

PENGARUH PENAMBAHAN SEMEN SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG

Ulfa Jusi¹⁾ Sjelly Haniza²⁾

Program Studi Teknik Sipil Sekolah Tinggi Teknologi Pekanbaru
Jl. Dirgantara No. 4 Arengka Raya Pekanbaru

Email : ulfajusi@gmail.com

Abstrak

Tanah Lempung mempunyai sifat yang kurang menguntungkan bagi konstruksi bangunan sipil khususnya konstruksi jalan raya, karena mempunyai kadar air yang tinggi, kemampuan dukung yang rendah dan sifat kembang susut yang tinggi serta memiliki penurunan yang besar. Metode perbaikan tanah dilakukan dengan cara stabilisasi agar tanah tersebut tetap dapat digunakan. Stabilisasi dilakukan dengan mencampur tanah lempung dengan semen. Sedangkan variasi kadar semen yang digunakan adalah 1%, 3%, dan 5% untuk mengetahui kondisi masing-masing sampel dilakukan pengujian dengan California Bearing Ratio (CBR). Tujuan penelitian ini untuk membandingkan nilai CBR tanah lempung sebelum dan setelah distabilisasi dengan penambahan semen serta untuk perbaikan daya dukung pondasi jalan (sub base). Prosedur penelitian dibagi 3 tahap yaitu penelitian awal untuk menentukan indeks properties tanah. Tahap kedua yaitu pengujian mekanis tanah meliputi pemadatan dan California Bearing Ratio (CBR). Pengujian tahap ketiga yaitu menambah campuran Portland Cement Composite (PCC) dengan variasi 1%, 3% dan 5%. Setiap pengujian sifat fisik dan mekanik. Pengujian CBR tanah dilakukan pemeraman dan perendaman benda uji, dengan waktu 3 hari pemeraman dan 4 hari perendaman. Hasil pengujian untuk Tanah Lempung dari Rumbai, Pekanbaru memiliki nilai CBR sebesar 3,2%. Sample tanah setelah di stabilisasi dengan variasi campuran semen, diperoleh nilai CBR 5% menjadi 56,10% dengan γ_{dry} maksimum 1,507 gr/cm³ dan kadar air optimum 26,20%; CBR 6% menjadi 61,61% dengan γ_{dry} maksimum 1,514 gr/cm³ dan kadar air optimum 26,18%; dan nilai CBR 7% menjadi 70,30% dengan γ_{dry} maksimum 1,520 gr/cm³ dan kadar air optimum 25,90%.

Kata Kunci : Stabilisasi Tanah, Lempung, PCC, CBR

PENDAHULUAN

Stabilisasi tanah dengan semen untuk aplikasi jalan raya umumnya digunakan untuk material lapis pondasi (base) atau lapis pondasi bawah (subbase). Semen yang dicampur dengan material granuler bergradasi baik, dapat mempunyai kuat tekan bebas (q_u) sekitar 7000 sampai 14000 Kpa. Material lapis pondasi jalan umumnya dipilih yang berkualitas tinggi. Tapi, dalam praktek banyak material alam yang berkualitas rendah, yaitu mempunyai kekuatan rendah dan berplastisitas tinggi. Semen digunakan untuk mereduksi atau menghilangkan secara total plastisitas material granuler yang akan digunakan untuk lapis pondasi jalan, sekaligus mempertinggi kekuatannya. (Hardiyatmo, 2010).

Permasalahan dilapangan dalam pembangunan perkerasan jalan yang sering dijumpai adalah tanah-dasar yang mempunyai daya dukung rendah, baik ketika masa

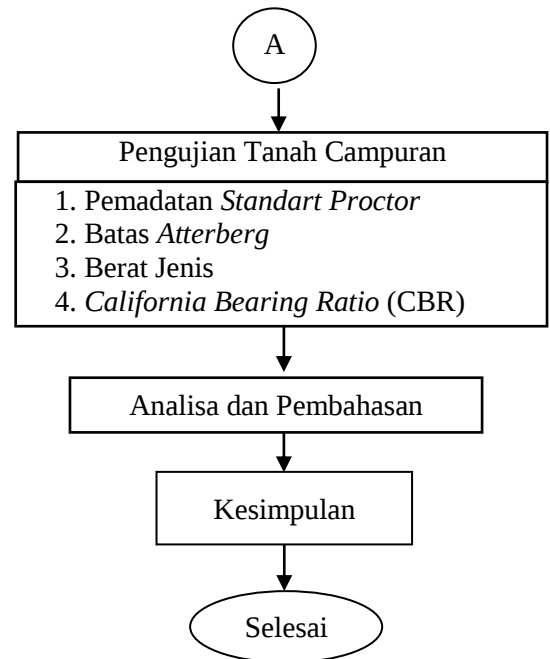
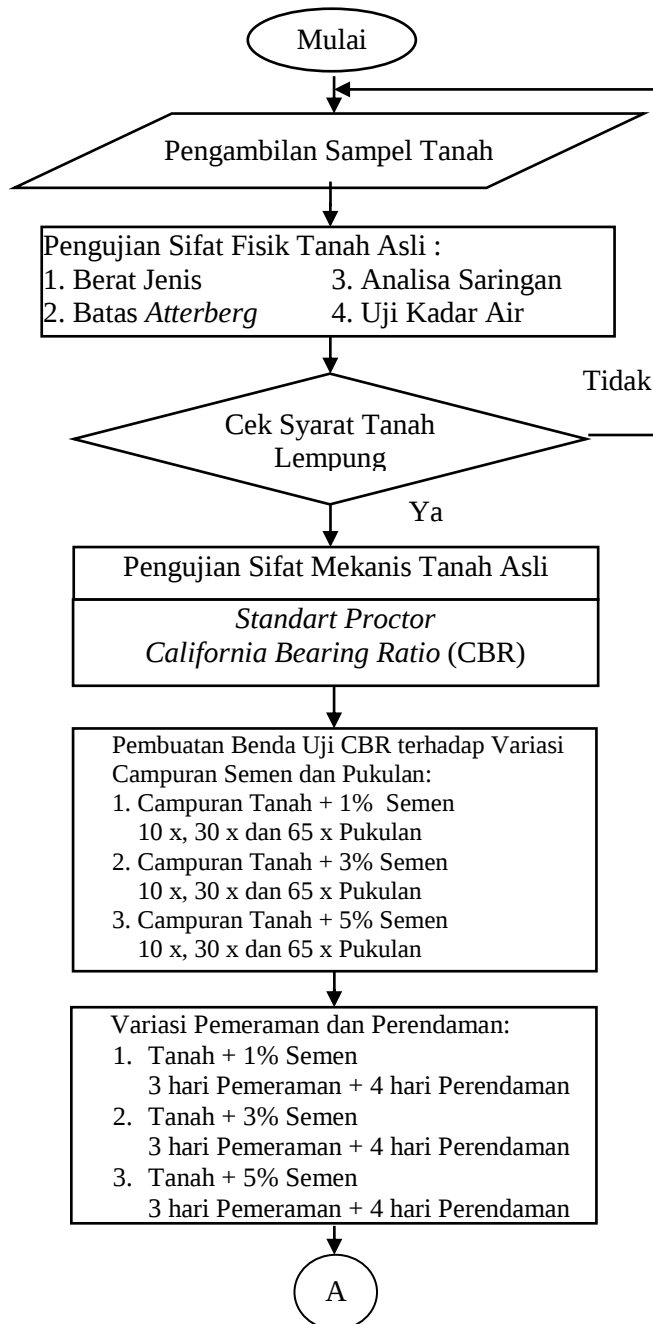
pembangunan maupun masa setelah perkerasan jalan dalam masa layannya. Oleh karena itu, tanah-dasar perlu dilakukan penanganan guna memberikan landasan kuat bagi alat berat selama masa pembangunan dan saat setelah dibangun lapis perkerasan diatasnya. Penanganan ini biasanya diklasifikasikan dalam dua proses, yaitu modifikasi tanah atau stabilisasi tanah.

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisa seberapa jauh pengaruh dari sifat-sifat tanah asli sebelum distabilisasi, terhadap nilai kekuatan setelah distabilisasi menggunakan bahan pengikat semen dengan campuran 5 dan 6 % sebagai lapisan pondasi jalan. Sifat-sifat tanah ini diteliti seberapa jauh pengaruhnya terhadap nilai kekuatan California Bearing Ratio (CBR) yang dihasilkan, sehingga akan memenuhi persyaratan minimum sebagai pondasi jalan. Penelitian ini adalah salah satu alternatif lain untuk perbaikan jalan/perawatan dan pembangunan jalan baru menggunakan bahan

tanah stabilisasi semen dengan Banyak masing-masing sampel yang diuji adalah 3 sampel untuk setiap persentase semen terhadap lama waktu pemeraman ditambah 3 sampel untuk pengujian tanah asli dengan jumlah total 12 sampel.

METODE PENELITIAN

Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada bagan alir berikut ini :



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

ANALISA DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Asli

Tabel 1. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Kadar Air (%)	36.10	Uji Fisik
2	Berat Jenis	2.621	
3	Batas Cair (%)	53.80	
4	Batas Plastis (%)	30.30	
5	Indeks Plastisitas (%)	23.50	
6	% Lolos Saringan 200	85.14	
7	Optimum Moisture Content (%)	28.10	Uji Mekanis
8	γ_{dry} maks (gr/cm ³)	1.460	
9	California Bearing Ratio 100%	3.20	

2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Campuran Tanah Lempung dan Semen.

Hasil Pengujian sifat fisik dan mekanik campuran tanah lempung dan semen untuk kadar semen 1%, 3%, dan 5% dapat dilihat pada tabel-tabel berikut ini :

Tabel 2. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung dengan Penambahan 1% Semen

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	2.590	Uji Fisik
2	Batas Cair (%)	45.81	
3	Batas Plastis (%)	25.75	
4	Indeks Plastisitas (%)	20.06	
5	Optimum Moisture Content (%)	26.18	Uji Mekanik
6	Ydry maks (gr/cm ³)	1.514	
7	California Bearing Ratio 100%	61.10	

Tabel 3. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung dengan Penambahan 3% Semen

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	2.593	Uji Fisik
2	Batas Cair (%)	46.40	
3	Batas Plastis (%)	26.71	
4	Indeks Plastisitas (%)	19.65	
5	Optimum Moisture Content (%)	25.90	Uji Mekanik
6	Ydry maks (gr/cm ³)	1.520	
7	California Bearing Ratio 100%	70.30	

Tabel 4. Hasil Pengujian Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung dengan Penambahan 5% Semen

No	Pengujian	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	2.588	Uji Fisik
2	Batas Cair (%)	46.10	
3	Batas Plastis (%)	23.99	
4	Indeks Plastisitas (%)	22.11	Uji Fisik
5	Optimum Moisture Content (%)	26.60	Uji Mekanik
6	Ydry maks (gr/cm ³)	1.507	
7	California Bearing Ratio 100%	55.10	

3. Pembahasan

a. Pembahasan Sifat Fisik Tanah Asli

Berdasarkan data hasil pengujian yang terdapat pada Tabel 1 adalah sebagai berikut :

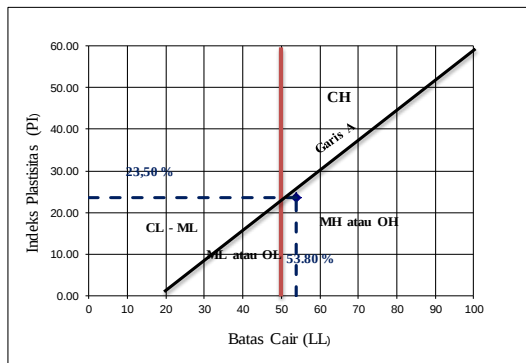
1). Sistem klasifikasi *Unified Soil Classification System* (USCS)

Hasil dari pengujian Laboratorium menunjukkan data propertis tanah yang diperoleh adalah :

- Tanah yang lolos saringan no. 200 = 85,14 %.
- Batas Cair/ *Liquid Limit* (LL) = 53,80 %
- Plastisitas Indeks/ *Plasticity Index* (PI) = 23,50 %

Dari data propertis tanah yang diperoleh diatas maka dapat disimpulkan beberapa hal, yaitu :

- Berdasarkan nilai prosentase lolos saringan no. 200 tanah lempung di atas, persentase tersebut lebih besar dari 50 %, maka berdasarkan tabel klasifikasi USCS tanah ini secara umum dikategorikan golongan tanah berbutir halus.
- Dari Tabel sistem klasifikasi USCS untuk data batas cair dan indeks plastisitas diplotkan pada diagram plastisitas sehingga didapatkan identifikasi tanah yang lebih spesifik. Hasil dapat dilihat pada Gambar 2

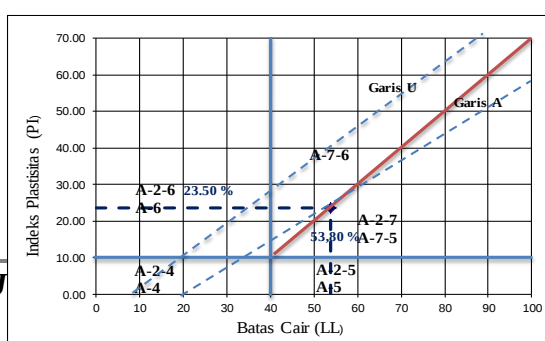


Gambar 2. Diagram Plastisitas Tanah Berbutir Halus USCS

Dapat dilihat pada Gambar 2 bahwa hasil pengeplotan menunjukkan satu titik pertemuan pengeplotan di bawah garis A, yang mana titik temu ini menjelaskan jenis tanah yang diuji. Dengan merujuk pada hasil di atas maka tanah berbutir halus dari Rumbai, Pekanbaru yang diuji termasuk kedalam kelompok OH yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi dengan nilai Indeks Plastisitas sebesar 23,50 % (plastisitas tinggi).

2). Sistem klasifikasi American Association Of State Highway and Transporting Official (AASHTO)

Berdasarkan pada tabel klasifikasi tanah AASHTO dan propertis tanah, dimana presentase lolos saringan nomor 200 lebih besar dari 35 %, sehingga dapat disimpulkan secara umum tanah masuk kelompok lanau-lempung. Dengan diketahuinya nilai batas cair/ *Liquid Limit* (LL) lebih besar dari 41 %, dan harga Plastisitas Indeks/ *Plasticity Index* (PI) lebih besar dari 11 % tetapi lebih kecil dari pada harga batas cair/ *Liquid Limit* (LL) dikurangi 30, maka tanah termasuk golongan A-7-5. Untuk mendapatkan pengelompokan yang lebih detail maka dihitung indeks kelompoknya dengan persamaan yang terdapat pada Gambar 3:



Gambar 3. Nilai – Nilai Batas Atterberg Untuk Sub kelompok A-4, A-5, A-6, dan A-7

Berdasarkan sistem klasifikasi AASHTO maka tanah lempung yang berasal dari daerah Rumbai, Pekanbaru dapat dikategorikan ke dalam kelompok tanah berlempung A-7-5.

Untuk hasil pemeriksaan berat jenis dan batas konsistensi tanah dapat dilihat pada Tabel 1. Berdasarkan batasan berat jenis untuk beberapa jenis tanah yang dikemukakan Hardiyatmo (2002), tanah tersebut dapat dikatakan sebagai tanah lempung organik, karena memiliki berat jenis 2.621. Hal ini mungkin disebabkan karena tanah banyak mengandung bahan-bahan organik yang massanya lebih ringan daripada massa tanah, sehingga menyebabkan nilai berat jenisnya menjadi rendah.

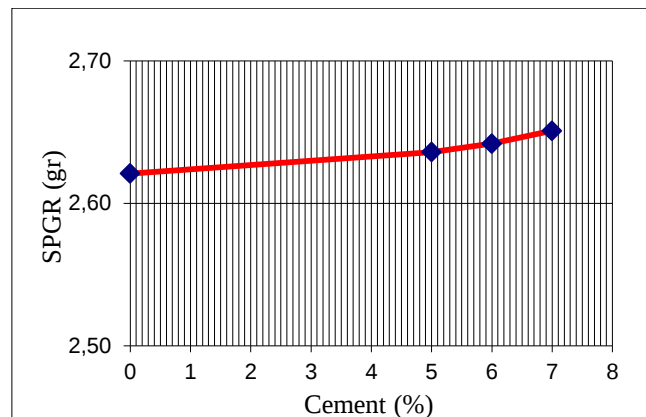
Sedangkan untuk nilai batas konsistensi tanah, tanah tersebut memiliki plastisitas tinggi, karena nilai indeks plastisitasnya sebesar 23,50 % dengan jenis tanah lempung. Itu artinya tanah tersebut peka terhadap air disekitarnya, kemungkinan pengembangan (*swelling*) dapat terjadi pada tanah ini.

b. Perbandingan Sifat Fisik dan Mekanik Tanah Lempung Dengan Campuran Semen

1) Hasil Pengujian Berat Jenis

Tabel 5. Hasil Pengujian Berat Jenis Tanah Lempung dengan Campuran Semen

Material	Batas Cair (%)	SPGR (gr)
Tanah Asli	0	2.621
Semen	6	2.642
	7	2.651
	5	2.636



Gambar 4. Grafik Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Berat *Specific Gravity* (SPGR)

Pada gambar diatas dapat dilihat dengan bertambahnya kadar semen, tanah lempung mengalami kenaikan berat jenis campuran. Berat jenis sebelum penambahan semen 2,621 % dan setelah penambahan 5% semen, berat jenis meningkat menjadi 2,636 % sampai penambahan 7% semen berat jenis meningkat menjadi 2,651 %.

Hal ini disebabkan karena semen yang bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali (Na^+ dan K^+) dari tanah digantikan oleh kation dari semen sehingga ukuran butiran lempung bertambah besar (*flokulasi*). Bertambahnya ukuran butiran ini akan mengakibatkan mikropori dan makropori yang ada pada tanah lempung meningkat seiring dengan bertambahnya kadar bahan stabilisasi.

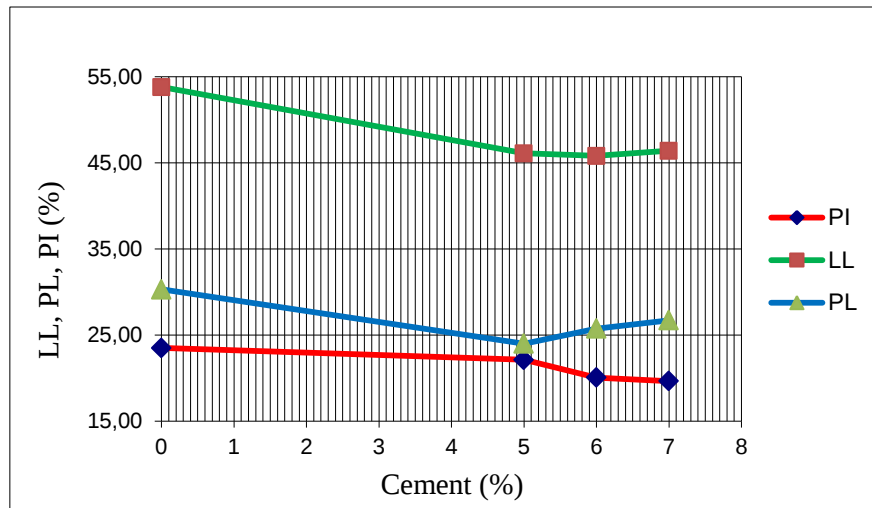
2). Hasil Pengujian *Atterberg Limit*

Hasil pengujian *Atterberg Test* tanah lempung dengan campuran *portland cement*

Composite (PCC) dapat dilihat pada Tabel 6 sedangkan pengaruh penambahan Semen terhadap nilai-nilai *Liquid Limit* (LL), *Plastic Limit* (PL) dan *Plasticity Index* (PI) dapat dilihat pada Gambar 5

Tabel 6. Hasil Pengujian *Atterberg Test* Tanah Lempung Dengan Campuran Semen.

Material	Kadar (%)	LL (%)	PL (%)	PI (%)
Tanah Asli	0	53.80	30.30	23.50
Semen	5	46.10	23.99	22.11
	6	45.81	25.75	20.06
	7	46.40	26.71	19.65



Gambar 5. Grafik Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Nilai-Nilai LL, PL Dan PI.

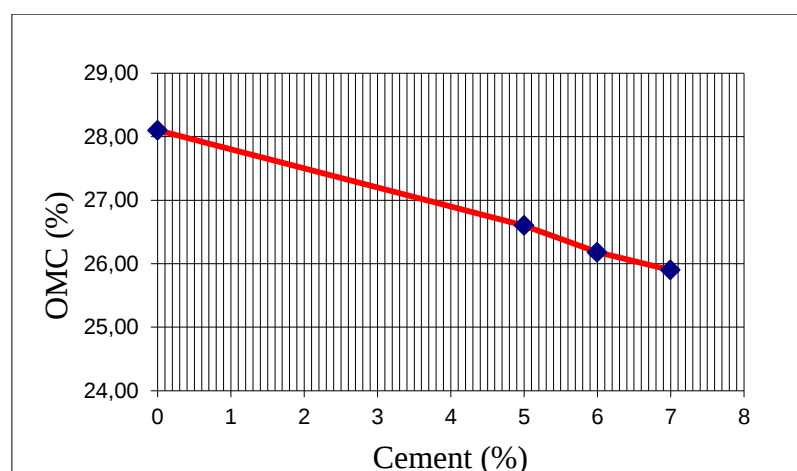
Pada Gambar 5. terlihat bahwa semakin tinggi kadar semen batas plastis meningkat dan batas cair menurun, sehingga *Plasticity Index* (PI) tanah menurun. Fenomena tersebut menunjukkan silika (SiO_2), dan alumina (Al_2O_3) dari semen bercampur dengan air membentuk pasta yang mengikat partikel lempung dan menutupi pori-pori tanah. Rongga-rongga pori yang dikelilingi bahan sementasi yang lebih sulit ditembus air akan membuat campuran tanah-semen lebih tahan terhadap penyerapan air sehingga menurunkan sifat plastisitasnya.

3 Hasil Pengujian Pemadatan (*Compaction Proctor*)

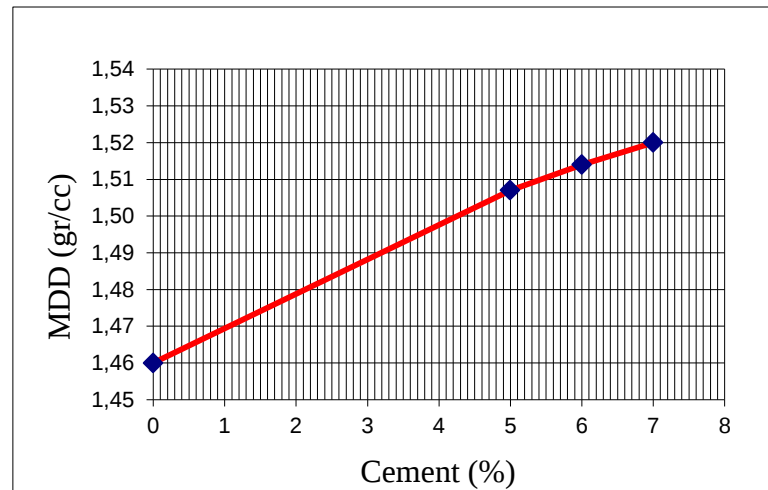
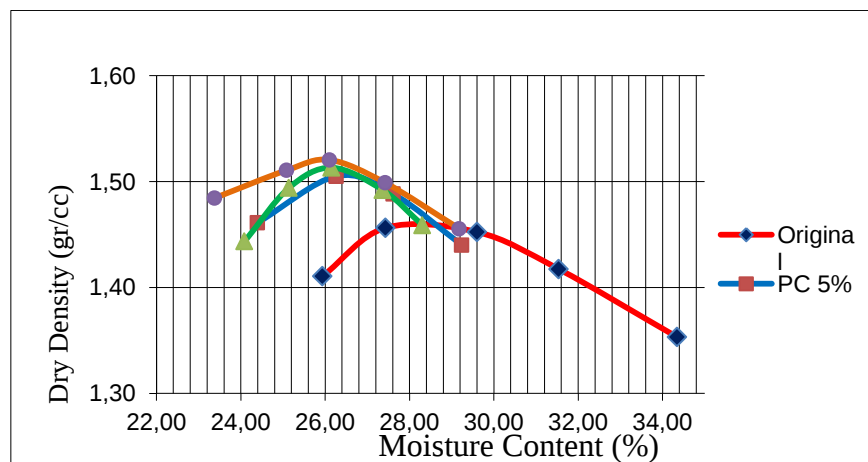
Hasil pengujian pemadatan tanah lempung dengan metode *standart proctor* tanah asli dan tanah dengan campuran semen dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Hasil pengujian pemadatan tanah lempung dengan campuran Semen.

Material	Kadar (%)	OMC (%)	MDD (γ_{dry})
Tanah Asli	0	28.10	1.460
Semen	5	26.60	1.507
	6	26.18	1.514
	7	25.90	1.520



Gambar 6. Grafik Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Kadar Air Optimum (W Opt)

Gambar 7. Grafik Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Berat Isi Kering (γ_{dry})Gambar 8. Grafik Perbandingan Pemadatan (*Compaction Proctor*)

Pada Gambar 5, 6 dan 7 menunjukkan bahwa pemberian semen sebagai bahan campuran dapat menurunkan kadar air optimum dan meningkatkan berat volume kering tanah dari kondisi sebelum distabilisasi. Terlihat bahwa kenaikan meningkat seiring bertambahnya semen. Kepadatan maksimum terbesar terjadi pada penambahan kadar semen sebesar 7% yaitu 1.520 gr/cm^3 .

Hal ini disebabkan semen mengisi rongga pori tanah, yang pada kondisi tanah asli, rongga poritersebut terisi oleh air dan udara. Akibat adanya semen dalam ronggapori tanah ini, prosentase air yang dikandung tanah menjadi berkurang. Peningkatan jumlah partikel padat pada tanah berdampak pada peningkatan berat volume keringnya dibandingkan pada kondisi tanah asli.

Selain itu meningkatnya kepadatan maksimum ini disebabkan karena terjadinya

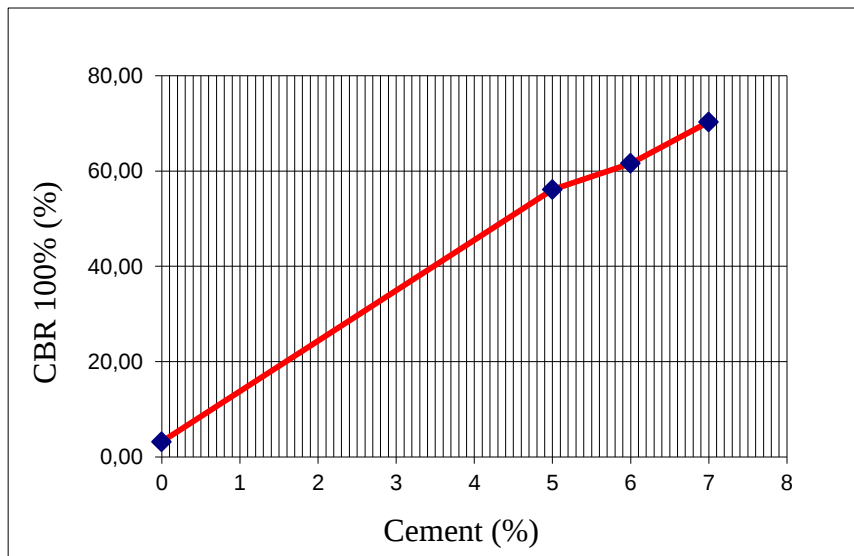
reaksi posolanikyang semakin meningkat akibat unsur-unsur SiO_2 , Al_2O_3 , dan Fe_2O_3 yang bertambah oleh semen. Proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO_2) dan aluminat (AlO_3) dari semen membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion Ca^{2+} dengan silikat (SiO_2), dan aluminat (Al_2O_3) dari permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (*hydrated gel*) sehingga mengikat partikel-partikel tanah.

4. Hasil Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Hasil pengujian CBR tanah asli dan setelah dicampur dengan semen dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Hasil Pengujian Tanah Lempung dengan Campuran Semen

Material	Kadar (%)	CBR (%)
Tanah Asli	0	3.20
Semen	5	56.10
	6	61.61
	7	70.30



Gambar 9. Grafik Pengaruh Penambahan Semen Terhadap Nilai CBR

Hasil pengujian CBR dari Gambar 9. dapat dilihat bahwa seiring penambahan semen telah meningkatkan nilai daya dukung tanah daerah Rumbai, Pekanbaru pada pemeraman 3 hari dilanjutkan perendaman 4 hari secara signifikan. Reaksi sementasi yang terjadi pada campuran tanah semen membentuk butiran baru yang lebih keras sehingga lebih kuat menahan beban yang diberikan.

Semen yang bercampur dengan tanah mengakibatkan terjadinya proses pertukaran kation alkali (Na^+ dan K^+) dari tanah digantikan oleh kation dari semen sehingga ukuran butiran lempung bertambah besar (*flokulasi*). Selain proses *flokulasi* yang terjadi dalam stabilisasi tanah, terjadi pula proses pozzolan, proses hidrasi, dan proses sementasi. Proses pozzolan terjadi antara kalsium hidroksida dari tanah bereaksi dengan silikat (SiO_2) dan aluminat (Al_2O_3) dari semen membentuk material pengikat yang terdiri dari kalsium silikat atau aluminat silikat. Reaksi dari ion Ca^{2+} dengan silikat dan aluminat dari

permukaan partikel lempung membentuk pasta semen (*hydrated gel*) sehingga mengikat partikel-partikel tanah. Proses sementasi dapat juga terjadi karena sifat semen bila bercampur dengan air yang sesuai akan menjadi pozzolan / sementasi.

Mekanisme terjadinya *setting* dan *hardening* (pengikatan dan pengerasan) yaitu ketika terjadi pencampuran dengan air, maka C_3A membentuk $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{H}_2\text{O}$ yang bersifat kaku dan berbentuk gel.

4.1. Pengujian Tambahan CBR 1% Semen

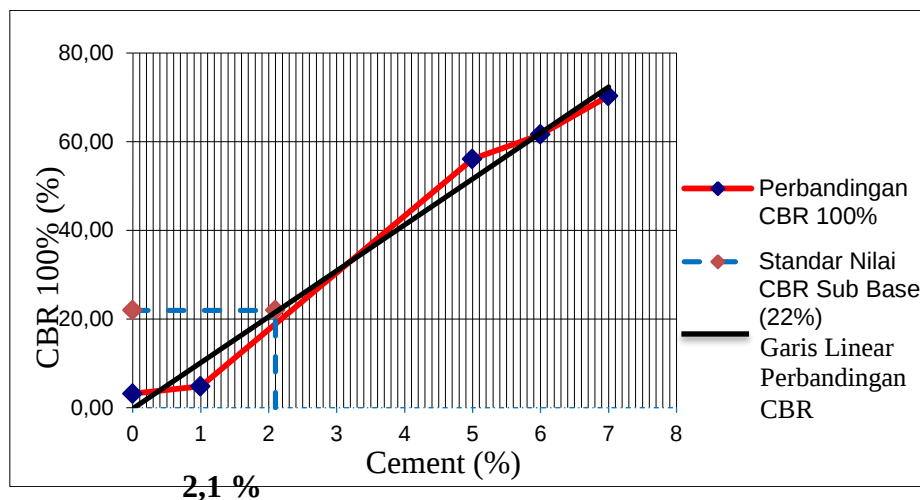
Pengujian tambahan CBR 1% ini dilakukan setelah Sidang Tugas Akhir atas saran Tim Penguji agar mengetahui persentase semen yang berada di bawah standar Departemen Pekerjaan Umum yaitu dengan nilai CBR 22%. Pengujian dilakukan karena nilai CBR 5%, 6% dan 7% berada di atas batas standar nilai CBR untuk pondasi jalan (*sub base*) dengan nilai 56,10%, 61,61% dan 70,30%, sedangkan nilai CBR standar

Departemen Pekerjaan Umum untuk pondasi bawah (*sub base*) adalah 22%.

Setelah dilakukan pengujian CBR 1% semen telah didapat nilai CBR 100% dengan nilai 4,85% meningkat dari CBR Tanah Asli dan berada dibawah standar Departemen Pekerjaan Umum dengan nilai 22%. Hasil grafik perbandingan nya dapat dilihat pada Tabel 4.9.dan Gambar 4.9 dibawah ini.

Tabel 9. Hasil Pengujian CBR dengan Tambahan 1% Semen

Materi	Kadar (%)	CBR (%)	OMC (%)	MDD (gr/cm ³)
Tanah Asli	0	3.20	28.10	1.460
Semen	1	4.85	27.72	1.473
	5	56.10	26.60	1.507
	6	61.61	26.18	1.514
	7	70.30	25.90	1.520



Gambar 10. Grafik Perbandingan Nilai CBR

Hasil pengujian CBR dari Gambar 10. dapat dilihat bahwa setelah dilakukan pengujian tambahan CBR 1%, mengalami peningkatan dari keadaan tanah asli dengan nilai 4,85% dan berada dibawah nilai standar Departemen Pekerjaan Umum yaitu 22% . Hasil pengujian tambahan ini telah sesuai dengan tujuan yang dituju Tim Penguji agar nilai CBR 1% berada dibawah nilai standar Departemen Pekerjaan Umum dan mengetahui persentase semen yang

masuk ke nilai standar CBR pondasi bawah (*sub base*) agar lebih efisien dan ekonomis dalam penggunaan semen dilapangan. Penarikan garis linear ialah untuk mencari nilai standar CBR pondasi bawah (*sub base*) 22% masuk ke persentase semen berapa, setelah ditarik garis dapat disimpulkan nilai standar CBR (*sub base*) 22% pada penambahan semen 2,1%.

KESIMPULAN

1. Hasil pengujian kadar air awal sebesar 36,10 %; *specific gravity* sebesar 2,621; analisa saringan (*sieve analysis*) pada saringan #200 sebesar 85,14 %; plastisitas indeks sebesar 23,50 %; *Maximum Dry Density* (MDD) sebesar 1,460 gr/cm³ dan *Optimum Moisture Content* (OMC) sebesar 28,10 %. Menurut USCS, tanah daerah Rumbai, Pekanbaru termasuk dalam kelas OH yaitu tanah lempung organik dengan

plastisitas sedang sampai tinggi, sedangkan menurut AASHTO tanah ini termasuk tanah berlempung dengan penilaian sedang sampai buruk atau A-7-5. Batas cair yang lebih besar dari 41%, menunjukkan tanah daerah Rumbai, Pekanbaru dapat dikategorikan sebagai tanah berlempung. Sehingga dikategorikan buruk dan perlu distabilisasi.

2. Pada hasil uji *specific gravity* menunjukkan peningkatan setelah penambahan variasi semen, yaitu tanah asli 2,621 setelah penambahan 7% semen menjadi 2,651. Hasil pengujian plastisitas indeks mengalami penurunan setelah penambahan variasi semen, yaitu tanah asli 23,50 % setelah penambahan 7% semen menjadi 19,65 %. Hasil uji pemadatan dengan *proctor* standard diperoleh nilai γ drymaks tanah asli = 1.460 gr/cm³ dan kadar air optimum sebesar 28,10%. Penambahan semen dengan variasi sebesar 5%, 6%, dan 7% secara umum meningkatkan γ dry maks masing-masing menjadi 1,507 gr/cm³, 1,514 gr/cm³, dan 1,520 gr/cm³ dan menurunkan kadar air optimum sebesar 26,60 %, 26,18 %, dan 25,90 %. Penambahan semen telah meningkatkan nilai daya dukung tanah secara signifikan. Nilai CBR semakin naik seiring dengan penambahan semen, dimana nilai CBR tanah asli sebesar 3,20%. Terjadinya peningkatan nilai CBR pada campuran optimum 7% semen dengan waktu pemeraman 3 hari dilanjutkan perendaman 4 hari diperoleh 70,30 %.
3. Hasil CBR 5%, 6%, dan 7% dengan nilai 56,10%, 61,61%, 70,30% sudah memenuhi standard Departemen Pekerjaan Umum untuk pekerjaan lapis pondasi bawah (*sub base*), dengan nilai standar CBR yaitu 22%.
4. Nilai CBR yang sebaiknya dipakai dilapangan yang telah memenuhi standard Departemen Pekerjaan Umum untuk pekerjaan lapis pondasi bawah (*sub base*) ialah pada penambahan 5% semen dengan nilai CBR 56,10%, ini berguna agar bias menghemat biaya penggunaan semen di lapangan.
5. Pengujian tambahan CBR 1% untuk mengetahui rentang keberadaan nilai yang dapat di terima sesuai standard Departemen Pekerjaan Umum untuk nilai CBR pondasi bawah (*sub base*) dengan nilai CBR 22%. Hasil pengujian CBR 1% adalah dengan nilai 4,85%; kadar air optimum 27,72%

DAFTAR PUSTAKA

- Balitbang. 2011. *Pengendalian Mutu Pekerjaan Tanah*. Bandung : Pusjatan.
- Balitbang. 2007. *Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan*. Bandung : Pusjatan
- Bowles. 1986. *Sifat-sifat Fisis dan Geoteknis Tanah (Mekanika Tanah)*. Erlangga Jakarta. Indonesia.
- Das, B.M. 1995. *Prinsip-Prinsip Geoteknik*. Jilid 1. Jakarta : Erlangga.
- Hardiyatmo, HC, 1994. *Mekanika Tanah 1*, Gramedia Pustaka Utama, Jakarta, Indonesia.
- Iswanto.B. 2001. *Buku Ajar Perancangan Perkerasan dan Bahan*. Bandung : Jurusan Teknik Sipil ITB.
- Kosasih. D. 2001. *Buku Ajar Perancangan Perkerasan Dan Bahan*. Bandung : Jurusan Teknik Sipil ITB.
- Redana, I.W. 2011. *Mekanika Tanah*. Universitas Udayana, Denpasar.
- Suratman. 2005. *Perbandingan Nilai Kekuatan Tanah Akibat Penambahan Kapur Dan Abu Terbang Pada Tanah Lempung di Pekanbaru* : Teknik Sipil S1, Universitas Lancang Kuning.
- Wesley.1997. *Mekanika Tanah Pekerjaan Umum*. Jakarta.