

ANALISIS PENINGKATAN NILAI CBR LEMPUNG PLASTISITAS TINGGI TERSTABILISASI SEMEN DAN ABU DASAR

Soewignjo Agus Nugroho¹, Syawal Satibi²

¹Program Sarjana, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru

²Program Magister Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru

¹nugroho.sa@eng.unri.ac.id, ²syawal.satibi@lecturer.unri.ac.id

Abstrak

Perbaikan lempung lunak dengan semen, kapur, aspal, dan bahan aditif lain sudah dilakukan beberapa decade. Pemanfaatan material sisa seperti gypsum, marmer, karet; limbah abu hasil pembakaran padi, tebu, kayu. Penggunaan limbah industry hasil proses pembakaran batubara sebagai bahan stabilisasi tanah terbukti memperbaiki sifat fisik dan mekanik tanah.

Penelitian bertujuan mengetahui pengaruh limbah pembakaran batubara (bottom ash) dikombinasikan dengan semen dalam perbaikan lempung plastisitas tinggi pada perbaikan sifat fisika dan mekanis tanah lempung plastisitas tinggi (CH). Pengujian CBR dan permeabilitas di Laboratorium dilakukan untuk ditelaah perubahannya. Beberapa variasi kadar abu dasar (5%/10%/15%) dan semen (3%/5%) dipilih pada penelitian ini. Proses perendaman 7 hari dan 28 hari dilakukan Sebelum pengujian CBR dan permeabilitas.

Hasil pengujian CBR dan permeabilitas tanah asli berturut-turut 0.78% dan 6E-09 m/dt. Penambahan 3% semen dan abu dasar 5% tidak memenuhi syarat sebagai bahan sub-grade jalan karena nilai CBR < 6%. Nilai terbaik pada kandungan semen 5% dan abu dasar 15%, dengan nilai CBR 38.60% dan $k=3.99E-08$ m/dt. Semakin tinggi kadar semen atau abu dasar dan lama pemeraman, sifat tanah akan semakin bagus. Komposisi semen 5% dan abu dasar rentang 10%-15% bisa digunakan sebagai sub-grade perkerasan jalan.

Kata kunci: abu dasar, pemeraman, perendaman, permeabilitas, stabilisasi, CBR

Abstract

Improvement of soft clay with cement, lime, asphalt, and other additives has been done for few decades. Utilization of waste materials i.e gypsum, marble, rubber; rice hush ash, cane hush ash, saw-dust ash etc. The industrial wasted usage from coal burning process as pozzolanic agent has been proven improving the physical and mechanical properties of soil.

This study aims to determine effect of bottom ash combined with cement to improve strength and permeability of high plasticity clay. CBR and hydraulic conductivity tests in the laboratory were carried out to study the changes. Several variations fraction of bottom ash (5%/10%/15%) and cement (3%/5%) were determined in this study. curing processes for 7 days and 28 days was carried out before testing the CBR and permeability.

The test results of CBR and permeability of clay were 0.78% and 6E-09 m/sec, respectively. The addition of 3% cement and 5% bottom ash does not qualify soil as aggregate of sub-grade because the CBR value is <12%. The best value was at fraction of 5% cement and 15% bottom ash, with CBR value of 38.60% and $k=3.99E-08$ m/s. The higher content of cement or bottom ash and curing time, soil properties are better. Composition of 5% cement and bottom ash on ranges of 10%-15% can be used as sub-grade.

Keywords: bottom ash, curing, hydraulic conductivity, soaked, stabilization, CBR

Pendahuluan

Dalam bidang konstruksi sipil, pembangunan di atas tanah lunak membutuhkan perhitungan dan perencanaan yang matang agar tidak terjadi

kegagalan bangunan. Unsur utama yang harus diperhatikan yaitu daya dukung tanah dan penurunan tidak seragam. Salah satu jenis tanah lunak yang dapat menimbulkan permasalahan

Analisis Peningkatan Nilai CBR Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen dan Abu Dasar

adalah lempung plastisitas tinggi (CH) yang memiliki perilaku kembang susut yang membuat tanah ini memiliki perilaku mengembang bila terkena air dan menyusut saat kehilangan air. Daya dukung yang relatif rendah adalah masalah utama pada tanah CH, dapat diperbaiki dengan melakukan perbaikan pada tanah atau stabilisasi tanah.

Stabilisasi pada lempung CH dapat dilakukan dengan menambahkan bahan tambah (*additive*) seperti semen, kapur, abu sekam padi, abu vulkanik, limbah hasil pembakaran batu bara (*fly ash dan bottom ash*), dan bahan lainnya. Penelitian sebelumnya dengan menggunakan bahan tambah tersebut menunjukkan adanya perubahan kondisi tanah ditandai dengan peningkatan pada sifat mekanis dan *physic* tanah lempung.

Bottom ash merupakan material hasil pembakaran batu bara atau disebut juga limbah pembakaran batu bara. Pemanfaatan limbah *bottom ash* ini masih sangat sedikit dilakukan, sehingga penumpukan limbah *bottom ash* semakin banyak. Tempat pembuangan yang tidak dikelola dengan baik dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Pemanfaatan limbah *bottom ash* sebagai bahan tambah (*additive*) untuk stabilisasi tanah lempung CH merupakan tujuan penelitian ini. Pemanfaatan *bottom ash* dikombinasikan dengan semen.

Beberapa riset tentang stabilisasi lempung plastisitas tinggi dengan semen, *bottom ash*, kapur dan bahan aditif lain telah dilakukan dengan hasil memuaskan. Pengaruh Penambahan *Bottom Ash* pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Lekar santri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Fondasi Dangkal (Purnama, 2016). Pada penelitian disimpulkan, *bottom ash* sampai dengan 37,5% menambah nilai daya dukung fondasi dangkal sebesar 91,67%. Adriani (2012) dalam penelitiannya pada Lempung dari Lambung Bukit Padang Terhadap Nilai CBR 8.20% pada tanah asli mencapai kenaikan menjadi 64,14% pada campuran 20% semen dengan *curing* 3 hari.

Stabilisasi tanah dengan *bottom ash* dan semen sudah banyak dilakukan, tetapi dilakukan secara terpisah. Dalam penelitian ini akan dilakukan uji CBR dan permeabilitas pada sampel tanah. Uji permeabilitas dilakukan untuk mengkaji nilai rembesan air yang mampu lolos pada sampel tanah akibat penambahan campuran semen dan *bottom ash*.

Upaya mengubah sifat teknis tanah bertujuan untuk memperbaiki sifat tanah itu sendiri seperti

workability, kapasitas dukung, sensitivitas terhadap perubahan kadar air serta potensi pengembangan dan permeabilitas. Metode stabilisasi umumnya dilakukan dengan cara mekanis dengan pemadatan serta dengan bahan pencampur (*additives*) seperti kapur, semen, *fly ash, bottom ash, asphalt/bitumen*, abu sekam padi, abu sekam tebu, abu serbuk gergaji, garam, dan bahan lainnya.

Semen merupakan bahan dipakai sebagai bahan ikat yang penting pada suatu rancangan dalam memenuhi kebutuhan konstruksi. Penggunaan semen sebagai bahan stabilisasi tanah telah banyak dilakukan seperti, Chairullah (2011), Adriani (2012) dan Pirmadona (2015) menunjukkan bahwa setiap adanya penambahan semen maka daya dukung tanah akan meningkat.

Menurut Kim, ukuran material *bottom ash* yang lebih besar dan kasar daripada material lempung menyebabkan reaksi *pozzolan* menjadi tidak efektif jika dibandingkan dengan *fly ash*, hal ini dikarenakan reaksi *pozzolanic* abu batu bara secara umum berhubungan dengan kehalusan partikelnya (Kim, 2015). Ukuran partikel yang lebih besar membuat pengerjaan campuran dengan *bottom ash* lebih buruk dari pada campuran dengan *fly ash* dan semen, sehingga penggunaan *bottom ash* masih jarang dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi. *Bottom ash* memiliki unsur silika yang merupakan unsur kimia yang berperan penting dalam proses pengikatan pada material semen (Ristinah, 2012), sehingga mampu bekerja sebagai bahan aditif dalam campuran tanah dalam untuk memperbaiki sifat teknis tanah.

Menurut Purnama (2016), Panjaitan (2017), dan Siregar (2019), penggunaan *bottom ash* dalam stabilisasi tanah dapat meningkatkan nilai daya dukung tanah dengan peningkatan nilai CBR dan nilai kuat tekan bebas.

Metode Penelitian

Tahapan awal penelitian dilakukan dengan melaksanakan pengujian pada tanah asli dengan uji *Atterberg limits* untuk mengetahui klasifikasi tanah yang diperoleh dari daerah sekitar Proyek Tol Pekanbaru-Dumai seksi 1 yang terletak di Jl. Ikan Raya, Desa Muara Fajar, Kecamatan Rumbai, Kota Pekanbaru. Tanah asli memenuhi klasifikasi tanah lempung CH. Pengujian pendahuluan pada tanah asli dan *bottom ash* berupa pengujian berat volume, kadar air, dan berat jenis.

Pembuatan campuran dilakukan pada saat akan melakukan pengujian pada tanah campuran,

Analisis Peningkatan Nilai CBR Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen dan Abu Dasar

komposisi bahan dalam pembuatan sampel adalah lempung, semen jenis *Portland composite cement (PCC)*, *bottom ash*. Perbandingan campuran diukur dari berat kering masing-masing material, dicampur dengan tambahan air 50% dari berat kering campuran. Kadar PCC dipilih sebesar 3% dan 5% sedangkan variasi kandungan *bottom ash* sebesar 5%, 10%, dan 15%. Sebelum dilakukan pengujian pada variasi benda uji dilakukan proses pemeraman terlebih dahulu. Pemeraman pada sampel CBR dilakukan selama 7 hari dan pemeraman sampel permeabilitas selama 28 hari. Variasi jenis sampel yang digunakan dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 1**.

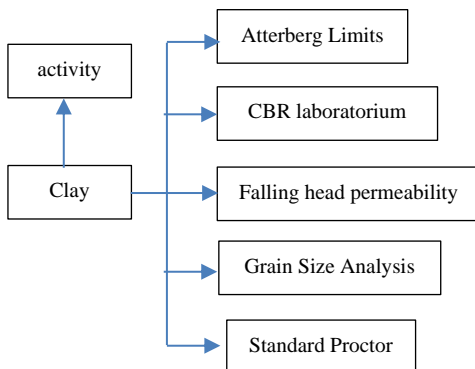
Tabel 1. Variasi sampel untuk pengujian CBR dan permeabilitas

| No | Variasi | Additive (%) | | Curing (days) | |
|-----|---|--------------|-------|---------------|----|
| | | PCC | BA | 7 | 28 |
| 1. | Clay | 0 | 0 | 0 | 0 |
| 2. | S ₃ -BA ₅ -C ₇ | 3.00 | 5.00 | 7 | |
| 3. | S ₃ -BA ₁₀ -C ₇ | 3.00 | 10.00 | 7 | |
| 4. | S ₃ -BA ₁₅ -C ₇ | 3.00 | 15.00 | 7 | |
| 5. | S ₃ -BA ₅ -C ₂₈ | 3.00 | 5.00 | | 28 |
| 6. | S ₃ -BA ₁₀ -C ₂₈ | 3.00 | 10.00 | | 28 |
| 7. | S ₃ -BA ₁₅ -C ₂₈ | 3.00 | 15.00 | | 28 |
| 8. | S ₅ -BA ₅ -C ₇ | 5.00 | 5.00 | 7 | |
| 9. | S ₅ -BA ₁₀ -C ₇ | 5.00 | 10.00 | 7 | |
| 10. | S ₅ -BA ₁₅ -C ₇ | 5.00 | 15.00 | 7 | |
| 11. | S ₃ 5BA ₅ -C ₂₈ | 5.00 | 5.00 | | 28 |
| 12. | S ₃ 5BA ₁₀ -C ₂₈ | 5.00 | 10.00 | | 28 |
| 13. | S ₃ 5BA ₁₅ -C ₂₈ | 5.00 | 15.00 | | 28 |

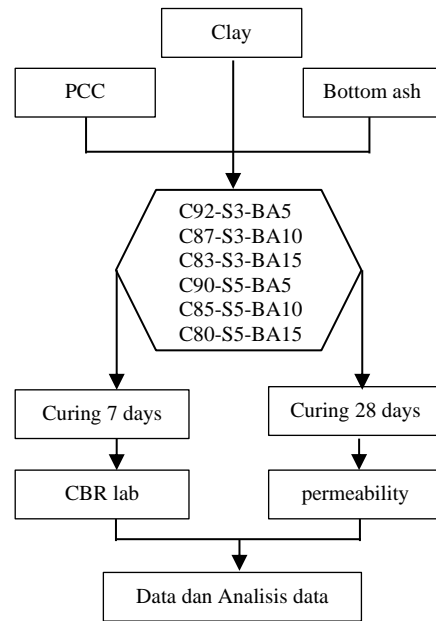
Code:

- S₃ : semen dengan kadar 3%
- BA₁₀ : bottom ash dengan kandungan 10%
- C₇ : curing selama 7 hari

Pemeraman (*curing*) 7 hari untuk sampel pengujian CBR Laboratorium (*unsoaked*) dan curing 28 hari untuk sampel uji permeabilitas (*falling head permeability*)



(a) Pengujian utama



(b) pengujian utama

Gambar 1. Bagan alir penelitian

Hasil dan Pembahasan

Hasil pengujian yang diperoleh dari laboratorium akan diuraikan pada sub judul ini untuk dilakukan pembahasan, berupa data properties tanah, hasil pengujian *California Bearing Ratio* dan Permeabilitas akibat pengaruh penambahan *bottom ash* dan semen.

Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Mekanik Tanah Lempung CH

Pengujian sifat fisik dan mekanik tanah lempung plastisitas tinggi yang dilaksanakan di laboratorium bertujuan untuk memperoleh data-data berupa data *Atterberg limit*, berat volume kering tanah, kadar air optimum, dan sebagainya. Data yang diperoleh ditunjukkan pada tabel seperti yang terlihat pada **Tabel 2**.

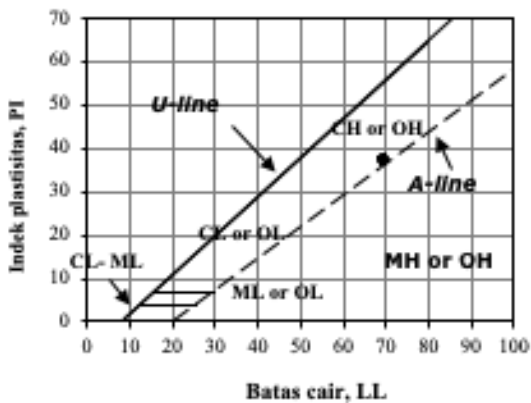
Analisis Peningkatan Nilai CBR Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen dan Abu Dasar

Tabel 2. Hasil pengujian tanah asli

| No | Deskripsi pengujian | Hasil |
|----|--------------------------------------|-----------------------|
| 1. | <i>Spesific Gravity</i> | 2,61 |
| 2. | <i>Atterberg Limit</i> | |
| | a. LL (%) | 69,59 |
| | b. PL (%) | 32,39 |
| | c. PI (%) | 37,20 |
| 3. | <i>Standard Proctor</i> | |
| | a. OMC (%) | 32,25 |
| | b. γ dry (kN/m ³) | 13,82 |
| 4. | Hasil Uji Saringan Hidrometer | |
| | a. Lolos #200 (%) | 95,28 |
| | b. Kerikil (%) | 0,00 |
| | c. Pasir (%) | 4,72 |
| | d. Lanau & Lempung (%) | 95,28 |
| | e. Lempung (%) | 60,80 |
| | f. Lanau (%) | 34,48 |
| 5. | <i>Clay Activity</i> | 0,61 |
| 6. | <i>California Bearing Ratio(%)</i> | 0,78 |
| 7. | <i>Permeabilitas (m/dt)</i> | $6,04 \times 10^{-9}$ |

Berdasarkan **Tabel 2** Nilai berat jenis tanah yang diperoleh diantara lanau dan lempung, namun hasil ini belum cukup untuk menentukan spesifikasi tanah yang digunakan dari Muara Fajar sebagai lempung dan pengujian lanjutan dengan pengujian *Atterberg limits*.

Hasil pengujian *Atterberg limit* tanah pada yang diplot digambar bagan plastisitas (Gambar 2). Berdasarkan **Gambar 2** dapat disimpulkan bahwa tanah masuk golongan lempung plastisitas tinggi. Hasil tersebut didukung oleh pendapat Hardiyatmo (2002) yang mengklasifikasi jenis tanah plastisitas tinggi dengan $IP > 17\%$ dengan jenis tanah lempung kohesi.



Gambar 2. Bagan plastisitas tanah asli lempung plastisitas tinggi (CH)

Hasil pengujian UCS tanah asli, didapat nilai qu sebesar 21,11 kPa dan masuk kategori lempung sangat lunak (very soft clay, Terzaghi (1946)). Perolehan nilai CBR tanah asli adalah 0,78 % tidak memenuhi persyaratan untuk sub-grade jalan (Bina Marga, 2017), maka stabilisasi

tanah dengan campuran semen dan bottom ash sudah tepat di lakukan.

Nilai *hydraulic conductivity* atau permeabilitas (k) yang didapat sebesar $6,04 \times 10^{-9}$ m/dtk ini merupakan nilai awal untuk melihat pengaruh campuran lempung dengan *bottom ash* dan semen.

Hasil pengujian California Bearing Ratio

Perbandingan hasil-hasil yang diperoleh dari pengujian CBR disajikan pada **Tabel 3** dan **Tabel 4** di bawah ini.

Tabel 3. Perubahan kadar air selama curing 7 hari

| Variasi Sampel | Curing 7 days | | CBR (%) |
|-------------------|---------------|-------|---------|
| | before | after | |
| Clay | 50,00 | 48,55 | 0,78 |
| 90% C+5% S+ 5% BA | 45,00 | 44,13 | 3,33 |
| 85% C+5% S+10% BA | 42,50 | 37,61 | 13,88 |
| 89% C+5% S+15% BA | 40,00 | 34,85 | 38,64 |
| 92% C+3% S+5% BA | 46,00 | 42,03 | 2,44 |
| 87% C+3% S+10% BA | 43,50 | 40,68 | 2,77 |
| 82% C+3% S+15% BA | 41,00 | 34,67 | 4,05 |

Tabel 4 Perubahan berat volume kering selama curing 7 hari

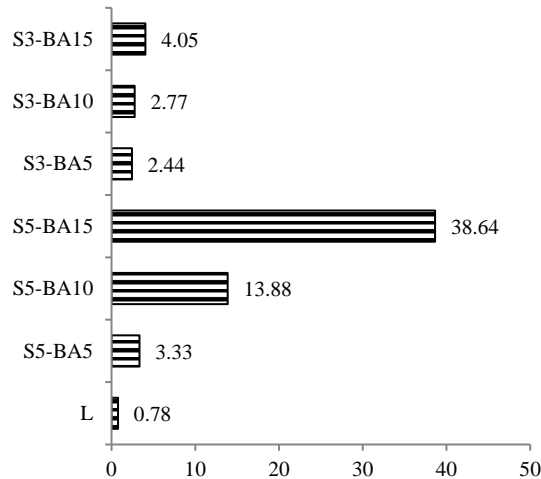
| Variasi Sampel | Dry density (kN/m ³) | | CBR (%) |
|-------------------|----------------------------------|-------|---------|
| | before | after | |
| Clay | 10,95 | 10,93 | 0,78 |
| 90% C+5% S+ 5% BA | 12,62 | 12,61 | 3,33 |
| 85% C+5% S+10% BA | 13,32 | 13,32 | 13,88 |
| 89% C+5% S+15% BA | 15,53 | 15,50 | 38,64 |
| 92% C+3% S+5% BA | 12,67 | 12,66 | 2,44 |
| 87% C+3% S+10% BA | 12,70 | 12,68 | 2,77 |
| 82% C+3% S+15% BA | 13,58 | 13,56 | 4,05 |

Sampel tanah asli, lempung plastisitas tinggi, dicetak menggunakan mould CBR pada kadar air rencana sebesar 50% kemudian diperam selama 7 hari. Perubahan kadar air dan berat volume kering hampir tidak ada. Kadar air tanah asli setelah curing selama 7 hari adalah 48,55% (**Tabel 3**), turun sebesar 1,45% dari kadar air awal (50%). Penurunan kadar air hampir sama pada semua variasi sampel, berkisar 5%, kecuali pada penambahan semen maupun kapur 5%.

Penambahan bahan ikat semen dan *bottom ash* meningkatkan kepadatan tanah, kepadatan

Analisis Peningkatan Nilai CBR Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen dan Abu Dasar

terbesar dicapai pada penambahan semen 5% dan bottom ash 15%, kepadatan terendah pada kandungan 5% semen dan 5% *bottom ash*. Nilai CBR lab. Tertinggi yaitu 38,64% diperoleh dengan mencampur lempung dengan 5% semen dan 15% *bottom ash*.



Gambar 3. Harga CBR campuran

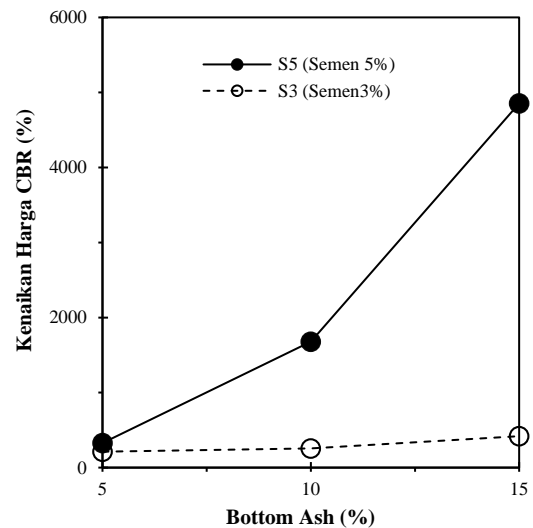
Berdasarkan **Gambar 3** terlihat bahwa semua variasi campuran lempung dengan semen dan abu dasar, memiliki harga CBR lebih tinggi daripada harga CBR tanah asli. Hal ini bisa terjadi karena sampel dengan campuran semen dan abu dasar telah mengalami reaksi ikatan dengan lempung selama *curing* berlangsung. Sedangkan sampel Tanah Asli (Lempung, L) tidak mengalami reaksi ikatan selama pemeraman (*curing*).

Merujuk Pedoman Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat (2017), menyatakan bahwa harga minimum untuk CBR untuk sub-grade jalan minimal sebesar 12%. Hasil yang diperoleh juga menjelaskan variasi sampel dengan kadar semen 3% (S3) memiliki harga yang lebih rendah dengan sampel variasi semen 5% (S5) dan tidak memenuhi syarat harga minimum CBR ($\geq 12\%$) yang telah ditetapkan. Sedangkan pada sampel variasi dengan kadar semen 5% (S5) hanya sampel dengan kadar abu dasar 5% (BA5) yang tidak memenuhi syarat.

Tabel 5. Persentase kenaikan harga CBR sampel campuran

| Variasi Sampel | CBR (%) | | Δ CBR (%) |
|-------------------|---------|-------|------------------|
| | awal | akhir | |
| 90% C+5% S+ 5% BA | 0,78 | 3,33 | 327,51 |
| 85% C+5% S+10% BA | 0,78 | 13,88 | 1678,91 |
| 80% C+5% S+15% BA | 0,78 | 38,64 | 4854,12 |
| 92% C+3% S+5% BA | 0,78 | 2,44 | 212,23 |
| 87% C+3% S+10% BA | 0,78 | 2,77 | 255,46 |
| 82% C+3% S+15% BA | 0,78 | 4,05 | 418,78 |

Melihat **Tabel 5**, peningkatan nilai CBR terbesar terjadi pada campuran 80% C+5% S+15% BA, dengan prosentase peningkatan sebesar 4854,12%. Kandungan lempung, semen, dan abu dasar terbukti berpengaruh terhadap besar daya dukung tanah (nilai CBR)



Gambar 4. Perbandingan kenaikan harga CBR variasi sampel campuran

Grafik kenaikan nilai CBR (Gambar 4), pada kadar semen 3% terlihat kurva relative landai atau datar. Penambahan abu dasar 5%-15% dengan kadar semen 3% tidak meningkatkan nilai CBR tanah asli atau hanya sedikit menaikkan daya dukung tanah. Pada kadar semen 5%, kurva sangat curam dengan kemiringan kurva besar. Artinya, terjadi penambahan nilai CBR yang besar dengan penambahan semen. Penambahan abu dasar (10-15) % lebih tinggi prosentase peningkatan nilai CBR daripada penambahan abu dasar (5-10) %.

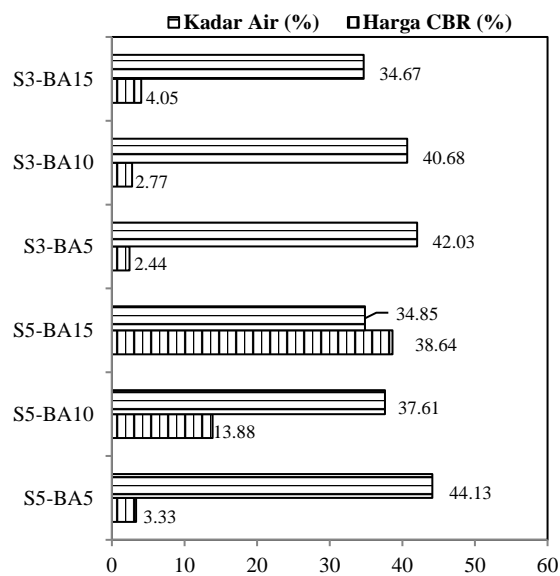
Perbandingan kenaikan harga CBR yang terlihat pada Tabel 5 dan **Gambar 4**, dapat

Analisis Peningkatan Nilai CBR Lempung Plastisitas Tinggi Terstabilisasi Semen dan Abu Dasar

dilihat kenaikan nilai CBR memiliki persentase yang berbeda-beda meskipun waktu pemeraman yang sama. Hal ini terjadi karena kenaikan nilai CBR dipengaruhi beberapa factor, diantaranya kadar lempung, semen, abu dasar, dan air. Pada penelitian ini, factor yang dominan meningkatkan nilai CBR, dipengaruhi oleh penambahan *bottom ash* dan semen.

Hubungan harga CBR dengan kadar air

Kandungan air dalam lempung lunak bisa menurunkan daya dukung tanah. Besarnya pengembangan lempung berbanding lurus dengan banyaknya air yang bisa diserap. Nilai kadar air dan nilai CBR terlihat berbanding terbalik, semakin tinggi kadar air campuran akan semakin menurunkan nilai CBR. Sebaliknya nilai CBR laboratorium semakin tinggi apabila kandungan air dalam tanah sedikit.



Gambar 5. Hubungan harga CBR dan kadar air

Kandungan air dalam sampel setelah pemeraman 7 (tujuh) hari berkisar antara 34,67%-44,13%. Jadi rentang Perubahan kadar air hanya berkisar 10%, sama dengan rentang perbedaan kadar abu dasar 5%-15%. Pada kandungan abu dasar yang sama, perubahan kadar semen 2% (dari 3% ke 5%) menaikkan nilai CBR sekitar 1%, 10%, dan 35% berturut-turut untuk kandungan abu dasar 5%, 10%, dan 15%.

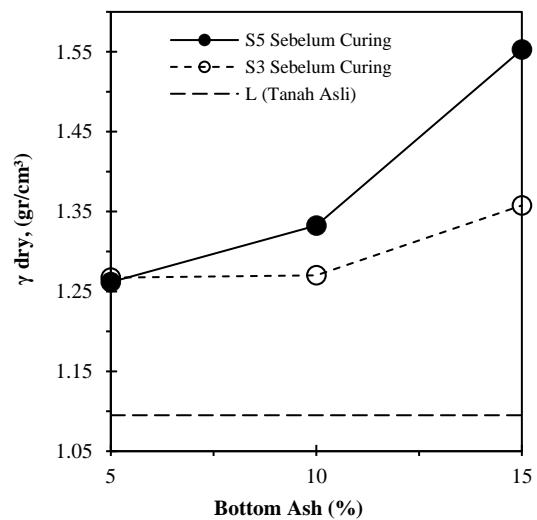
Pada kadar abu terbang 5%, 10%, 15%, kadar semen sebesar 3% meningkatkan nilai CBR sangat kecil yaitu berturut turut 2,44%, 2,77% dan 4,05%.

Gambar 5 tersebut menunjukkan bahwa semakin bertambahnya persentase campuran semen dan bottom ash, maka nilai kadar air mengalami penurunan. Penurunan nilai kadar air menyebabkan berkurangnya sifat elastisitas tanah sehingga nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan penambahan persentase campuran semen dan bottom ash.

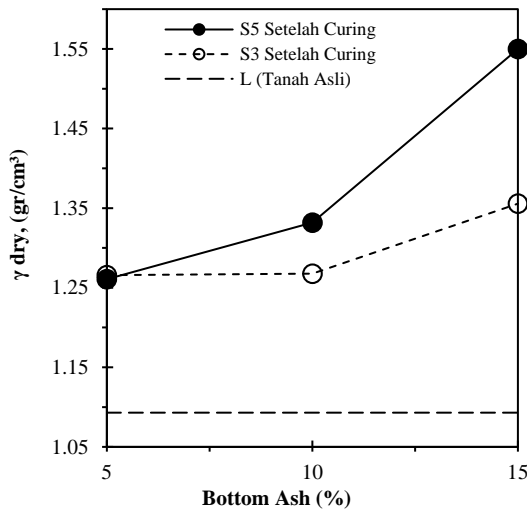
Berat Volume Kering CBR Tanah Asli Dan Campuran

Nilai berat volume kering (γ_{dry}) campuran atau tanah asli dipengaruhi oleh nilai kadar air, sehingga nilai berat volume kering pada setiap sampel memiliki nilai yang berbeda mengikuti perubahan nilai kadar airnya. Berdasarkan Hasil yang diperoleh menunjukkan peningkatan nilai γ_{dry} dari sampel dengan kadar abu dasar rendah menuju kadar abu dasar tertinggi, namun nilai γ_{dry} tidak mengalami peningkatan yang cukup signifikan jika ditinjau berdasarkan waktu curing. Seperti yang akan terlihat seperti pada **Gambar 6** dan **Gambar 7**.

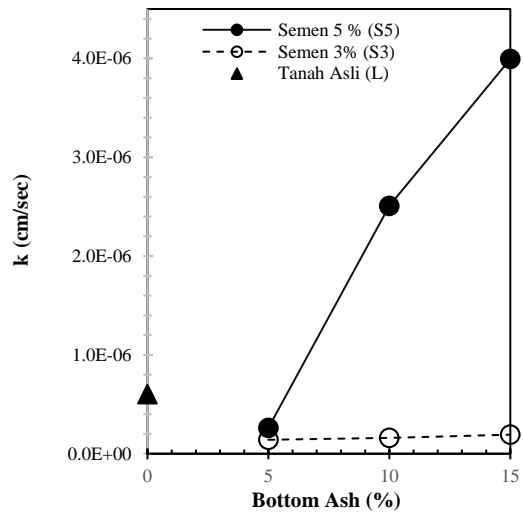
Nilai kepadatan kering yang lebih tinggi tidak selalu menghasilkan nilai CBR yang lebih tinggi. Komposisi semen dan abu terbang dalam campuran juga berpengaruh.



Gambar 6. Berat volume kering variasi sampel sebelum curing



Gambar 7. Berat volume kering variasi sampel setelah *curing*



Gambar 8. Nilai (k) sampel permeabilitas

Hasil pengujian permeabilitas tanah dan campuran

Data yang diperoleh dalam pengujian ini berupa nilai konstanta rembesan air pada setiap variasi sampel. Sampel yang digunakan pada pengujian permeabilitas ini merupakan sampel yang sama saat pengujian CBR *curing* 7 hari yang kemudian dilanjutkan proses *curing* sampai 28 hari untuk kemudian digunakan sebagai benda uji dalam pengujian permeabilitas. Berdasarkan hasil dari serangkaian pengujian yang telah dilakukan diperoleh data yang disajikan pada **Tabel 5**.

Tabel 5. Nilai *Hydraulic Conductivity* sampel dan *permeability categories*

| Variasi Sampel | Hydraulic conductivity (k) | |
|-------------------|----------------------------|----------------|
| | $\times 10^{-9}$ (m/dt) | category |
| Clay | 6,04 | Very low perm. |
| 90% C+5% S+5% BA | 2,62 | very low perm. |
| 85% C+5% S-10% BA | 25,08 | Very low perm. |
| 80% C+5% S+15% BA | 39,94 | Very low perm |
| 92% C+3% S+ 5% BA | 1,41 | impermeable |
| 87% C+3% S+10% BA | 1,60 | impermeable |
| 82% C+3% S+15% BA | 1,93 | impermeable |

Keseluruhan hasil jika digambarkan kedalam diagram garis maka akan tampak seperti pada **Gambar 8**.

Hasil yang diperoleh dari pengujian permeabilitas sampel CBR *Curing* 28 hari kadar semen 5% (S5) dan Semen 3% (S3) sebagai berikut:

1. Pada variasi semen 5% (S5) nilai konstanta air (k) lebih besar jika dibandingkan dengan nilai (k) tanah asli dan variasi semen 3% (S3). Nilai k juga mengalami peningkatan seiring dengan penambahan kadar *bottom ash*.
2. Nilai konstanta air (k) pada setiap variasi semen 3% mengalami penurunan jika dibandingkan pada setiap nilai k variasi sampel 5% dan tanah asli, namun seiring dengan penambahan kadar *bottom ash* nilai k mengalami peningkatan.

Kesimpulan

Berdasarkan serangkaian pengujian dan pembahasan yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penambahan Bottom Ash dan Semen terhadap perbaikan sifat geoteknik tanah lunak plastisitas tinggi diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan Bottom Ash dan Semen terhadap tanah lunak plastisitas tinggi terbukti dapat memperbaiki sifat geoteknik tanah lunak yang ditinjau berdasarkan peningkatan nilai kuat tekan bebas (Cu) dan nilai kuat tekan (qu). Variasi sampel UCS yang mengalami peningkatan nilai UCS terbesar adalah sampel dengan kadar Semen 5% dan Bottom Ash 15% pada waktu Curing 28 hari dengan nilai UCS 61,42 kPa yang mengalami peningkatan sebesar 178,72% jika

dibandingkan dengan nilai q_u L sebesar 22,04 kPa.

2. Penambahan bottom ash dan semen terhadap tanah lunak plastisitas tinggi terbukti dapat memperbaiki sifat geoteknik tanah lunak yang ditinjau berdasarkan peningkatan nilai daya dukung CBR yang awalnya pada variasi L hanya sebesar 0,78% menjadi 38,64% pada sampel CBR variasi L-S5-BA15. Peningkatan nilai tersebut adalah yang terbesar dari seluruh variasi sampel CBR campuran. Persentase kenaikan harga CBR cukup besar yaitu 4854,12%, ini membuktikan campuran mampu bekerja efektif untuk menaikkan daya dukung tanah
3. Pengaruh penambahan bottom ash dan semen terhadap tanah lunak plastisitas tinggi berdasarkan pengujian permeabilitas tanah diperoleh hasil yang berbeda pada masing-masing variasi. Nilai k yang diperoleh pada variasi semen 5% (S5) dengan kadar Bottom Ash 5% adalah $2,62 \times 10^{-7}$ cm/det, nilai k pada variasi ini mengalami penurunan jika dibandingkan dengan nilai k tanah asli sebesar $6,04 \times 10^{-7}$ cm/det, namun seiring penambahan kadar Bottom Ash 10 % dan 15% nilai k mengalami peningkatan sehingga tanah pada variasi ini lebih permeabel jika dibanding dengan nilai k tanah asli dengan perolehan nilai k masing-masing variasi adalah $25,08 \times 10^{-7}$ dan $39,94 \times 10^{-7}$ cm/det. Berbeda dengan sampel S5 keseluruhan nilai k pada variasi sampel S3 mengalami penurunan dibandingkan pada nilai k tanah asli, namun nilai k meningkat seiring dengan penambahan kadar Bottom Ash.

Daftar Rujukan

- Andriani. (2012). Pengaruh Penggunaan Semen Sebagai Bahan Stabilisasi pada Tanah Lempung Daerah Lambung Bukit Terhadap Nilai CBR Tanah. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 8(2), 29-44.
- Hardiyatmo, H. C. (2002). *Mekanika Tanah I*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Chairullah, B. (2011). Stabilisasi Tanah Lempung Lunak untuk Material Tanah Dasar Sub Grade dan Sub Base Jalan Raya. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 61-70.
- Karl Terzaghi, R. B. (1949). *Soil Mechanics in Engineering Practice*. The Journal of Geology. The Engineering Handbook, Second Edition.

Kementrian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2017). *Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.

Kim, H. K. (2015). Utilization of Sieved and Ground Coal Bottom Ash Powders as a Coarse Binder in High-Strength Mortar to Improve Workability. *Construction and Building Materials*, 57-64.

Pirmadona, S. M. (2015). Stabilisasi Tanah Plastisitas Rendah dengan Semen. *JOM F Teknik Volume 2 No.2*.

Purnama, Y. (2016). Pengaruh Penambahan Bottom Ash pada Tanah Lempung Ekspansif di Daerah Lakarsantri Surabaya Terhadap Nilai Daya Dukung Pondasi Dangkal. *Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 1-8.

Ristinah, A. Z. (2012). Pengaruh Penggunaan Bottom Ash sebagai Pengganti Semen pada Campuran Batako Terhadap Kuat Tekan Batako. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 6(3): 264-271.

Siregar, D. S. (2019). Stabilisasi Tanah Lempung dengan Kapur Tohor (CaO) dan Bottom Ash Ditinjau dengan Uji Tekan Bebas dan Nilai California Bearing Ratio. *Skripsi*. Medan: Universitas Sumatera Utara.

Surta Ria Nurliana Panjaitan, R. T. (2017). Potensi Penambahan Dolomit dan Bottom Ash Terhadap Peningkatan Nilai CBR Tanah Ekspansif. *Seminar Nasional Multidisiplin Ilmu*