

ANALISIS PERBANDINGAN PENGGUNAAN LIMBAH GYPSUM DENGAN SEMEN SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG

Maryati

Email : ozora23@yahoo.com

Yayuk Apriyanti

Email : yayukapriyanti@ymail.com

Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Bangka Belitung
Kampus Terpadu UBB Balunijuk, Merawang, Kab. Bangka

ABSTRAK

Tanah lempung merupakan tanah yang banyak bermasalah karena mempunyai plastisitas yang tinggi dan permeabilitas yang rendah sehingga proses konsolidasi membutuhkan waktu yang lama. Sehingga perlu dilakukan perbaikan tanah dengan proses stabilisasi. Pada penelitian ini, stabilisasi untuk tanah lempung menggunakan limbah gypsum dengan tiga variasi campuran yaitu 5%, 10% dan 15% dari berat tanah kering. Tanah lempung yang telah dicampur dengan limbah gypsum diperam selama 7 hari, kemudian dilakukan pengujian konsolidasi satu dimensi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap parameter hasil uji konsolidasi dan perbandingan penggunaan limbah gypsum dengan semen sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ditinjau dari parameter hasil uji konsolidasi, penurunan konsolidasi dan biaya yang harus dikeluarkan. Dari hasil pengujian konsolidasi tanah asli didapat nilai koefisien konsolidasi (C_v) sebesar $0,0318 \text{ cm}^2/\text{detik}$, nilai indeks kompresi (C_c) sebesar $0,0086$ dan tekanan prakonsolidasinya (P_c') yaitu $0,427 \text{ kg/cm}^2$. Dengan adanya penambahan limbah gypsum pada kadar campuran 15%, nilai C_v meningkat signifikan menjadi $0,0519 \text{ cm}^2/\text{detik}$, nilai P_c' mengalami kenaikan maksimum sebesar $0,441 \text{ kg/cm}^2$ sedangkan untuk nilai C_c mengalami penurunan maksimum sebesar $0,0086$. Dari hasil analisis, tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum dan dengan semen terkonsolidasi secara normal dan nilai P_c' mengalami kenaikan maksimum pada kadar 15% masing-masing sebesar $0,441 \text{ kg/cm}^2$ untuk limbah gypsum dan $0,487 \text{ kg/cm}^2$ untuk semen. Peningkatan nilai koefisien konsolidasi (C_v) tertinggi dan penurunan nilai indeks kompresi (C_c) terendah untuk kedua bahan stabilisasi terjadi pada kadar variasi campuran 15%. Nilai C_v tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum sebesar $0,0519 \text{ cm}^2/\text{detik}$ dan $0,0588 \text{ cm}^2/\text{detik}$ untuk tanah yang distabilisasi dengan semen sehingga perbedaan nilai C_v sebesar 11,73%, sedangkan nilai C_c tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum dengan semen masing-masing sebesar $0,0086$ dan $0,0031$ sehingga perbedaan nilai C_c sebesar 177,42%. Penurunan konsolidasi terkecil untuk kedua bahan stabilisasi terjadi pada kadar variasi campuran 15 % yaitu sebesar 3,24 cm untuk tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum dan 1,25 cm untuk tanah yang distabilisasi dengan semen. Sehingga perbedaan nilai penurunan konsolidasi keduanya adalah 159,2%. Biaya penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi tanah lempung lebih ekonomis dibandingkan semen. Biaya total dari penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi sebesar Rp 3.600.000,00 sedangkan biaya penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi Rp 136.725.000,00.

Kata Kunci : Tanah Lempung, Stabilisasi, Limbah Gypsum, Semen, Konsolidasi

PENDAHULUAN

Dalam pelaksanaan pekerjaan kontruksi sipil dilapangan sering dijumpai masalah-masalah teknis yang berkaitan dengan tanah. Tanah harus mampu menahan beban yang akan bekerja diatasnya. Salah satu jenis tanah yang kurang menguntungkan adalah tanah lempung karena permeabilitasnya rendah sehingga proses konsolidasi terjadi dalam waktu lama, sifat kembang susut tinggi dan sangat berpengaruh terhadap perubahan kadar air. Tingginya nilai plastisitas mengakibatkan tanah lempung memiliki daya dukung yang rendah dan mudah mengalami perubahan bentuk sehingga terjadi penurunan (*settlement*) yang tidak merata. Ada beberapa metode perbaikan tanah yang sering digunakan untuk meningkatkan kapasitas daya dukung tanah, yaitu stabilisasi secara mekanis dan kimiawi (bahan tambah). Bahan tambah yang sering digunakan untuk bahan stabilisasi adalah semen, kapur, abu terbang, bitumen, dan bahan kimia lainnya. Penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi telah banyak diterapkan karena semen mudah didapatkan. Akan tetapi harga semen relatif mahal sehingga diperlukan bahan alternatif lain sebagai bahan stabilisasi tanah untuk memperkecil biaya penggunaan bahan stabilisasi. Pada penelitian ini digunakan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi untuk meningkatkan stabilitas tanah lempung diwilayah Kelurahan Selindung, Kecamatan Pangkalbalam, Kota Pangkalpinang. Penambahan limbah gypsum ini diharapkan dapat mempercepat proses penurunan konsolidasi tanah

lempung dengan memberikan beban-beban tertentu dan dapat diketahui pula tingkat ke-ekonomisan terhadap biaya yang harus dikeluarkan dari penggunaan bahan tambah (*additive*) antara semen dengan limbah gypsum.

Adapun tujuan penelitian ini adalah :

1. Untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap parameter hasil uji konsolidasi tanah lempung di wilayah Kelurahan Selindung, Kecamatan Pangkalbalam, Kota Pangkalpinang.
2. Untuk mengetahui perbandingan penggunaan limbah gypsum dengan semen sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ditinjau dari parameter hasil uji konsolidasi, penurunan konsolidasi dan biaya yang harus dikeluarkan.

TINJAUAN PUSTAKA

Kajian Terdahulu

Penelitian Arif Wibawa (2015) yang berjudul pengaruh penambahan limbah gypsum terhadap nilai kuat geser tanah lempung menyatakan bahwa tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah gypsum dapat meningkatkan nilai kuat geser tanah (*S*). Dari hasil pengujian nilai *S* terbesar terjadi pada sampel tanah yang dicampur dengan limbah gypsum sebanyak 8% dengan waktu pemeraman 14 hari yaitu 61,57 KN/m². Terjadi kenaikan sebesar 116,34% dari sampel tanah asli yang dilakukan pemeraman waktu selama 14 hari.

Herni (2015) melakukan penelitian tentang analisis konsolidasi dan penurunan tanah yang distabilisasi dengan semen

menyatakan tanah lempung terkonsolidasi secara normal. Dari hasil pengujian konsolidasi tanah asli didapat nilai P_c sebesar $0,436 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai C_c sebesar $0,0397$. Dari hasil pengujian tanah yang telah distabilisasi dengan semen nilai P_c mengalami kenaikan maksimum sebesar $0,487 \text{ kg/cm}^2$ dan nilai C_c mengalami penurunan maksimum pada kadar semen 15% sebesar $0,0031$ dari tanah asli. Penurunan tanah asli yang terjadi sebesar $13,04 \text{ cm}$, pada penambahan kadar semen 15% penurunan tanah menjadi semakin kecil sebesar $1,25 \text{ cm}$.

Sholehuddin (2012) dalam penelitiannya berjudul perbandingan parameter hasil uji konsolidasi antara tanah yang distabilisasi dengan kapur dan dengan semen. Dari hasil pengujiannya nilai C_c mengalami penurunan optimum pada kadar kapur 7% sebesar $0,236$ dan mengalami kenaikan yang signifikan pada kadar semen 7% sebesar $0,459$ dari tanah asli. Nilai C_r pada kapur mengalami penurunan optimum pada kadar 7% sebesar $0,004$ dan pada kadar semen 3% sebesar $0,046$. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai C_c dan C_r mengalami penurunan sejalan dengan bertambahnya presentase bahan aditif dan terlihat lebih signifikan pada tanah yang dicampur kapur dibanding dengan tanah yang dicampur semen.

Definisi Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) mineral-mineral padat yang tidak tersementasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (yang berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi

ruang-ruang kosong diantara partikel-partikel padat tersebut (Braja M. Das, 1988).

Klasifikasi Tanah

Klasifikasi tanah ialah penentuan sifat-sifat tanah yang digunakan untuk menentukan jenis tanah. Hasil dari penyelidikan sifat-sifat ini kemudian dapat digunakan untuk mengevaluasi masalah-masalah tertentu, seperti penentuan penurunan bangunan yaitu dengan menentukan kompresibilitas tanah, penentuan kecepatan air mengalir lewat benda uji dengan menghitung koefisien permeabilitas, dan untuk mengevaluasi stabilitas tanah yang miring. Pada penelitian ini sistem klasifikasi yang digunakan adalah sistem klasifikasi tanah *AASHTO* mengklasifikasikan tanah kedalam delapan tetapi kelompok A-8 tidak diperlihatkan. Yang diperlihatkan adalah kelompok, A-1 sampai A-7.

Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah merupakan upaya untuk merubah atau memperbaiki sifat-sifat teknis tanah seperti: kapasitas dukung, kompresibilitas, permeabilitas, potensi pengembangan dan sensitifitas terhadap perubahan kadar air agar memenuhi syarat teknis tertentu dengan cara menambah bahan tertentu pada tanah tersebut. Kondisi tanah dikatakan stabil apabila memenuhi kriteria atau spesifikasi perencanaan yang dikerjakan dilapangan, baik sebagian maupun seluruhnya.

1. Stabilisasi Mekanis

Stabilisasi mekanis dilakukan dengan cara mencampur atau mengaduk dua macam tanah atau lebih yang bergradasi berbeda untuk memperoleh material yang memenuhi syarat kekuatan tertentu.

2. Stabilisasi dengan Menggunakan Bahan Tambah

Perbaikan tanah pada metode ini adalah dengan mencampurkan/menambahkan zat aditif pada tanah yang akan digunakan misalnya semen, kapur, abu sekam padi, abu terbang dan lain-lain.

Limbah Gypsum

Limbah gypsum merupakan sisa hasil dari industri pembuatan profil gypsum yang digunakan sebagai hiasan bangunan. Gypsum adalah salah satu contoh mineral dengan kadar kalsium yang mendominasi pada mineralnya. Gypsum yang paling umum ditemukan adalah jenis hidrat kalsium sulfat dengan rumus kimia $\text{CaSO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$. Dalam pekerjaan teknik sipil, manfaat penggunaan gypsum antara lain seperti berikut ini (Dalam Yulindasari Sutejo dkk, 2015).

1. Gypsum yang dicampur lempung dapat mengurangi retak karena sodium pada tanah tergantikan oleh kalsium pada gypsum sehingga pengembangannya lebih kecil.
2. Gypsum dapat meningkatkan stabilitas tanah organik karena mengandung kalsium yang mengikat tanah bermateri organik terhadap lempung yang memberikan stabilitas terhadap agregat tanah.
3. Gypsum meningkatkan kecepatan rembesan air, dikarenakan gypsum lebih menyerap banyak air.
4. Gypsum sebagai penambahan kekerasan untuk bahan bangunan.
5. Gypsum sebagai salah satu bahan pembuat *Portland Cement*.

Tabel 1 Komposisi Kimia Gypsum

Komposisi Kimia Gypsum	Jumlah (%)
Kalsium Oksida (CaO)	32,57
Kalsium (Ca)	23,28
Air (H ₂ O)	20,93
Hidrogen (H)	2,34
Sulfur (S)	18,62

Sumber: *Salon Sinaga, 2009*

Semen

Semen adalah perekat hidraulis bahan bangunan, artinya akan jadi perekatan bila bercampur dengan air. Bahan dasar semen pada umumnya ada tiga macam yaitu klinker/terak (70% hingga 95%, merupakan hasil olahan pembakaran batu kapur, pasir silika, pasir besi dan lempung), gypsum (sekitar 5%, sebagai zat pelambat pengerasan) dan material ketiga seperti batu kapur, *pozzolan*, abu terbang, dan lain-lain.

Tabel 2 Kandungan Kimia Semen

Unsur	Prosentase (%)
Kapur (CaO)	60-65
Silika (SiO ₂)	17-25
Aluminium (Al ₂ O ₃)	3-8
Besi (Fe ₂ O ₃)	0,5-6
Magnesia (MgO)	0,5-4
Sulfur (SO ₃)	1-2
Soda/potash (Na ₂ O+K ₂ O)	0,5-1

Sumber : *Tjokrodinuljo, 2007*

Pemadatan

Pemadatan adalah suatu proses yang dilakukan untuk merapatkan butiran tanah (*solid*) yang satu dengan yang lain, sehingga partikel tanah saling berdekatan dan pori tanah menjadi kecil. Proses pemadatan dilapangan biasanya dilakukan secara mekanik, seperti penggilasan (*Rolling*), penumbukan (*Ramming*), atau

penggetaran (*Vibrating*) (Gogot Setyo Budi, 2011).

Konsolidasi

Konsolidasi adalah proses berkurangnya volume atau berkurangnya rongga pori dari tanah jenuh berpermeabilitas rendah akibat pembebanan. Proses ini terjadi jika tanah jenuh berpermeabilitas rendah dibebani, maka tekanan air pori tanah bertambah, akibatnya air mengalir kelapisan tanah dengan tekanan air pori yang rendah yang diikuti dengan penurunan tanah. Karena permeabilitas tanah rendah, maka proses ini membutuhkan waktu. Pengujian konsolidasi pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan alat *Oedometer*, dimana pengujian ini dilaksanakan bertujuan untuk mengetahui perilaku konsolidasi dari tanah lempung.

Penurunan Konsolidasi

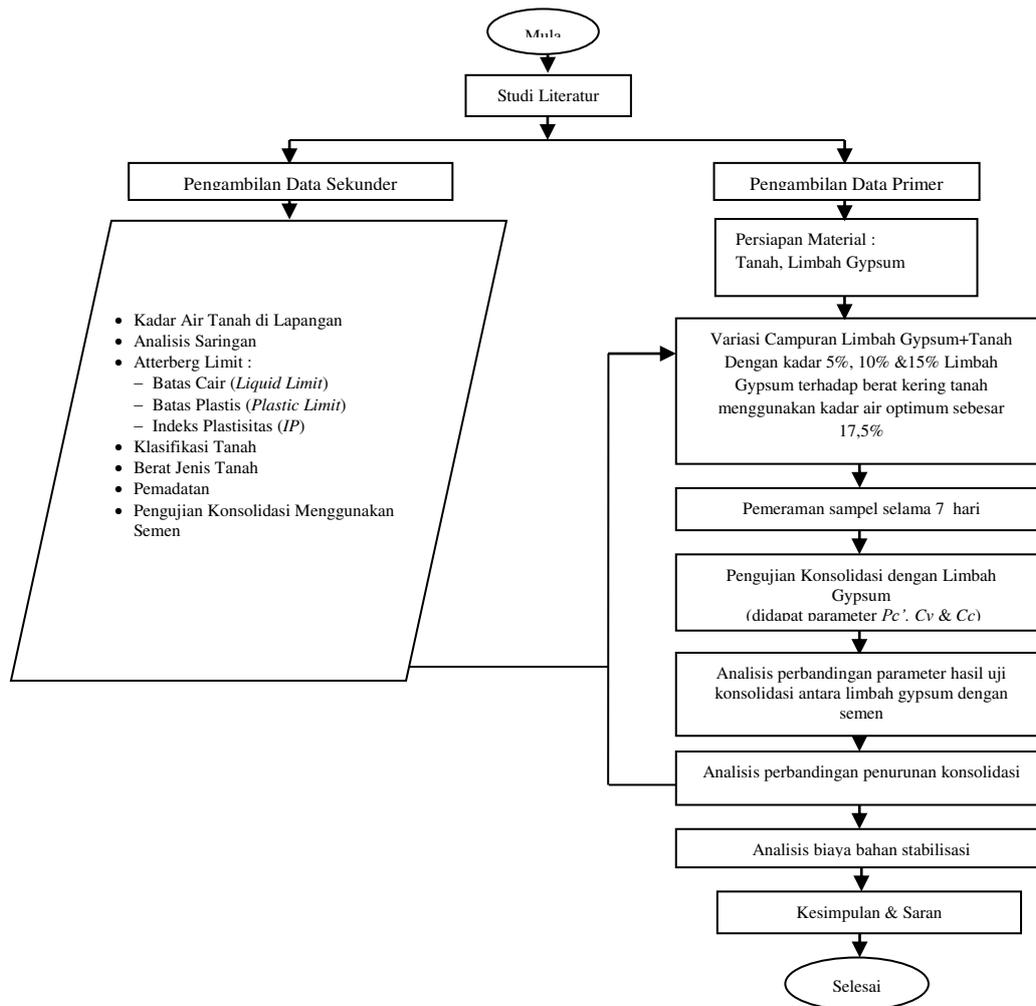
Bila suatu lapisan tanah mengalami pembebanan akibat beban di atasnya, maka tanah dibawah beban yang bekerja tersebut akan mengalami kenaikan tegangan. Pembebanan ini mengakibatkan adanya deformasi partikel tanah, relokasi partikel tanah, dan keluarnya air pori dari tanah yang disertai berkurangnya volume tanah.

Hal inilah yang mengakibatkan terjadinya penurunan tanah (*settlement*).

Ketersediaan Biaya Bahan Stabilisasi

Setelah melakukan analisis seluruh data yang ada, maka umumnya akan diperoleh beberapa pilihan dalam menentukan tipe-tipe stabilisasinya. Keputusan terakhir, biasanya didasarkan pada biaya yang tersedia dan tuntutan kinerja hasil stabilisasi yang diharapkan.

METODE PENELITIAN



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Sekunder

Pemeriksaan Kadar Air di Lapangan

Kadar air adalah besarnya kandungan air yang terdapat didalam suatu contoh tanah. Kadar air diperoleh dengan membandingkan antara berat air dengan berat butiran padat dan dinyatakan dalam persen. Pengujian kadar air ini bertujuan untuk mengetahui kadar air asli dilapangan maupun kadar air contoh tanah terganggu.

Tabel 3 Kadar Air Asli di Lapangan

Pemeriksaan Kadar Air Asli di Lapangan						
No Cawan	1	2	3	4	5	6
Berat cawan (gr)	13,20	13,40	13,50	13,30	14,40	14,10
Berat tanah basah + cawan (gr)	34,9	41,9	37,2	50,0	43,3	43,2
Berat tanah kering + cawan (gr)	30,4	35,9	32,1	42,0	37,3	36,7
Berat tanah kering (gr)	17,2	22,5	18,6	28,7	22,9	22,6
Berat air (gr)	4,50	6,0	5,10	8,0	6,0	6,5
Kadar air (%)	26,16	26,67	27,42	27,87	26,20	28,76
Kadar air rata-rata (%)	27,18					

Sumber :Hasil pengujian Arif Wibawa, 2015

Pengujian Analisis Saringan

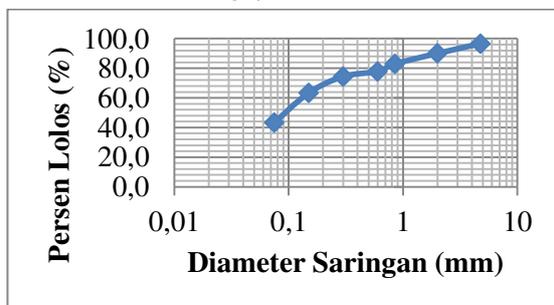
Pengujian ini bertujuan untuk menentukan penyebaran (distribusi) ukuran butiran agregat kasar maupun agregat halus

dengan menggunakan seperangkat saringan yang memiliki ukuran diameter lubang tertentu.

Tabel 4. Analisis Saringan Agregat Halus

Saringan No.	Diameter Saringan	Berat Tertahan	Jlh Berat Tertahan	Persen	
		Gram	Gram	Tertahan	Lolos
4	4,75	17,5	17,5	3,4	96,6
10	2	33,6	51,1	10,0	90,0
20	0,85	36,4	87,5	17,1	82,9
30	0,6	25,9	113,4	22,2	77,8
50	0,3	17,5	130,9	25,6	74,4
100	0,15	56,5	187,4	36,6	63,4
200	0,075	103	290,4	56,7	43,3
Pan		221,4	511,8	100,0	0,0

Sumber :Hasil Pengujian Arif Wibawa, 2015



Gambar 2. Hubungan persentase lolos terhadap diameter saringan

Dari Tabel 4 dan Gambar 2 menunjukkan bahwa berat contoh tanah yang tertahan pada Pan sebesar 221,4 gram atau sebesar 43,3% dari berat contoh tanah seluruhnya. Berdasarkan klasifikasi tanah *AASHTO* bahwa tanah yang lolos saringan No 200 atau tertahan di Pan minimal 35% dikategorikan sebagai tanah berlanau atau tanah berlempung. Untuk lebih memastikan jenis tanah maka harus diketahui nilai batas cair (*Liquid Limit*), batas plastis (*Plastic Limit*), dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*) melalui pengujian batas-batas *Atterberg*.

Pengujian *Atterberg Limit*

Pemeriksaan batas-batas *Atterberg* meliputi pengujian batas cair (*Liquid Limit*), pengujian batas plastis (*Plastic Limit*) dan indeks plastisitas (*Plasticity Index*). Data yang diperoleh dari pengujian ini terdapat pada Tabel 5 dibawah ini.

Tabel 5. Pemeriksaan Batas–Batas *Atterberg*

Jenis Tanah	Batas Cair	Batas Plastis	Indeks Plastisitas
Tanah Lempung	45,81 %	22,53 %	23,28 %

Sumber :Hasil Pengujian Arif Wibawa, 2015

Dari Tabel 5 didapat batas cair sebesar 45,81%, batas plastis 22,53%, dan nilai indeks plastisitas untuk tanah lempung sebesar 23,28% dapat dikategorikan tanah lempung berplastisitas tinggi. Didapat batas plastisitas (PL) < 30%, sehingga sudah memasuki klasifikasi *AASHTO* kelompok A-7-6, dengan syarat batas cair minimal 41% dan indeks plastisitas minimal 11%.

Berat Jenis

Berat jenis atau *specific gravity* (G_s) merupakan perbandingan (rasio) antara berat volume butiran padat (γ_s) dengan berat volume air (γ_w) pada suhu yang sama.

Tabel 6. Pemeriksaan Berat Jenis

Jenis Tanah	Lempung A	Lempung
No Pycnometer	12 L	12 L
Berat Pycnometer (gr)	38,2	38,2
Berat Tanah (gr)	30	30
Berat Pycnometer + Air (gr)	87,6	87,5
Berat Pycnometer + Air + Tanah (gr)	105,33	105,14
Suhu (°C)	28,5	28,5
Faktor Koreksi	0,9974	0,9974
Berat Tanah + Pycnometer (gr)	68,2	68,2
Isi Contoh tanah	12,271	11,872
Berat Jenis	2,451	2,433
Rata – Rata Berat Jenis	2,442	

Sumber :Hasil Pengujian Arif Wibawa, 2015

Dari Tabel 6 dapat disimpulkan bahwa berat jenis yang didapatkan adalah 2,442.

Pemadatan

Uji pemadatan dimaksudkan untuk menentukan kadar air optimum dan kepadatan kering maksimum. Kadar air optimum merupakan nilai kadar air yang terbaik untuk mencapai berat volume kering terbesar atau kepadatan maksimum. Kadar air dan kepadatan maksimum ini dapat digunakan untuk menentukan syarat yang harus dicapai pada pekerjaan pemadatan tanah di lapangan. Dalam penelitian ini usaha pemadatan dilakukan dengan lima lapisan (*Modified Proctor*) karena akan memberikan hasil tanah yang lebih padat daripada yang tiga lapisan (*Standard Proctor*).

Tabel 7. Hasil Pengujian Pemadatan

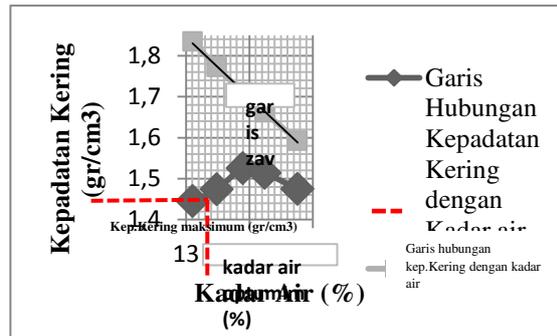
Bahan	Kadar Air Optimum (%)	Kepadatan Kering (gr/cm ³)
Tanah Lempung	17,495	1,525

Sumber : Hasil pengujian Arif Wibawa, 2015

Tabel 8. Hasil Pengujian Konsolidasi (t_{90} & C_v)

Variasi Campuran	No. Contoh	Limbah Gypsum (Peneliti, 2016)		Semen (Herni, 2015)	
		Akar Waktu (t_{90}) (menit)	Koefisien Konsolidasi (C_v) (cm ² /detik)	Akar Waktu (t_{90}) (menit)	Koefisien Konsolidasi (C_v) (cm ² /detik)
Tanah Asli	I	3,08	0,0298	2,93	0,0304
	II	2,47	0,0318	2,63	0,0298
	III	1,65	0,0338	1,67	0,0347
Rata-rata		2,40	0,0318	2,41	0,0316
Variasi 5%	I	1,43	0,0389	1,02	0,0538
	II	1,27	0,0420	1,03	0,0525
	III	1,18	0,0429	1,11	0,0492
Rata-rata		1,29	0,0412	1,05	0,0518
Variasi 10%	I	0,95	0,0525	0,96	0,0572
	II	0,97	0,0523	0,96	0,0575
	III	1,22	0,0448	0,97	0,0566
Rata-rata		1,04	0,0498	0,96	0,0571
Variasi 15%	I	0,95	0,0519	0,88	0,0615
	II	0,97	0,0518	0,96	0,0567
	III	1,00	0,0521	0,93	0,0583
Rata-rata		0,97	0,0519	0,93	0,0588

Sumber : Hasil Pengujian

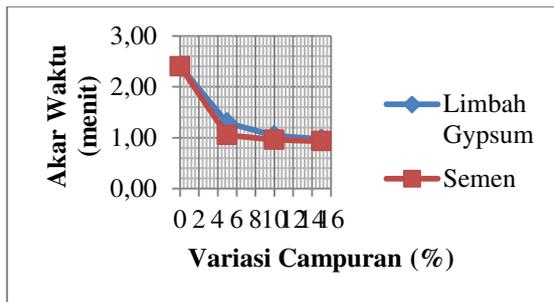


Gambar 3. Hubungan Antara Kadar Air dengan Kepadatan Kering

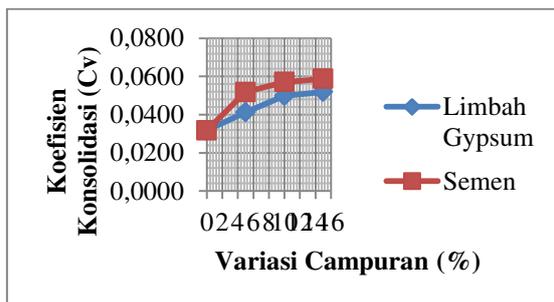
Analisis Perbandingan Parameter Hasil Uji Konsolidasi

Koefisien Konsolidasi (C_v)

Pada penelitian ini, untuk menentukan nilai koefisien konsolidasi (C_v) digunakan metode akar waktu (*Square Root of Time Method*) (Taylor, 1948) yaitu dengan cara menggambarkan hasil uji konsolidasi pada grafik hubungan akar waktu terhadap penurunan tebal sampel.



Gambar 4. Grafik Hubungan Akar Waktu (t_{90}) dengan Variasi Campuran



Gambar 5. Grafik Hubungan Koefisien Konsolidasi dengan Variasi Campuran

Dari Tabel 8, Gambar 4 dan 5 dapat disimpulkan bahwa pencapaian waktu konsolidasi pada tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum lebih lama dibandingkan dengan tanah yang distabilisasi dengan semen. Perbedaan nilai waktu konsolidasi (t_{90}) antara tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum dengan semen sebesar 4,3%. Sedangkan untuk nilai koefisien konsolidasi pada tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum lebih kecil dibandingkan dengan semen. Perbedaan nilai koefisien konsolidasi (C_v) antara kedua bahan stabilisasi tersebut adalah 11,73%. Pencapaian waktu konsolidasi tercepat dan nilai koefisien konsolidasi terbesar untuk kedua bahan stabilisasi terjadi pada variasi campuran 15%.

Tekanan Prakonsolidasi (P_c')

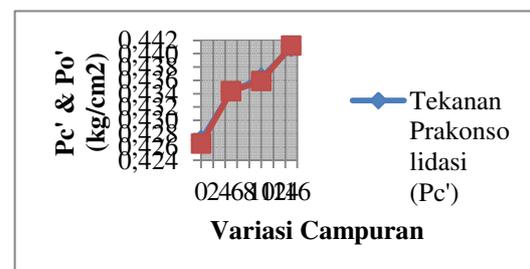
Tekanan prakonsolidasi adalah tekanan maksimum yang pernah dialami oleh tanah. Tanah lempung pada kondisi *normally consolidated*, bila tekanan prakonsolidasi (P_c') sama dengan atau mendekati tekanan *overburden* (P_o'). Untuk menentukan tekanan prakonsolidasi (P_c') pada penelitian ini digunakan cara Casagrande (1936) yaitu dengan menggunakan gambar grafik hubungan $e - \log p'$.

Tabel 9. Hasil Pengujian Konsolidasi (P_c'

Variasi Contoh	No Contoh	Limbah Gypsum (Peneliti, 2016)		Semen (Herni, 2015)	
		Tekanan Prakonsolidasi (P_c') (kg/cm ²)	Tekanan <i>Overburden</i> (P_o') (kg/cm ²)	Tekanan Prakonsolidasi (P_c') (kg/cm ²)	Tekanan <i>Overburden</i> (P_o') (kg/cm ²)
Tanah Asli	I	0,427	0,425	0,436	0,437
	II	0,428	0,428	0,436	0,436
	III	0,426	0,426	0,437	0,437
Rata-rata		0,427	0,426	0,436	0,437
Variasi 5%	I	0,437	0,436	0,471	0,470
	II	0,432	0,433	0,470	0,471
	III	0,434	0,434	0,465	0,467
Rata-rata		0,434	0,434	0,469	0,469
Variasi 10%	I	0,437	0,436	0,476	0,477
	II	0,435	0,436	0,478	0,477
	III	0,437	0,436	0,475	0,477
Rata-rata		0,436	0,436	0,476	0,477
Variasi 15%	I	0,435	0,436	0,480	0,481
	II	0,437	0,438	0,490	0,489
	III	0,451	0,450	0,492	0,494
Rata-rata		0,441	0,441	0,487	0,488

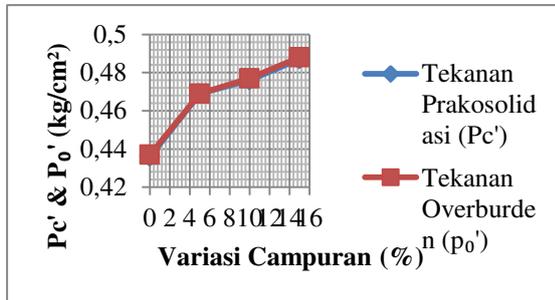
dan P_o')

Sumber : Hasil Pengujian



Sumber : Hasil Pengujian

Gambar 6 Hubungan Tekanan Prakonsolidasi dan Tekanan Overburden Tanah yang Distabilisasi dengan Limbah Gypsum



Gambar 7 Hubungan Tekanan Prakonsolidasi dan Tekanan Overburden Tanah yang Distabilisasi dengan Semen

Dari Tabel 9, Gambar 6 dan 7 dapat disimpulkan bahwa baik tanah lempung asli maupun tanah lempung yang telah dicampur dengan limbah gypsum dan dengan semen tekanan prakonsolidasinya (P_c') sama dengan atau mendekati tekanan overburden (P_o'), sehingga merupakan lempung *normally consolidated*.

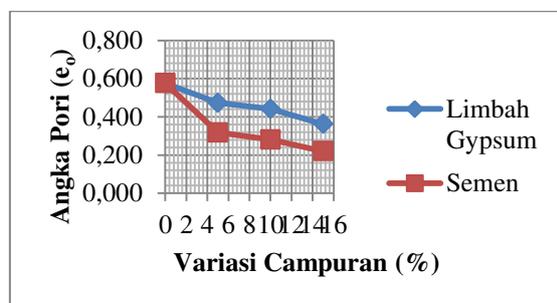
Compression Index (C_c)

Indeks pemampatan atau indeks kompresi (C_c) adalah kemiringan dari bagian lurus grafik e -log p' . Untuk dua titik yang terletak pada bagian lurus dari grafik e -log p' ditentukan sembarang. Hasil rata-rata nilai indeks kompresi dari pengujian ini dapat dilihat pada Tabel 10 berikut ini.

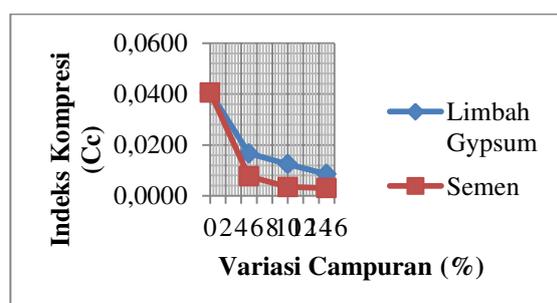
Tabel 10 Hasil Pengujian Konsolidasi (e_o dan C_c)

Variasi Campuran	No. Contoh	Limbah Gypsum (Peneliti, 2016)		Semen (Herni, 2015)	
		Angka Pori (e_o)	Indeks Kompresi (C_c)	Angka Pori (e_o)	Indeks Kompresi (C_c)
Tanah Asli	I	0,586	0,0419	0,561	0,0397
	II	0,568	0,0386	0,567	0,0400
	III	0,573	0,0414	0,570	0,0394
Rata-rata		0,576	0,0406	0,566	0,0397
Variasi 5%	I	0,468	0,0172	0,320	0,0055
	II	0,474	0,0156	0,292	0,0092
	III	0,477	0,0172	0,343	0,0084
Rata-rata		0,473	0,0167	0,318	0,0077
Variasi 10%	I	0,449	0,0132	0,282	0,0037
	II	0,452	0,0115	0,281	0,0032
	III	0,424	0,0128	0,280	0,0037
Rata-rata		0,442	0,0125	0,281	0,0035
Variasi 15%	I	0,381	0,0086	0,256	0,0032
	II	0,385	0,0089	0,215	0,0034
	III	0,321	0,0082	0,189	0,0026
Rata-rata		0,362	0,0086	0,220	0,0031

Sumber :Hasil Pengujian



Gambar 8. Grafik Hubungan Angka Pori (e_o) dengan Variasi Campuran



Gambar 9. Grafik Hubungan Indeks Kompresi (C_c) dengan Variasi Campuran

Dari Tabel 10, Gambar 8 dan 9 dapat disimpulkan bahwa nilai angka pori akibat penambahan limbah gypsum lebih besar daripada nilai angka pori dengan penambahan semen. Semakin besar nilai angka pori berarti tanah semakin longgar (tidak padat). Hal ini terjadi karena unsur silikat yang terdapat pada semen memberikan pengaruh yang dominan dibandingkan dengan kalsium yang dimiliki limbah gypsum untuk mengikat partikel tanah hingga tanah semakin keras dan kompak. Perbedaan nilai nilai angka pori untuk kedua bahan stabilisasi ini sebesar 64,55%. Sedangkan perbedaan nilai untuk indeks kompresi (C_c) antara tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum dengan semen sebesar 177,42%. Faktor yang menyebabkan angka pori menjadi berkurang adalah senyawa kimia yang terkandung pada limbah

gypsum maupun semen mengisi rongga pori dan mengikat partikel tanah sehingga rongga pori berkurang selain itu beban-beban yang diberikan selama proses pengujian berlangsung sehingga partikel-partikel tanah semakin rapat dan saling mengikat satu sama lain.

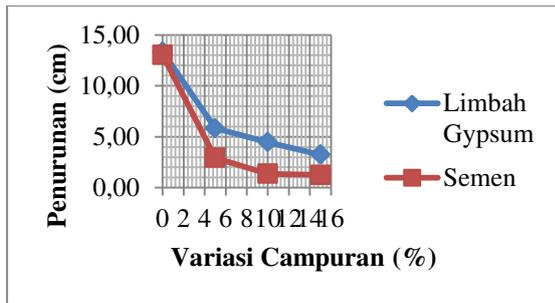
Analisis Penurunan Konsolidasi

Jika lapisan tanah dibebani, maka tanah akan mengalami regangan atau penurunan (*settlement*). Regangan yang terjadi dalam tanah ini disebabkan oleh dua hal, yaitu berubahnya susunan tanah dan berkurangnya rongga pori di dalam tanah tersebut. Jumlah dari regangan diseluruh kedalaman lapisan tanah merupakan penurunan total tanah. Gambar sketsa lapisan tanah di lapangan dapat dilihat pada Gambar 10 di bawah ini.



Gambar 10. Sketsa Lapisan Tanah

Sumber :Hasil Pengujian



Gambar 11 Grafik Hubungan Penurunan (S_c) dengan Variasi Campuran

Tabel 11. Penurunan Tanah Yang Terjadi

Variasi Campuran	No. Contoh	Penurunan (S_c)	
		Limbah Gypsum (Peneliti, 2016)	Semen (Herni, 2015)
Tanah Asli	I	13,70	13,07
	II	12,73	13,14
	III	13,64	12,91
Rata-rata		13,33	13,04
Variasi 5%	I	6,05	2,09
	II	5,45	3,56
	III	6,02	3,14
Rata-rata		5,84	2,93
Variasi 10%	I	4,68	1,43
	II	4,08	1,25
	III	4,63	1,43
Rata-rata		4,46	1,37
Variasi 15%	I	3,21	1,27
	II	3,32	1,37
	III	3,18	1,10
Rata-rata		3,24	1,25

Dari Tabel 11 dan Gambar 11 dapat disimpulkan bahwa dengan adanya penambahan limbah gypsum maupun semen pada saat tanah diberikan beban maka penurunan tanah yang terjadi semakin kecil. Penurunan tanah yang semakin kecil disebabkan oleh rongga pori telah terisi oleh bahan stabilisasi dan mengikat partikel tanah sehingga nilai angka pori berkurang tanahpun menjadi semakin padat. Semakin kecil nilai penurunan maka tanah semakin stabil.

Penurunan konsolidasi tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum lebih besar dibandingkan penurunan konsolidasi pada tanah yang distabilisasi menggunakan semen. Perbedaan nilai penurunan konsolidasi tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum dengan tanah yang distabilisasi menggunakan semen sebesar 159,2%.

Analisis Biaya Bahan Stabilisasi

Dalam analisis biaya pada penelitian ini menggunakan kadar variasi campuran 15% dari berat tanah yang akan distabilisasi. Digunakan kadar 15% karena pada kadar tersebut nilai penurunannya minimum. Dari hasil pengujian diketahui bahwa berat volume tanah asli dalam keadaan basah (γ_b) rata-rata sebesar $18,32 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3$ dengan kadar air (ω) rata-rata 20,64% sehingga berat volume tanah kering (γ_d) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut ini.

$$\gamma_b = \frac{\gamma_d}{1 + \omega} = \frac{18,32 \times 10^{-4} \text{ kg/cm}^3}{1 + 0,2064} = 1,519 \times 10^{-3} \text{ kg/cm}^3 = 1519 \text{ kg/m}^3$$

Asumsi yang digunakan :

Luas (A) = 100 m^2

Ketebalan stabilisasi (H) = 4 meter

Volume (V) = $A \times H = 100 \text{ m}^2 \times 4 \text{ m} = 400 \text{ m}^3$

1. Biaya kebutuhan bahan stabilisasi semen

Kebutuhan semen

= $15\% \times 1519 \text{ kg/m}^3 \times 400 \text{ m}^3$

= 91.140 kg

Berat semen per sak = 50 kg

Jumlah semen = $91.140 : 50$

= 1822,8sak

= (1823 sak)

$$\begin{aligned} \text{Harga semen / sak} &= \text{Rp } 75.000,00 \\ \text{Biaya total semen} \\ &= \text{Jumlah sak} \times \text{harga semen per sak} \\ &= 1823 \times \text{Rp } 75.000,00 \\ &= \text{Rp } 136.725.000,00 \end{aligned}$$

2. Biaya kebutuhan bahan stabilisasi limbah gypsum

$$\begin{aligned} \text{Kebutuhan Limbah Gypsum} \\ &= 15\% \times 1519 \text{ kg/m}^3 \times 400 \text{ m}^3 \\ &= 91.140 \text{ kg} \\ &= 91,140 \text{ ton} \end{aligned}$$

Untuk mengetahui muatan per dump truk dalam pengangkutan limbah gypsum ke lokasi tanah yang akan distabilisasi maka dilakukan penimbangan limbah gypsum dengan wadah yang telah diketahui diameter dan tingginya sehingga perbandingan berat terhadap volumenya dapat dihitung.

Berat limbah gypsum pada wadah adalah 5500 gram

$$\text{Tinggi wadah (H)} = 19 \text{ cm}$$

$$\text{Diameter wadah (D)} = 22 \text{ cm}$$

Volume wadah

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{4} \times \pi \times D^2 \times H \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times (22 \text{ cm})^2 \times 19 \text{ cm} \\ &= 7.222,52 \text{ cm}^3 \end{aligned}$$

Perbandingan berat limbah gypsum

$$\begin{aligned} \text{terhadap volumenya} &= \frac{5500 \text{ gram}}{7.222,52 \text{ cm}^3} \\ &= 0,7615 \text{ gr/cm}^3 \\ &= 0,7615 \text{ ton/m}^3 \end{aligned}$$

Muatan pengangkutan limbah gypsum per dump truk

$$\begin{aligned} &= 5 \text{ m}^3 \\ &= 0,7615 \text{ ton/m}^3 \times 5 \text{ m}^3 \\ &= 3,81 \text{ ton} \end{aligned}$$

Jumlah rit untuk limbah gypsum

$$\begin{aligned} &= 91,140 : 3,81 \\ &= 23,92 \text{ rit (24 rit)} \end{aligned}$$

Biaya angkutan per rit (rute Pangkalpinang – Selindung) = Rp 150.000,00

$$\begin{aligned} \text{Biaya total limbah gypsum} \\ &= \text{Jumlah rit} \times \text{biaya angkutan per rit} \\ &= 24 \times \text{Rp } 150.000,00 \\ &= \text{Rp } 3.600.000,00 \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan biaya bahan stabilisasi dapat disimpulkan bahwa biaya penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi jauh lebih rendah dibandingkan dengan semen. Hal ini terjadi karena bahan yang dimanfaatkan untuk stabilisasi merupakan sisa hasil produksi sehingga tidak ada biaya pembelian bahan stabilisasi.

Meskipun biaya yang harus dikeluarkan dari penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi tanah lempung lebih rendah, tetapi ditinjau dari nilai penurunannya tidak memenuhi syarat penurunan yang diizinkan. Tanah akan semakin kuat bila penurunannya kecil. Syarat kekuatan menjadi pertimbangan utama karena tanah harus mampu menahan beban yang bekerja di atasnya. Sehingga stabilisasi tanah lempung menggunakan semen lebih baik dibandingkan dengan limbah gypsum meskipun biayanya mahal.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

1. Penambahan limbah gypsum memberikan pengaruh terhadap parameter hasil uji konsolidasi tanah lempung di wilayah Kelurahan Selindung, Kecamatan Pangkalbalam, Kota Pangkalpinang. Nilai koefisien konsolidasi (C_v) untuk tanah asli yaitu 0,0318 cm^2/detik dan terjadi

peningkatan maksimum pada kadar campuran limbah gypsum 15% sebesar $0,0519 \text{ cm}^2/\text{detik}$. Tanah lempung terkonsolidasi secara normal dengan nilai tekanan prakonsolidasi (P_c') tanah asli didapat sebesar $0,427 \text{ kg/cm}^2$ dan mengalami kenaikan maksimum pada variasi campuran 15% limbah gypsum sebesar $0,441 \text{ kg/cm}^2$. Sedangkan nilai indeks kompresi (C_c) tanah asli sebesar $0,0406$ dan menurun secara signifikan pada kadar 15% limbah gypsum sebesar $0,0086$.

2. Parameter hasil uji konsolidasi tanah lempung yang distabilisasi menggunakan semen memberikan pengaruh yang lebih besar dibandingkan dengan tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah gypsum. Peningkatan nilai koefisien konsolidasi (C_v) tertinggi dan penurunan nilai indeks kompresi (C_c) terendah untuk kedua bahan stabilisasi terjadi pada kadar variasi campuran 15%. Nilai koefisien konsolidasi tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum sebesar $0,0519 \text{ cm}^2/\text{detik}$ dan $0,0588 \text{ cm}^2/\text{detik}$ untuk tanah yang distabilisasi dengan semen sehingga perbedaan nilai koefisien konsolidasinya sebesar $11,73\%$, sedangkan nilai indeks kompresi tanah yang distabilisasi menggunakan limbah gypsum dengan semen masing-masing sebesar $0,0086$ dan $0,0031$ sehingga perbedaan nilai indeks kompresinya sebesar $177,42\%$. Tekanan prakonsolidasi pada kedua bahan stabilisasi mengalami

peningkatan maksimum pada kadar variasi campuran 15% dan terkonsolidasi secara normal. Nilai P_c' untuk tanah lempung yang distabilisasi dengan limbah gypsum dan dengan semen masing-masing sebesar $0,441 \text{ kg/cm}^2$ dan $0,487 \text{ kg/cm}^2$. Penurunan konsolidasi terkecil untuk kedua bahan stabilisasi terjadi pada kadar variasi campuran 15% yaitu sebesar $3,24 \text{ cm}$ untuk tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum dan $1,25 \text{ cm}$ untuk tanah yang distabilisasi dengan semen. Sehingga perbedaan nilai penurunan konsolidasi keduanya adalah $159,2\%$. Biaya penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi tanah lempung lebih ekonomis dibandingkan semen. Biaya total dari penggunaan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi sebesar Rp $3.600.000,00$ sedangkan biaya penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi Rp $136.725.000,00$.

3. Berdasarkan parameter hasil uji konsolidasi dan penurunan konsolidasi, semen dipilih untuk bahan stabilisasi tanah lempung meskipun biayanya mahal karena tanah yang distabilisasi dengan limbah gypsum nilai penurunan konsolidasinya tidak memenuhi syarat yang diizinkan. Syarat kekuatan menjadi pertimbangan utama dalam pemilihan jenis bahan stabilisasi.

Saran

1. Perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan menggunakan variasi kadar campuran lebih besar dari 15% untuk mendapatkan nilai penurunan yang

- diizinkan (2,5 cm) dengan variasi pemeraman lebih dari 7 hari sebagai bahan perbandingan.
2. Dari hasil penelitian ini disarankan untuk mengkombinasikan penggunaan semen dan limbah gypsum sebagai bahan stabilisasi tanah lempung untuk meminimalisir penggunaan semen karena biayanya yang mahal.
 3. Dalam melakukan Pengujian ini sangat dibutuhkan ketelitian. Hal ini dikarenakan pembacaan arloji harus tepat pada waktu yang sudah ditentukan. Serta selama pengujian berlangsung alat uji konsolidasi (Oedometer) tidak boleh disentuh karena bisa mengakibatkan pembacaan arlojinya berubah.

DAFTAR PUSTAKA

- Andriani, Yulianti, R., dan Fernandez, F. L., 2012, *Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi Pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah*, Jurnal Penelitian, Universitas Andalas, Padang.
- Anonim, 2008, *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*, SNI 3423:2008, Badan Standar Nasional.
- Anonim, 2008, *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*, SNI 1967:2008, Badan Standar Nasional.
- Anonim, 2008, *Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks Plastisitas Tanah*, SNI 1966:2008, Badan Standar Nasional.
- Anonim, 2008, *Cara Uji Berat Jenis Tanah*, SNI 1964:2008, Badan Standar Nasional.
- Anonim, 2008, *Cara Uji Kepadatan Untuk Tanah*, SNI 1743:2008, Badan Standar Nasional.
- Anonim, 2011, *Cara Uji Konsolidasi Tanah Satu Dimensi*, SNI 2812:2011, Badan Standar Nasional, Jakarta.
- Bowles, J. E., 1984, *Sifat-Sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta.
- Budi, G. S., 2011, *Pengujian Tanah di Laboratorium*, Graha Ilmu, Yogyakarta.
- Das, B. M., 1988, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 1, Erlangga, Jakarta.
- Das, Braja M., 1995, *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis)*, Jilid 2, Erlangga, Jakarta.
- Gunarti, A. S. S., 2014, *Daya Dukung Tanah Lempung Yang Distabilisasi Dengan Spent Catalyst RCC 15 Dan Kapur*, Jurnal Penelitian, Universitas Islam 45 Bekasi, Bekasi.
- Hardiyatmo, H. C., 2012, *Mekanika Tanah 1*, Edisi Keenam, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, *Mekanika Tanah 2*, Edisi Kelima, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Hardiyatmo, H. C., 2010, *Stabilisasi Tanah Untuk Perkerasan Jalan*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- Herni, 2015, *Analisis Konsolidasi Dan Penurunan Tanah Yang Distabilisasi Dengan Semen*, Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung, Bangka.

- Sholehuddin, M., 2012, *Perbandingan Pengujian Konsolidasi Antara Tanah Yang Distabilisasi Dengan Kapur Dan Semen*, Jurnal Penelitian, Universitas Mercu Buana, Jakarta.
- Sinaga, S., 2009, *Pembuatan Papan Gypsum Plafon Dengan Bahan Pengisi Limbah Padat Pabrik Kertas Rokok Dan Perkat Polivinil Alkohol*, Tesis, Program Studi Fisika, Universitas Sumatera Utara, Medan.
- Sunggono kh, 1984, *Mekanika Tanah*, Nova, Bandung.
- Sutejo, Y., Dewi, R., dan Yudhistira, H., 2015, *Pengaruh Penambahan Abu Tandan Sawit Dan Gypsum Terhadap Tanah Lempung Lunak Berdasarkan Pengujian CBR*, Jurnal Penelitian, Universitas Sriwijaya, Palembang.
- Tjokrodinuljo, K., 2007, *Teknologi Beton*, Biro Penerbit Teknik Sipil Universitas Gadjah Mada, Yogyakarta.
- Wibawa, A., 2015, *Pengaruh Pemanfaatan Limbah Gypsum Terhadap Nilai Kuat Geser Tanah Lempung*, Skripsi, Program Studi Teknik Sipil, Universitas Bangka Belitung, Bangka.