



## PENGARUH PENAMBAHAN NILAI CBR TANAH DENGAN PENAMBAHAN LIMBAH KERANG

<sup>1</sup>Hermansyah\* <sup>2</sup>Fynnisa Zebua  
<sup>1,2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Asahan

### ABSTRAK

Penelitian ini dilakukan dengan mengambil tanah di daerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kisaran Barat. Tujuan penelitian ini adalah untuk penimbunan jalan dengan penambahan limbah cangkang kerang terhadap pemadatan dan CBR laboratorium. Distabilisasi dan melakukan uji test menggunakan uji sifat fisis dan mekanis seperti uji Atterberg, Dinsity, Compaction, dan CBR (California Bearing Ratio). Dalam melakukan variasi penambahan Cangkang Kerang 0%, 5%, 10%, 15% dan 20%. Sifat-sifat fisis tanah Daerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat didapat untuk nilai kadar air 25,87 %, berat isi tanah 1,946 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis (Gs) 2,68 gr/cm<sup>3</sup>, pengujian atterberg limit kadar air 49,09 % dan plastis indeks 21,53 %. Dari klasifikasi AASHTO tanah didaerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat termasuk jenis tanah lempung. Dalam penambahan cangkang kerang sebesar 20 % terhadap tanah lempung menyebabkan nilai CBR laboratorium mengalami kenaikan yaitu dari 2,36 % menjadi 13,97 %, maka tanah di daerah Sidomukti dapat digunakan untuk penimbunan badan jalan dengan campuran cangkang kerang sebanyak 20 % dari berat tanah dikarenakan pada persentase campurannya nilai parameternya tetap sedangkan nilai kohesi menurun.

**Kata Kunci :** Tanah Lempung, Atterberg, Dinsity, Compaction, CBR Laboratorium.

### ABSTRACT

*This research was carried out by taking land of Sidomukti, Kelurahan Sidomukti Kisaran Barat. The purpose of this study is to pile roads by adding shellfish waste to compaction and laboratory CBR. Stabilized and tested using physical and mechanical properties such as the Atterberg, Dinsity, Compaction, and CBR (California Bearing Ratio) tests. In adding variation of Shells 0%, 5%, 10%, 15% and 20%. Physical properties of Sidomukti, Kelurahan Sidomukti, Kecamatan , Kisaran Barat are obtained for the value of 25.87% water content, soil density 1.946 gr / cm<sup>3</sup>, specific gravity (Gs) 2.68 gr / cm<sup>3</sup>, atterberg testing the water content limit 49.09 % and plastic index 21.53%. From the AASHTO classification of land in Sidomukti, Kelurahan Sidomukti, Kecamatan Kisaran Barat, including clay type. In the addition shell of 20% to clay, the CBR value of the laboratory has increased, from 2.36% to 13.97%, so that the land in Sidomukti can be used for road hoarding with a mixture of shell shells of 20% of the soil weight due to in the mixture percentage the parameter values are fixed while the cohesion value decreases.*

**Keywords:** Lempung Land, Atterberg, Dinsity, Compaction, CBR Laboratory.

### I. PENDAHULUAN

Tanah mempunyai kaitan erat dengan struktur pondasi suatu konstruksi seperti jalan raya, lapangan terbang, bangunan gedung dan lain sebagainya. Pada kestabilan struktur bangunan bawah ikut menentukan kestabilan bangunan

diatasnya. Pada pemakaian tanah sebagai bahan material untuk timbunan jalan seperti lempung kadar air yang tinggi. Tanah lempung dengan kadar air tinggi memiliki daya dukung yang relatif rendah karena mempunyai sifat mengembang tanah yang di salah



satu kawasan kota Asahan sering dijumpai jenis tanah yang lunak terutama pada daerah rawa-rawa.

Selama ini kulit kerang hanya dibuang dan sebagai bahan dekorasi untuk hiasan rumah. Cangkang kerang yang ada terlebih dahulu dibersihkan, kemudian dipecahkan menjadi bagian-bagian yang kecil dan dihaluskan untuk dijadikan serbuk, cangkang kerang yang akan digunakan sebagai bahan tambahan pada penelitian ini. Cangkang kerang mengandung senyawa kimia yang bersifat *pozzolan* yaitu mengandung zat kapur (CaO), alumina dan senyawa silika sehingga digunakan sebagai bahan baku CBR Lab.

Permasalahan yang akan dibahas pada penulisan ini yaitu pada lokasi Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat, Kota Asahan maka dilakukan penelitian apakah tanah lempung pada lokasi tersebut bisa digunakan untuk penimbunan badan jalan dengan penambahan kapur limbah cangkang kerang. Kemudian dilakukan pengujian sifat fisis tanah yaitu pengujian kadar air, berat jenis, batas-batas Atterberg, pemadatan dan CBR Lab.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan kapur cangkang kerang terhadap pemadatan dan CBR lab. Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat pada penggunaan tanah timbun di Sidomukti dengan memperbaiki sifat-sifat mekanik tanah Lempung terhadap kuat dukung tanah melalui pengujian CBR lab.

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat pada penggunaan tanah timbunan di daerah Sidomukti

dengan memperbaiki sifat-sifat mekanik tanah lempung terhadap kuat dukung tanah melalui pengujian CBR Lab.

## II. TINJUAN PUSTAKA

### Cangkang Kerang

Kerang merupakan salah satu komoditi perikanan yang telah dibudidayakan sebagai salah satu usaha penghasilan tambahan masyarakat di daerah pesisir, Cangkang Kerang mempunyai komposisi kimia dapat dilihat dari tabel dibawah ini.

**Tabel.1 Komposisi Kimia Cangkang Kerang**

Komponen	Kadar (%berat)
CaO (Kalsium oksida)	66,70
SiO <sub>2</sub> (silikat)	7,88
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (besi 3 oksida)	0,03
MgO (Magnesium oksida)	22,28
AL <sub>2</sub> O <sub>3</sub> (aluminium oksida)	1,25

Sumber : Shinta Marito Siregar, 2009

### Tanah

Salah satu pertimbangan penting dalam pembangunan struktur bawah adalah kadar air yang terkandung dalam tanah. Prinsip dalam pembangunan infrastruktur kondisi mengembang dan menyusutnya volume tanah pada tanah dasar harus dikendalikan. Penyusutan dan pengembangan pada tanah tergantung pada perbedaan kadar air juga karakteristik dan klasifikasi tanah, (Peck, 1973 dalam Setiawan, 1998). Tanah didefinisikan sebagai partikel mineral yang tidak mempunyai atau lemah dalam ikatan partikel. Ikatan yang lemah antara partikel-partikel tanah disebabkan adanya pengaruh karbonat



dan oksida. Tanah dapat diklasifikasikan menjadi 2 macam yaitu :

- a. Tanah organik adalah campuran yang mengandung bagian-bagian yang cukup berarti berasal dari lapukan dan sisa tanaman dan kadang-kadang dari kumpulan kerangka dan kulit organisme.
- b. Tanah anorganik adalah yang berasal dari pelapukan batuan secara kimia ataupun fisis.

#### a. Klasifikasi Tanah

Sistem klasifikasi tanah adalah suatu sistem pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa kedalam kelompok dan subkelompok berdasarkan pemakaiannya. Salah satu usaha perbaikan tanah dasar yang jelek dapat dilakukan proses tabilisasi tanah. Menurut *Bowles*, 1993:201 menyatakan bahwa stabilisasi dapat terdiri dari salah satu tindakan berikut antara lain :

- a. Meningkatkan kerapatan tanah.
- b. Menambah material yang aktif sehingga meningkatkan kekuatan geser tanah.
- c. Menambahkan bahan yang dapat menyebabkan perubahan kimiawi pada tanah.
- d. Menurunkan muka air tanah.
- e. Mengganti tanah yang jelek

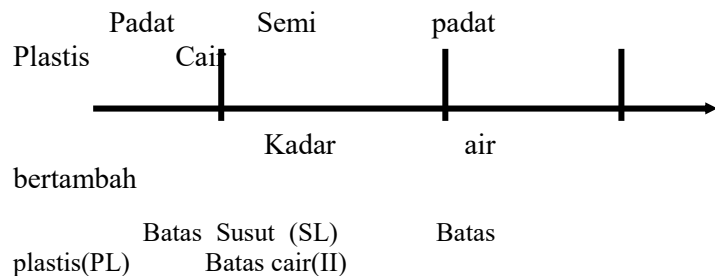
#### b. Karakteristik Tanah Lempung (Clay)

Menurut *Bowles*, bahwa struktur tanah merupakan pengaturan geometris dan kerangka dari partikel ataupun butir-butir mineral dan gaya antara partikel yang bekerja. Hal ini meliputi Gradasi, Pengaturan partikel dan angka pori. Bahan yang berperan untuk menjadi tanah bersifat kohesif yaitu mineral lempung. Nilai kohesi ini sangat tergantung dari jumlah ukuran 0.002 mm atau lebih kecil

dari ukuran yang terkandung dalam massa tanah. Biasanya bila lebih kecil dari ukuran 50% berat partikel-partikel halus terdapat pada massa tanah, masa tanah tersebut tergolong tanah lempung.

#### c. Batas Cair (Liquid Limit)

Batas Cair adalah kadar air tanah pada batas antara keadaan cair dan keadaan plastis yaitu batas atas dan batas plastis.



**Gambar 1. Batas-Batas Atterberg**

Sumber: Mekanika Tanah, Braja M.Das, Jilid I, Erlangga

Batas-batas konsisten tanah ini didasarkan pada kadar air yaitu :

- a. Batas cair (liquid limit)
- b. Batas Plastis (Plastic limit)

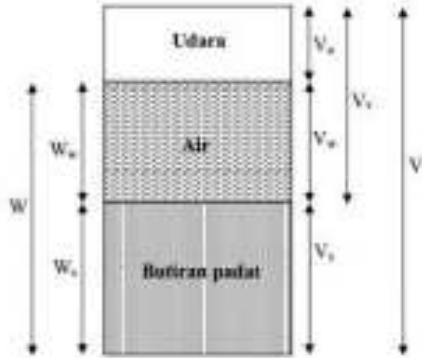
#### d. Komposisi Tanah

Tanah merupakan komposisi dari tiga fase yang berbeda. Tanah yang benar-benar kering terdiri dari dua fase yang disebut butiran dan udara pengisi pori, tanah yang jenuh juga terdiri dari dua fase yaitu butiran dan air pori sedangkan tanah yang jenuh sebagian dari tiga fase yaitu butiran, udara pori dan air pori. Berat udara dianggap sama dengan nol.

Komponen-komponen tanah dapat digambarkan dalam suatu



diagram fase, seperti pada gambar dibawah ini :



**Gambar 2. Fase Elemen Tanah**

Sumber : Hardiyatmo, H.C. 2002,  
 Hubungan volume-berat :

$$V = V_s + V_v =$$

$$V_s + V_w + V_a$$

Dimana :

$V_s$  = volume butiran padat

$V_v$  = volume pori

$V_w$  = volume air didalam pori

$V_a$  = volume udara didalam pori

Hubungan volume yang umum dipakai untuk suatu elemen tanah adalah angka pori (*void ratio*), porositas (*porosity*) dan derajat kejenuhan (*degree of saturation*) yaitu :

a. Angka Pori

Angka pori ( $e$ ) adalah perbandingan antara volume pori dan volume butiran padat.

$$e =$$

$$\frac{V_v}{V_s}$$

b. Porositas

Porositas ( $n$ ) adalah perbandingan antara volume pori dan volume tanah total

$$n = \frac{V_v}{V}$$

c. Derajat Kejenuhan

Derajat kejenuhan ( $S$ ) adalah perbandingan antara volume dengan volume pori

$$S = \frac{V_w}{V_v}$$

d. Kadar Air

Kadar air ( $w$ ) adalah perbandingan antara berat air dan berat butiran padat dari volume tanah yang diselidiki

$$w = \frac{W_w}{W_s}$$

e. Berat Volume

Berat volume ( $\gamma$ ) adalah berat tanah per satuan volume

$$\gamma = \frac{W}{V}$$

e. **Pemadatan (*Compaction*)**

Pemadatan merupakan suatu proses dimana partikel-partikel tanah diatur kembali dan dikemas menjadi bentuk yang padat dengan bantuan peralatan mekanis dan bertujuan untuk mengurangi porositas tanah sehingga memperbesar berat isi kering tanah. Hubungan berat volume kering ( $\gamma_d$ ) dengan berat volume basah ( $\gamma_b$ ) dan kadar air ( $w$ ) dengan persamaan:

$$\gamma_d = \frac{\gamma_b}{1 + w}$$

Dimana :

$\gamma_b$  = berat volume tanah basah ( $\text{gr/cm}^3$ )

$\gamma_d$  = berat volume tanah kering ( $\text{gr/cm}^3$ )

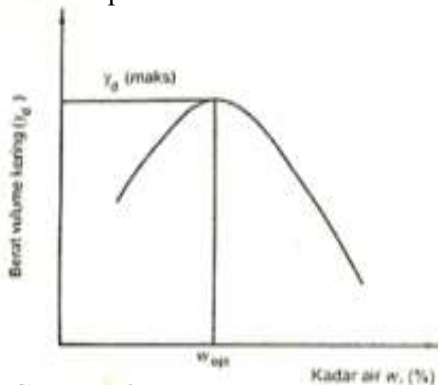
$w$  = kadar air (%)



Untuk mengetahui kadar air yang optimum pada tanah, maka dilakukan pengujian pemadatan yang standar, pengujian dilakukan dengan pemadatan sampel tanah basah (dengan kadar air yang terkontrol) dalam suatu cetakan dengan jumlah lapisan. Dengan menggunakan rumus berat isi yaitu :

$$\gamma_b = \frac{W_b - W_s}{V}$$

$\gamma_b$  basah adalah perbandingan berat tanah basah dalam cetakan dengan volume cetakan, kadar air diperoleh dari tanah yang dipadatkan. Hubungan antara kerapatan kering dengan kadar air dapat digambarkan dengan diperoleh suatu kurva seperti dibawah ini :



**Gambar 3. Kurva Hubungan Kadar Air dan Berat Volume Kering**  
 Sumber : Cristady, 2010

#### f. California Bearing Ratio (CBR)

CBR merupakan suatu metode empiris untuk menilai deformasi tanah terhadap pembebanan. Suatu piston standar berujung 3 inci ditekan ke dalam permukaan benda uji tanah dalam mekanis tanah. Pengukuran sifat fisis ini dilakukan berdasarkan pengukuran berat jenis, berat isi dan batas-batas konsistensi tanah yang batas cair dan batas plastis sedangkan sifat mekanis yang diukur adalah nilai CBR. Pengujian ini

modal dengan kecepatan 0.05 inci/menit. Besarnya penetrasi sebagai dasar menentukan CBR yaitu penetrasi 0,1" dan 0,2". Kedua nilai ini perhitungan tersebut digunakan untuk nilai terbesar dengan persamaan sebagai berikut :

a. Penetrasi 0,1"(0,254 cm)

$$CBR (\%) = \frac{P1 (psi)}{1000(psi)} \times 100\%$$

b. Penetrasi 0,2"(0,508)

$$CBR (\%) = \frac{P2 (psi)}{1500(psi)} \times 100\%$$

Dimana :

P1 = tekanan pada penetrasi 0,1" (psi)

P2 = tekanan pada penetrasi 0,2"(psi)

1000(psi) = angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,1"

1500(psi) = angka standar tegangan penetrasi pada penetrasi 0,2"

### III. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang bertujuan untuk mengetahui sejauh mana penggunaan limbah cangkang kerang dapat mengurangi palstisitas pada tanah lempung (Clay). Kemudian dalam pengukuran yang dilakukan dengan dua cara yaitu pengukuran berdasarkan sifat-sifat fisis dan sifat

dilakukan terhadap tanah asli dan tanah asli yang sudah dicampur dengan limbah cangkang kerang. Langkah-langkah pengujian serta pemeriksaan dilakukan di laboratorium yang berdasarkan



metode-metode standar menurut AASTHO.

#### **a. Lokasi Pengambilan Tanah dan Persiapan Sampel**

Tanah untuk penelitian ini diambil dari daerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat. Keadaan permukaan tanah disekitar lokasi tidak rata. Tanah tersebut warna abu-abu, waktu pengambilan tanah kondisi cuaca

#### **b. Berat Jenis Tanah**

Untuk pengujian berat jenis tanah diambil sampel tanah yang kering dioven pada suhu 105 °C selama 24 jam. Pengukuran ini dilakukan dengan berat sampel 40 gram dan dimasukan kedalam labu ukur 100 ml.

#### **c. Batas-Batas Konsistensi Tanah**

Dalam pengujian ini dilakukan untuk mengukur batas cair dan batas plastis. Tanah yang digunakan yaitu tanah kering udara yang sudah lolos diayak dengan saringan No. 200. Pengujian untuk pengukuran batas cair (liquid limit) dan batas plastis didasarkan dengan metode AASTHO.

#### **d. Percobaan Pemadatan**

Pengujian pemadatan yang dilakukan adalah untuk memperoleh kadar air optimum yang akan digunakan pada pembuatan sampel CBR laboratorium. Dalam pengujian pemadatan tanah dimasuki dalam cetakan mold yang standar, kemudian dilakukan penumbukan sebanyak 25 kali untuk lapisan pertama dan seterusnya sampai lapisan ketiga.

cerah. Tanah tersebut diambil dengan menggunakan cangkul lalu dimasukkan kedalam karung dan langsung diangkut ke Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Asahan. Kemudian tanah tersebut dimasak dengan menggunakan talam dan setelah kering udara tanah ditumbuk dengan palu karet, kemudian disaring dengan ayakan No.4.

#### **e. Benda Uji dan Alat Ukur**

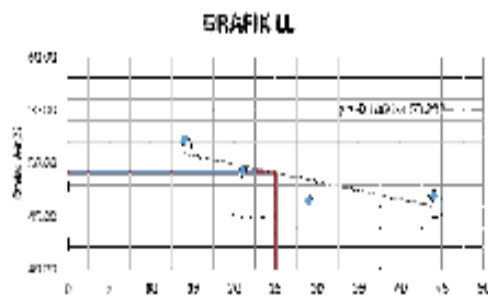
Pembuatan benda uji dilakukan dengan cara mencampurkan tanah, cangkang kerang dan air setelah itu dipadatkan dalam cetakan mold standar dengan berdiameter 10,10 cm, tinggi 11.63 cm yang dibagian bawahnya diberi kertas sebelum tanah tersebut dimasuki ke cetakannya. Pencampuran cangkang kerang sebagai bahan campuran dimulai dari 0%, 5%, 10%, 15% dan 20% terhadap berat kering tanah. Jumlah air dalam benda uji dapat diatu hingga mencapai kadar air optimum (OMC).

Dalam pengujian CBR digunakan alat ukur CBR Laboratorium yang elektrik sehingga nanti waktu pembacaan penetrasinya tepat pada 0.05 inci per menit. Pembacaan dicatat dimulai pada penetrasi 0,0125; 0,025; 0,05; 0,075; 0,1; 0,15; 0,2; 0,3; 0,4 dan 0,5 inci. Nilai CBR adalah nilai yang terbaik pada penetrasi 0,1 dan 0,2.

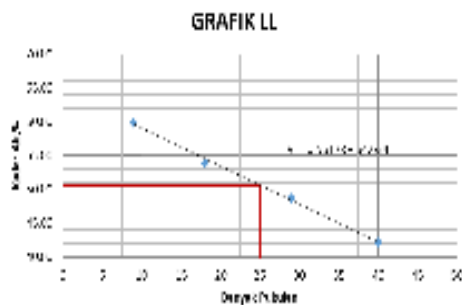


#### IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

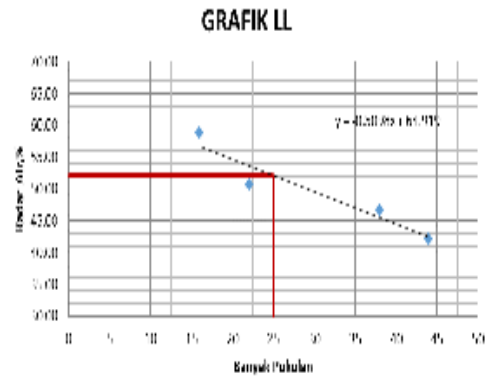
Dari hasil yang sudah disesuaikan dengan metode penelitian dan dengan literatur-literatur yang telah dijelaskan dalam tinjauan pustaka. Data penelitian yang bersifat fisik tanah adalah sebagai dasar untuk pertimbangan terhadap tanah yang berasal dari Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat.



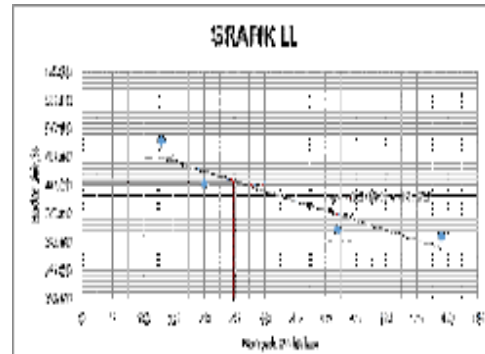
**Gambar 5.** Grafik Pengujian Batas Cair Tanah 0% campuran kapur cangkang kerang



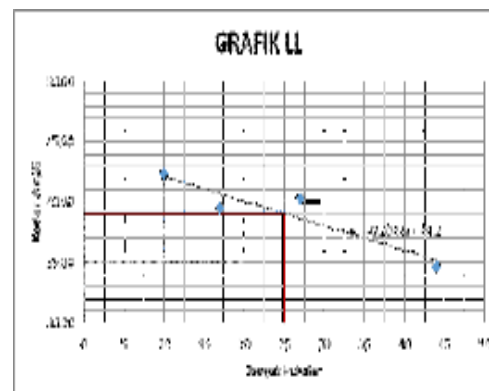
**Gambar 6.** Grafik Pengujian Batas Cair Tanah 5% campuran kapur cangkang kerang



**Gambar 7.** Grafik Pengujian Batas Cair Tanah 10% campuran kapur cangkang kerang



**Gambar 8.** Grafik Pengujian Batas Cair Tanah 15% campuran kapur cangkang kerang



**Gambar 9.** Grafik Pengujian Batas Cair Tanah 20% campuran kapur cangkang kerang



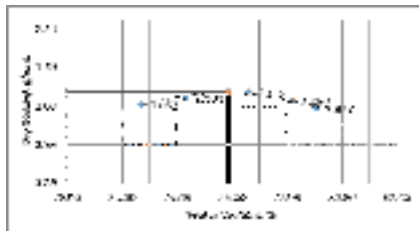
**a. Hasil Pengujian Pemadatan (Compaction)**

Dari hasil pengujian pemadatan pada tanah diperoleh nilai kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) dan berat isi kering ( $\gamma_d$ ) yaitu : Tanah asli 0% ( $W_{opt} = 25,87\%$ ;  $\gamma_d = 1,115 \text{ gr/cm}^3$ ), 5% Cangkang kerang ( $W_{opt} =$

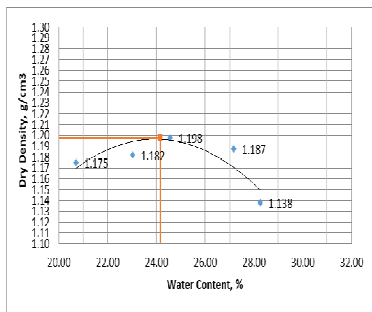
24,15%;  $\gamma_d = 1,198 \text{ gr/cm}^3$ ), 10% Cangkang kerang ( $W_{opt} = 22,18\%$ ;  $\gamma_d = 1,250 \text{ gr/cm}^3$ ), 15% Cangkang kerang ( $W_{opt} = 20,15\%$ ;  $\gamma_d = 1,285 \text{ gr/cm}^3$ ) dan 20% Cangkang kerang ( $W_{opt} = 18,88\%$ ;  $\gamma_d = 1,328 \text{ gr/cm}^3$ ). Hasil pengujian compaction dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

**Tabel 2. Hasil Pemadatan Campuran Cangkang Kerang**

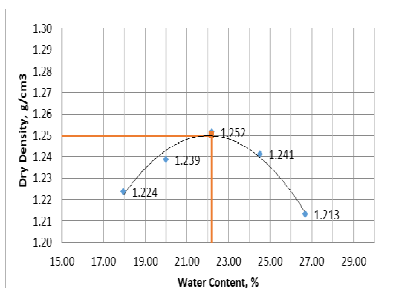
Parameter	Campuran Cangkang Kerang				
	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
Nilai Kerapatan Kering ( $\gamma_d$ ) $\text{gr/cm}^3$	1,115	1,198	1,250	1,285	1,328
Kadar air optimum (%)	25,87	24,15	22,18	20,15	18,88



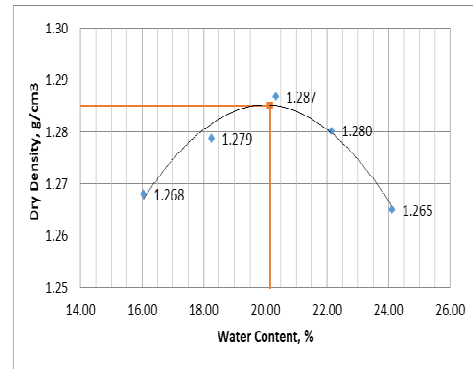
**Gambar 10. Grafik Pemadatan 0 % campuran kapur cangkang kerang**



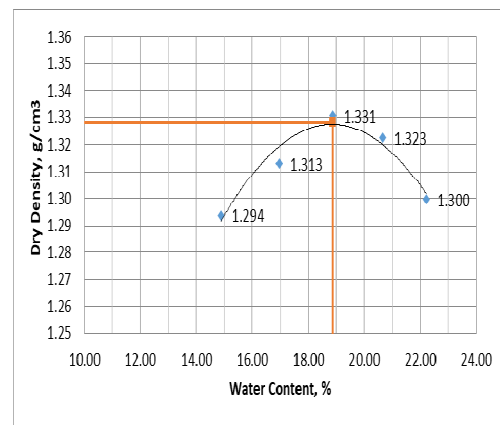
**Gambar 11. Grafik Pemadatan 5 % campuran kapur cangkang kerang**



**Gambar 12. Grafik Pemadatan 10 % campuran kapur cangkang kerang**



**Gambar 13. Grafik Pemadatan 15 % campuran kapur cangkang kerang**



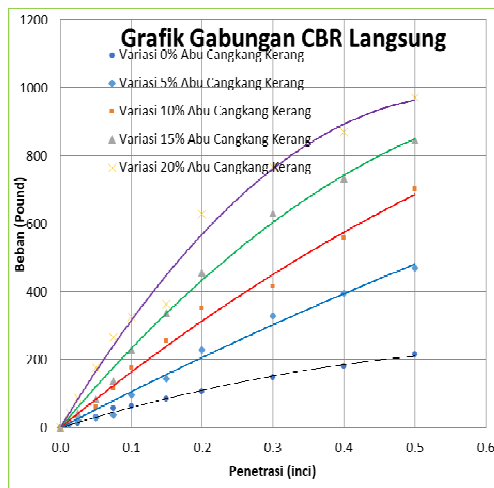
**Gambar 14. Grafik Pemadatan 20 % campuran kapur cangkang kerang**





## b. Hasil Pengujian CBR

Dari hasil pengujian CBR laboratorium untuk penambahan cangkang kerang yang dicampur dengan tanah dengan variasi 0 % diperoleh nilai 2,36 %, cangkang kerang dengan variasi 5 % diperoleh nilai CBR 5,10 %, cangkang kerang dengan variasi 10 % diperoleh nilai CBR 7,86 %, cangkang kerang dengan variasi 15 % diperoleh nilai CBR 10,15 % dan cangkang kerang dengan variasi 20 % diperoleh nilai CBR 13,97 %. Kadar air yang dipakai adalah kada air optimum OMC yang didapat dari hasil pengujian compaction masing-masing variasi. Hasil Pengujian CBR dengan penambahan cangkang kerang yang variasinya 0 %, 5 %, 10 %, 15 % dan 20 % bisa diperlihatkan pada masing-masing grafik penurunan dan beban untuk mendapatkan nilai CBR



Gambar 15. Grafik gabungan CBR

## V. KESIMPULAN DAN SARAN

### a. Kesimpulan

1. Sifat-sifat fisis tanah Daerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat didapat untuk nilai kadar air 25,87 %, berat isi tanah 1,946 gr/cm<sup>3</sup>, berat jenis (Gs) 2,68 gr/cm<sup>3</sup>, pengujian atterberg limit kadar air 49,09 % dan plastis indeks 21,53 %. Dari klasifikasi AASHTO tanah didaerah Sidomukti Kelurahan Sidomukti Kecamatan Kisaran Barat termasuk jenis tanah lempung.
2. Dalam hasil pengujian compaction diperoleh sebelum dicampur dengan cangkang kerang untuk tanah asli diperoleh ( $W_{opt} = 25,87 \%$ ,  $\gamma_d = 1,115 \text{ gr/cm}^3$ ), setelah penambahan cangkang kerang 20 % didapat nilai ( $W_{opt} = 18,88 \%$ ,  $\gamma_d = 1,328 \text{ gr/cm}^3$ ). Cangkang kerang sangat berpengaruh dalam penyerapan air setelah terjadi pencampuran dengan tanah lempung sehingga nilai  $W_{opt}$  mengalami penurunan dan nilai kepadatan kering terjadi peningkatan.
3. Dalam penambahan cangkang kerang sebesar 20 % terhadap tanah lempung menyebabkan nilai CBR laboratorium mengalami kenaikan yaitu dari 2,36 % menjadi 13,97 %, maka tanah di daerah Sidomukti dapat digunakan untuk penimbunan badan jalan dengan campuran cangkang kerang sebanyak 20 % dari berat tanah dikarenakan pada persentase campurannya nilai parameternya tetap sedangkan nilai kohesi menurun.

### b. Saran

Penulis menghimbau agar dapat dilakukan penelitian lebih



lanjut tentang penambahan zat kapur lain dengan tipe-tipe persentase campuran yang lebih banyak. Dengan bahan-bahan lainnya yang dihasilkan dari limbah-limbah industri.

#### UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terimakasih penulis ucapkan kepada Kementerian Riset,

Teknologi dan Pendidikan Tinggi (Ristekdikti) dan Pendidikan Tinggi Wilayah I yang telah memberikan bantuan dana penelitian dosen pemula dengan nomer kontrak: T/121/L1.3.1/PT.01.03/2019

#### DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials (1982). AASHTO Materials, Part II, Washington, D.C.
- American Society for Testing and Materials (1982). ASTM Standards, Part 19, Philadelphia, Pa.
- Brown, E. (1977). Vibroflotation Compaction of Cohesionless Soils, *Journal of the Geotechnical Engineering Division, ASCE*, Vol. 103, No GT12, 1437-1451.
- D'Appolonia, D. J., Whitman, R. V., and D'Appolonia, E. D. (1969). Sand Compaction with Vibratory Rollers, *Journal of the Soil Mechanics and Foundation Division, ASCE*, Vol. 95, No. SM1, 263-284.
- Das, B. M. (1984). Principles of Foundation Engineering, Brooks/Cole Engineering Division, Monterey, California.
- Das, B. M. (1996), Prinsip-Prinsip rekayasa Geoteknis, terjemahan Ir.Jhon Kelana Putra Hanum. Jilid I, Erlangga. Jakarta
- Das, B. M. (1996), Prinsip-Prinsip rekayasa Geoteknis, terjemahan Ir.Jhon Kelana Putra Hanum. Jilid II, Erlangga. Jakarta
- Hardiyatmo, H.C., 1992, Mekanika Tanah, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
- N. K. Ameta, D. G. M. Purohit, A. S. Wayal, (2008), *Characteristics, Problem and Remedies Of Expansive Soils of Rajasthan*, India, *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*.
- Proctor, R. R. (1993). Design and Construction of Rplled Earth Dams, *Engineering New Record*, Vol 3.