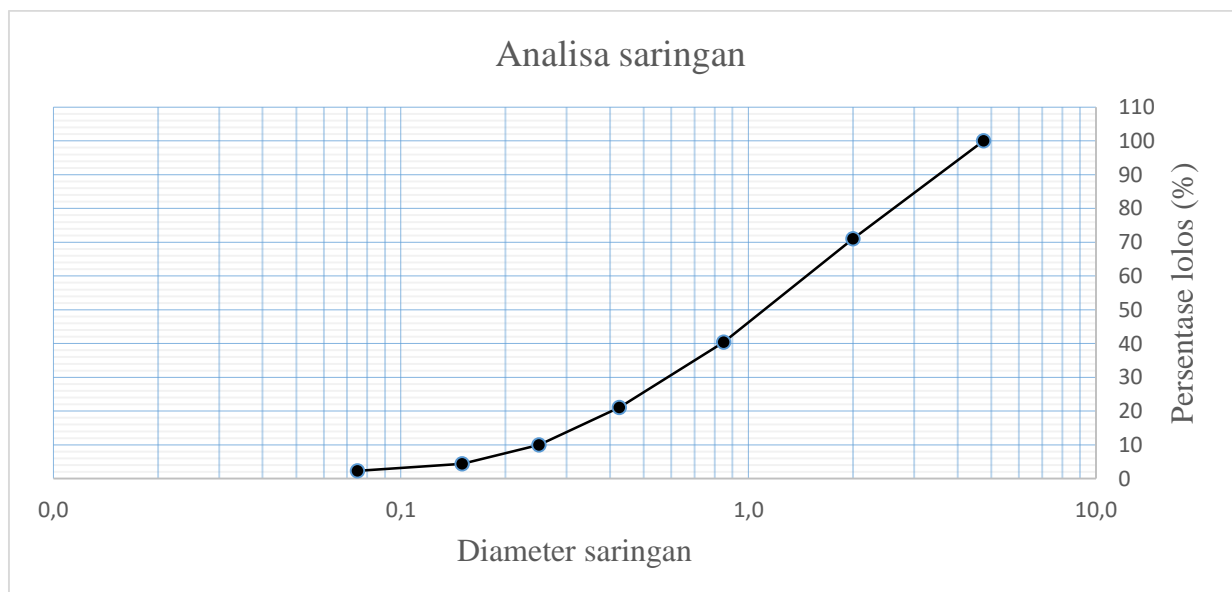


Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	06 – November - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Sieve Analysis (ASTM D-2487-69)

Berat sampel tanah	500 gram
--------------------	----------

Sieve		Retained		% Commulative	
No	Mm	Gram	%	Retaining	Passing
3/8 "	9,500	-	-	100	500
No. 4	4,750	-	-	100	500
No. 10	2,000	144,8	28,96	71,04	355,2
No. 20	0,850	153	30,6	40,44	202,2
No. 40	0,425	96,8	19,36	21,08	103,4
No. 60	0,250	55,4	11,08	10,00	50
No. 100	0,150	27,9	5,58	4,42	22,1
No. 200	0,075	10,7	2,14	2,28	11,4
PAN		8,4	1,68	0,60	3
Total Weight		497	99,4		
Sample Weight		500	100		





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	12 – November - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Hydrometer (ASTM D-2487-69)

Test Temperatur	27 °C	Gs	1,26
-----------------	-------	----	------

Date Time	Elapsed Time t (minutes)	Hydrometer Reading Rh'	True Reading Rh	Effective Depth Hr (mm)	Particle Diameter D (mm)	Percentage Finer Than D P (%)	Total Percentage (%)
14:00	0	-	-	-	-	-	-
14:00	0,5	62	-	-	-	-	-
14:01	1	63	-	-	-	-	-
14:02	2	65	-	-	-	-	-
14:05	5	65	-	-	-	-	-
14:15	15	65	-	-	-	-	-
14:30	30	62	-	-	-	-	-
15:00	60	60	-	-	-	-	-
19:00	240	57	-	-	-	-	-
14:00	1440	56	-	-	-	-	-



Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	10 – Desember - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Pemeriksaan Atterberg Limits (ASTM D-2487-69)

No. Cawan		Batas Cair (LL)			Batas Plastis (PL)	
		1	2	3		
Berat tanah basah + cawan	[gram]	-	-	-		
Berat tanah kering + cawan	[gram]	-	-	-		
Berat cawan	[gram]	-	-	-		
Berat tanah kering	[gram]	-	-	-		
Berat air	[gram]	-	-	-		
Kadar air	[%]	-	-	-		
Kadar air rata-rata	[%]	-	-			
Jumlah ketukan , N	-	-				

Liquid Limit (LL) : 0,00 %

Plastic Limit (PL) : 0,00 %

Plasticity Index (PI) : 0,00 %

Keterangan : Pengujian batas batas atterberg tidak dapat dilakukan karena tanah gambut tidak plastis (non plastis)

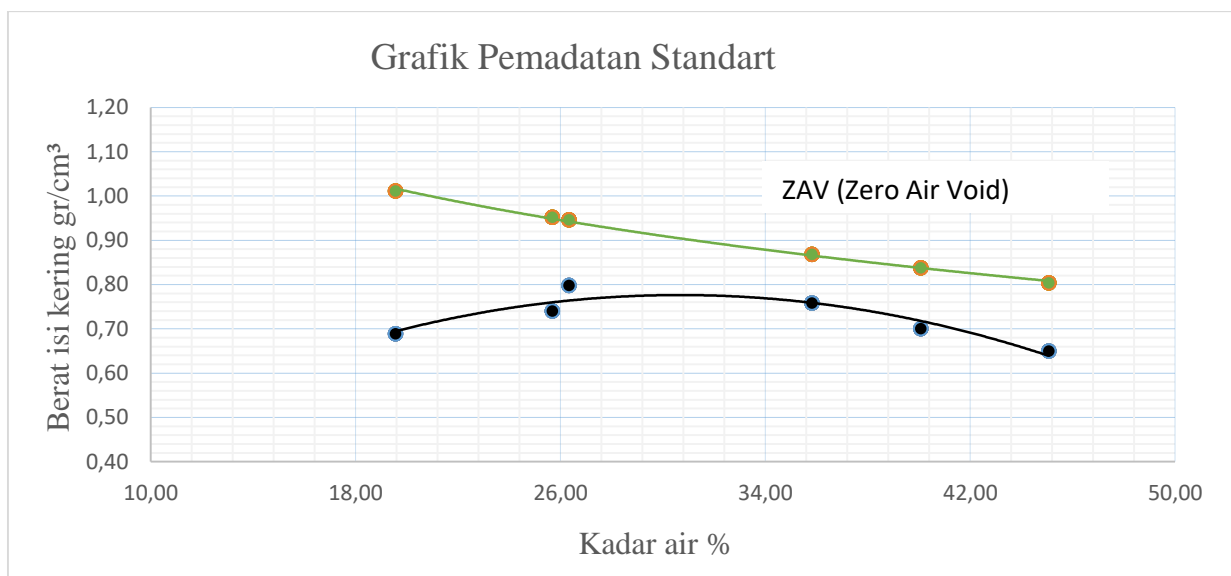


Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	17 – Desember - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah

Standard Compaction Test (ASTM D-3441-86)

Volume Cetakan (cm ³)		Gs	1,26
-----------------------------------	--	----	------

Item	Unit	1	2	3	4	5	6
Berat cetakan	g	3545.0	3545.0	3545.0	3545.0	3545.0	3545.0
Berat tanah padat + cetakan	g	4290.0	4386.8	4456.6	4476.5	4432.4	4397.7
No. cawan	-	A	B	C	D	E	F
Berat cawan	g	13.80	14.00	15.00	14.60	14.60	13.80
Berat tanah basah + cawan	g	90.80	96.20	105.20	102.20	102.00	102.00
Berat tanah kering + cawan	g	78.20	79.40	86.40	71.00	77.00	74.60
Kadar air	%	19.57	25.69	26.33	35.82	40.06	45.07
Berat isi tanah basah	g/cm ³	0.82	0.93	1.01	1.03	0.98	0.94
Berat isi tanah kering	g/cm ³	0.69	0.74	0.80	0.76	0.70	0.65
Zero Air Void (ZAV) curve	g/cm ³	1.01	0.95	0.95	0.87	0.84	0.80





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	20 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 1 tanah asli

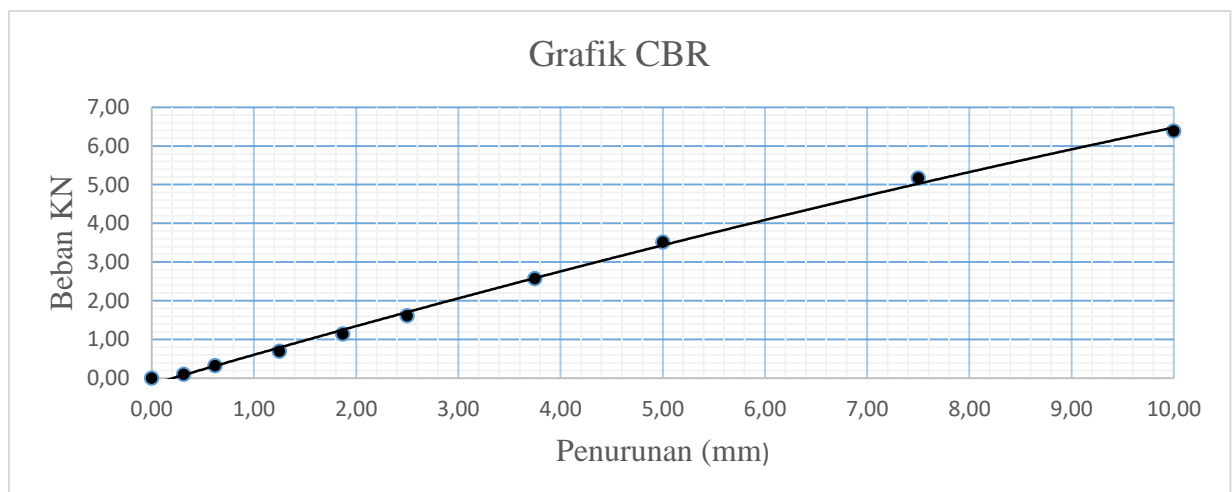
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
 56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	4.00	0.10
0.6200	13.00	0.32
1.2500	28.00	0.69
1.8700	46.00	1.14
2.5000	65.00	1.61
3.7500	104.00	2.57
5.0000	142.00	3.51
7.5000	209.00	5.17
10.000	258.00	6.39

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soid (gr)	8730.00
	γ wet of soil (gr)	1.11
	γ dry of soil (gr)	0.76
Water Content	Weight of cont. (gr)	13.60
	Weight of cont+ wet soil (gr)	62.60
	Weight of cont. + dry soil (gr)	47.20
	Water Content (%)	45.83





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	20 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 1 tanah asli + 2% semen

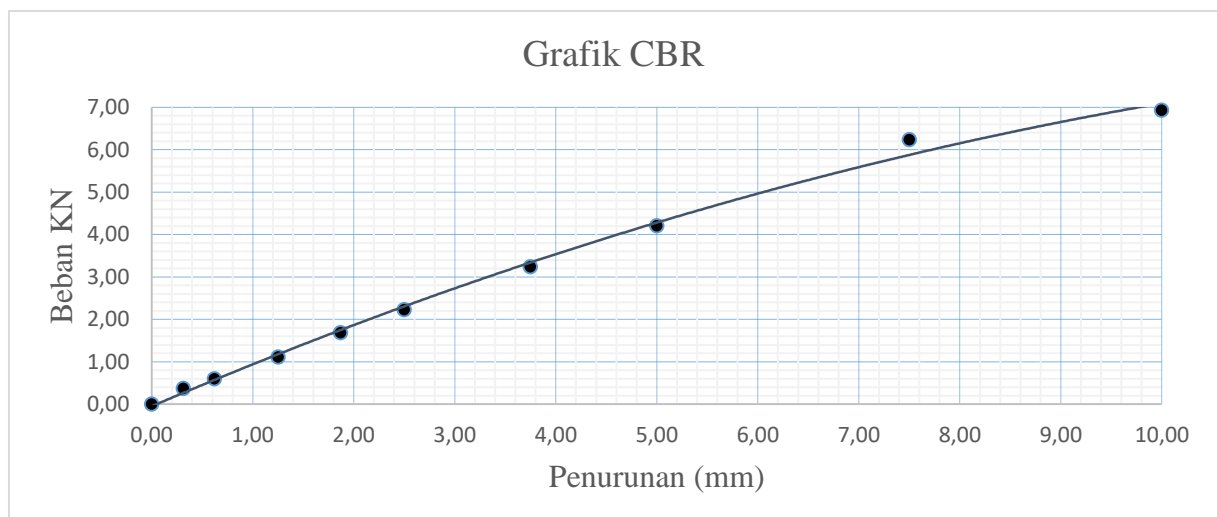
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	15.00	0.37
0.6200	24.00	0.59
1.2500	45.00	1.11
1.8700	68.00	1.68
2.5000	90.00	2.23
3.7500	131.00	3.24
5.0000	170.00	4.21
7.5000	252.00	6.24
10.000	280.00	6.93

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soil (gr)	8610.00
	γ wet of soil (gr)	1.05
	γ dry of soil (gr)	0.77
Water Content	Weight of cont. (gr)	13.80
	Weight of cont+ wet soil (gr)	64.00
	Weight of cont. + dry soil (gr)	50.40
	Water Content (%)	37.16





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	20 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 1 tanah asli + 6% semen

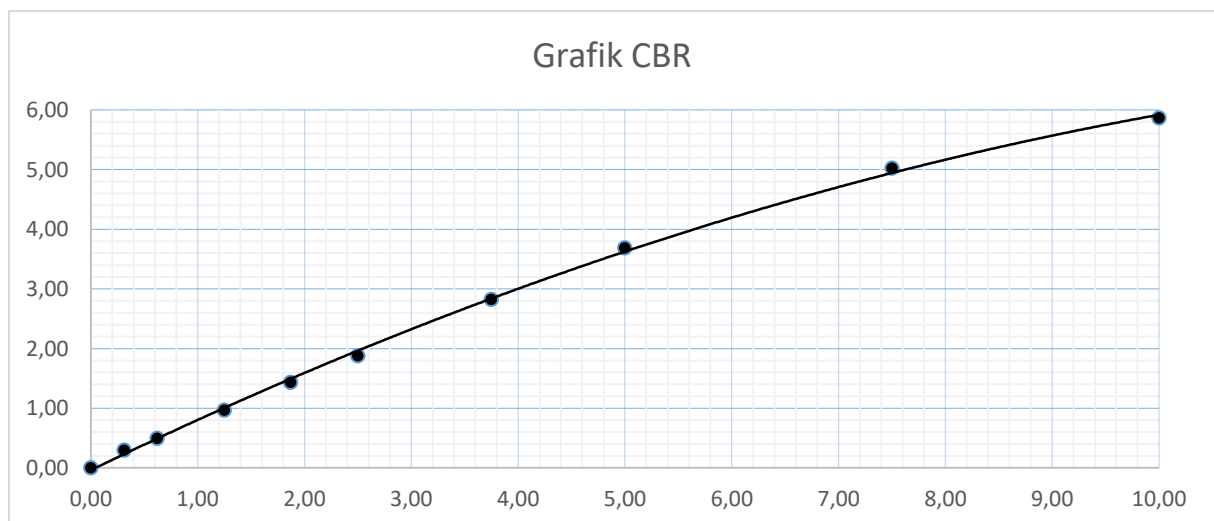
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	12.00	0.30
0.6200	20.00	0.50
1.2500	39.00	0.97
1.8700	58.00	1.44
2.5000	76.00	1.88
3.7500	114.00	2.82
5.0000	149.00	3.69
7.5000	203.00	5.02
10.000	237.00	5.87

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soid (gr)	8680.00
	γ wet of soil (gr)	1.08
	γ dry of soil (gr)	0.93
Water Content	Weight of cont. (gr)	13.40
	Weight of cont+ wet soil (gr)	62.00
	Weight of cont. + dry soil (gr)	47.00
	Water Content (%)	44.64

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	20 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 1 tanah asli + 10% semen

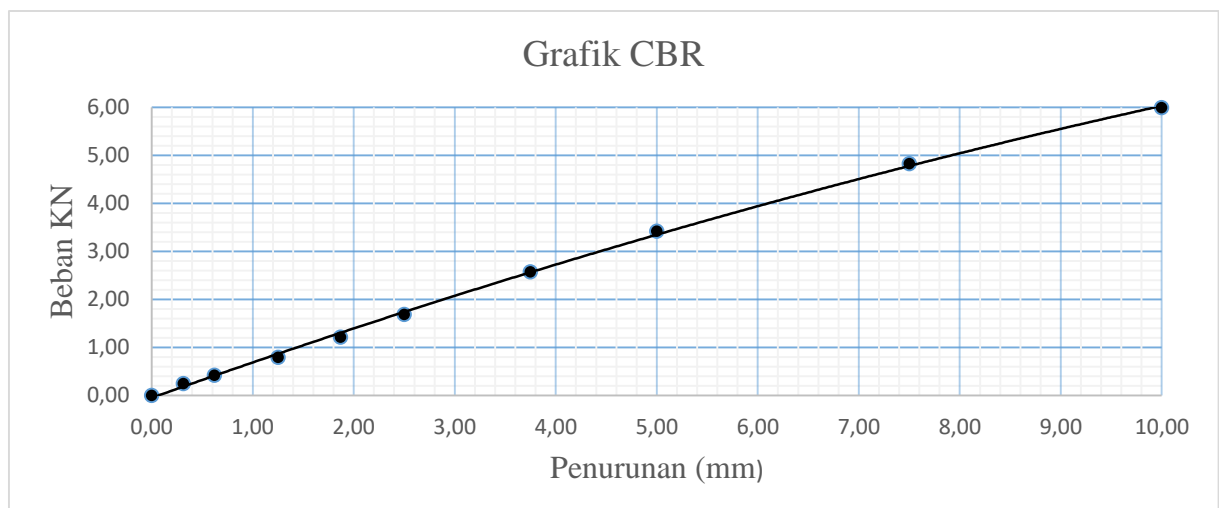
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	10.00	0.25
0.6200	17.00	0.42
1.2500	32.00	0.79
1.8700	49.00	1.21
2.5000	68.00	1.68
3.7500	104.00	2.57
5.0000	138.00	3.42
7.5000	195.00	4.83
10.000	242.00	5.99

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soid (gr)	8740.00
	γ wet of soil (gr)	1.11
	γ dry of soil (gr)	0.78
Water Content	Weight of cont. (gr)	14.40
	Weight of cont+ wet soil (gr)	64.40
	Weight of cont. + dry soil (gr)	49.00
	Water Content (%)	44.51

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	27 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 2 tanah asli

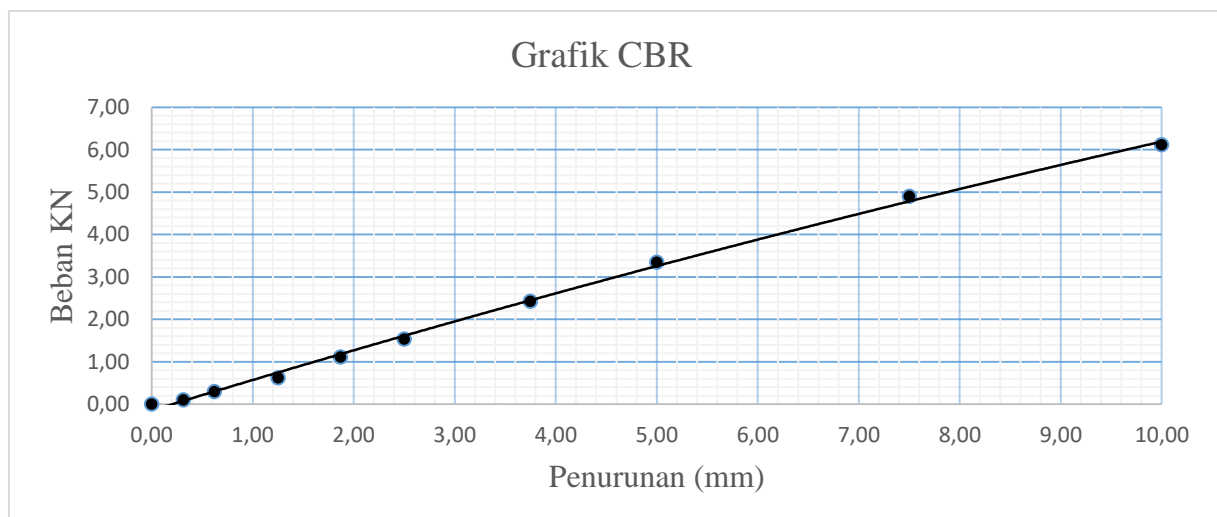
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
 56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	4.00	0.10
0.6200	12.00	0.30
1.2500	25.00	0.62
1.8700	45.00	1.11
2.5000	62.00	1.53
3.7500	98.00	2.43
5.0000	135.00	3.34
7.5000	198.00	4.90
10.000	247.00	6.11

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soild (gr)	8710.00
	γ wet of soil (gr)	1.10
	γ dry of soil (gr)	0.76
Water Content	Weight of cont. (gr)	13.80
	Weight of cont+ wet soil (gr)	57.60
	Weight of cont. + dry soil (gr)	44.00
	Water Content (%)	45.03





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	27 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 2 tanah asli + 2% semen

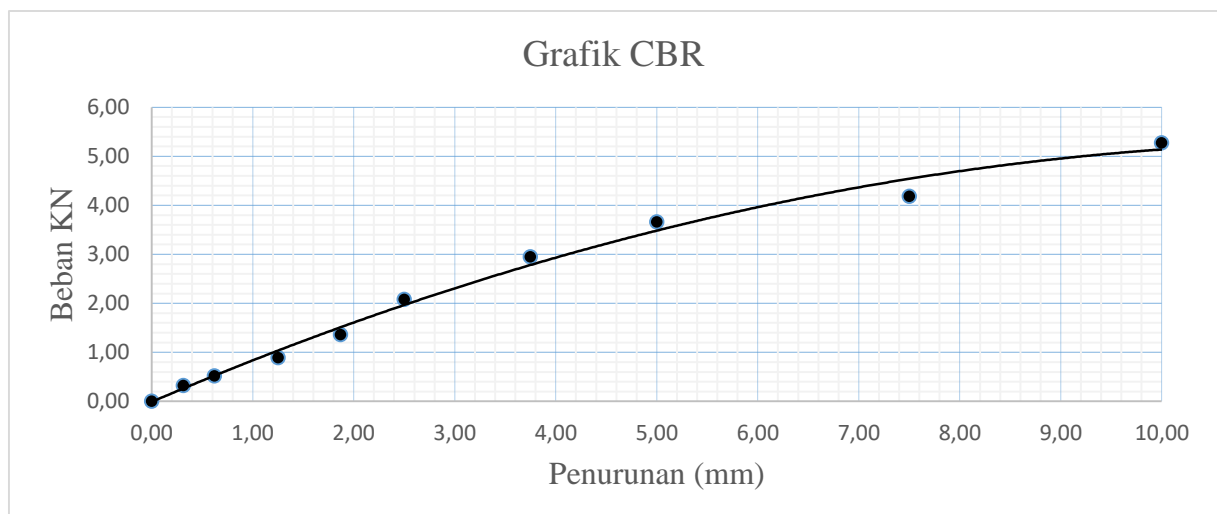
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
 56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	13.00	0.32
0.6200	21.00	0.52
1.2500	36.00	0.89
1.8700	55.00	1.36
2.5000	84.00	2.08
3.7500	119.00	2.95
5.0000	148.00	3.66
7.5000	169.00	4.18
10.000	213.00	5.27

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soid (gr)	8590.87
	γ wet of soil (gr)	1.04
	γ dry of soil (gr)	0.74
Water Content	Weight of cont. (gr)	14.20
	Weight of cont+ wet soil (gr)	65.00
	Weight of cont. + dry soil (gr)	50.06
	Water Content (%)	41.66

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	27 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 2 tanah asli + 6% semen

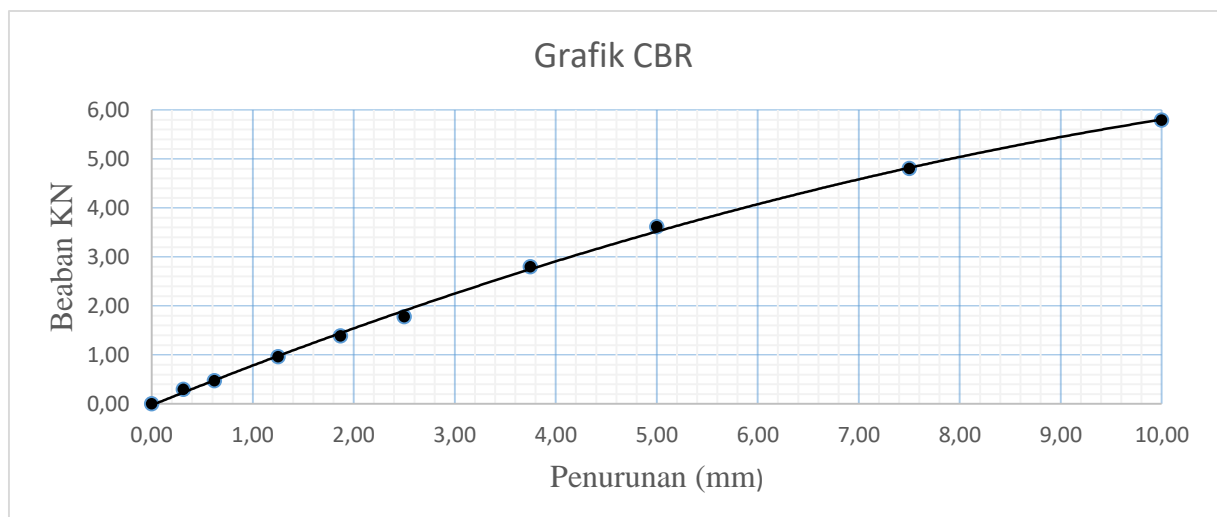
**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
 56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	12.00	0.30
0.6200	19.00	0.47
1.2500	39.00	0.97
1.8700	56.00	1.39
2.5000	72.00	1.78
3.7500	113.00	2.80
5.0000	146.00	3.61
7.5000	194.00	4.80
10.000	234.00	5.79

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soil (gr)	8789.00
	γ wet of soil (gr)	1.09
	γ dry of soil (gr)	0.92
Water Content	Weight of cont. (gr)	14.80
	Weight of cont+ wet soil (gr)	65.80
	Weight of cont. + dry soil (gr)	47.40
	Water Content (%)	55.76





Lokasi	Jalan Pulo Padang, Marbau, Kabupaten Labuhanbatu Utara, Sumatera Utara.
Tanggal	27 – January - 2020
Dikerjakan	Rios Firmansyah / sampel 2 tanah asli + 10% semen

**Pemeriksaan CBR Laboraturium (tidak terendam/Unsoaked (ASTM D-1883-87)
56 x Tumbukan**

Penurunan (mm)	Bacaan Dial (Divisi)	Beban (KN)
0.0000	0.00	0.00
0.3120	12.00	0.30
0.6200	18.00	0.45
1.2500	35.00	0.87
1.8700	52.00	1.29
2.5000	71.00	1.76
3.7500	114.00	2.82
5.0000	142.00	3.51
7.5000	192.00	4.75
10.000	246.00	6.09

Unit Weight	Diameter of Mould (cm)	15.27
	Height of Mould (cm)	11.64
	Volume of Mould (cm ³)	2130.59
	Weight of Mould(gr)	6370.00
	W Mould + Soil (gr)	8770.00
	γ wet of soil (gr)	1.13
	γ dry of soil (gr)	0.79
Water Content	Weight of cont. (gr)	14.00
	Weight of cont+ wet soil (gr)	61.00
	Weight of cont. + dry soil (gr)	47.00
	Water Content (%)	42.42

1 KN = 224,809 lb

Kal. Dial : 0,02475

