

Pemanfaatan Semen Slag Sebagai Campuran Stabilisasi Tanah dan Pengaruhnya terhadap Nilai CBR Terendam (*Soaked California Bearing Ratio*) (Studi Kasus: Jalan Raya Munjul Desa Pasir Tenjo Kabupaten Pandeglang, Banten)

Enden Mina^(*)

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Kota Cilegon – Banten Indonesia, Email: enden@untirta.ac.id

Rama Indera Kusuma

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Kota Cilegon – Banten Indonesia Email: rama@untirta.ac.id

Zahirah Ismi Sausan

Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa
Jl. Jenderal Sudirman Km. 3 Kota Cilegon – Banten Indonesia Email: zahirahismi@gmail.com

Abstrak

Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan bahan aditif agar dapat menaikkan kekuatan tanah. Kondisi perkerasan Jalan Raya Munjul, Desa Pasir Tenjo, Kabupaten Pandeglang merupakan daerah yang mengalami kerusakan pada lapis perkerasannya dikarenakan memiliki daya dukung tanah sangat rendah dengan nilai California Bearing Ratio (CBR) sebesar 2.8%, oleh karena itu perlu dilakukan stabilisasi tanah. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan semen slag terhadap nilai CBR terendam (*soaked*) dengan variasi prosentase zat aditif sebesar 10 %, 20 %, dan 30 % serta melihat pengaruh lama pemeraman terhadap kenaikan CBR. Sebelum pengujian tanah diklasifikasikan dahulu dengan menggunakan system klasifikasi Unified (USCS). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh bahwa sampel tanah dapat diklasifikasikan sebagai kelas OH, yaitu tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan semen slag pada tanah lempung dapat menurunkan nilai indeks plastisitas dari 20,11 % menjadi 12,79 % dan dapat meningkatkan nilai CBR soaked menjadi 10,867 % dengan persentase optimum pada kadar semen slag 10 %. Penambahan Semen slag juga mampu menurunkan nilai swelling dari 1,937 % (pengembangan tinggi) menjadi 0,427 % (pengembangan rendah). Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa semen slag mampu menaikkan daya dukung tanah lempung dan mengurangi potensi swelling tanah.

Kata kunci: CBR, semen slag, stabilisasi, swelling, tanah lempung.

Abstract

Soil stabilization is a process to improve soil properties by adding additives to soil, in order to increase and maintain soil strength. Pavement conditions on Jalan Raya Munjul, Pasir Tenjo Village District of Pandeglang are areas that experience damage to pavement structure because it has a very low soil bearing capacity with California Bearing Ratio (CBR) value of 2.8%, therefore the soil need to be stabilized. This study aims to see the effect of adding cement slag to the CBR soaked value with additive mixture variation of 10%, 20%, and 30% and to see the effect of curing sample. Before CBR testing, soil was classified first use Unified classification system (USCS). Based on test result, the soil can be classified as OH type, organic clay soil with high plasticity. The addition of cement slag can decrease plasticity index from 20.11% to 12.79% and increase CBR soaked value to 10.867% with optimum proportion at 10% cement slag content. The addition of cement slag was also able to reduce the swelling value from 1.937% (high swelling) to 0.427% (low swelling), Therefore it can be concluded that cement slag can increase bearing capacity of clay soil and reduce soil swelling potential.

Keywords: CBR, cement slag, stabilization, swelling, clay soil.

1. Pendahuluan

1.1 Latar belakang

Pembangunan konstruksi perkerasan jalan raya pada umumnya sering ditemui tanah dasar di sekitar lokasi proyek yang tidak memenuhi syarat sifat teknis tanah

bila digunakan untuk pembangunan perkerasan jalan. Syarat sifat teknis tanah yang dimaksud salah satunya adalah daya dukung tanah berupa nilai *California Bearing Ratio* (CBR) dengan tingkatan *very poor* atau nilainya kurang dari 3 % (Bowles, 1992), apabila kondisi ini ditemukan perlu adanya upaya untuk melakukan perbaikan guna meningkatkan sifat-sifat

*Penulis Korespondensi

teknis tanah tersebut. Cara yang paling mudah dilakukan untuk melakukan perbaikan tanah salah satunya dengan proses stabilisasi tanah.

Kondisi perkerasan pada ruas jalan studi kasus merupakan daerah yang mengalami kerusakan pada struktur lapis permukaan jalan. Pengujian daya dukung tanah dengan cara uji *Dynamic Cone Penetrometer* (DCP) pada lokasi tersebut, didapatkan bahwa tingkat daya dukung tanah merupakan kategori *very poor* sebesar 2,8 % (< 3 %), oleh karena itu perlu dilakukan stabilisasi tanah guna meningkatkan daya dukung tanah pada lokasi tersebut.

Stabilisasi tanah yang dilakukan yaitu dengan mencampurkan semen *slag* dengan tanah dari lokasi penelitian. Semen *slag* yang digunakan yaitu berasal dari PT. Krakatau Semen Indonesia (KSI). Semen *slag* dapat meningkatkan daya dukung tanah karena memiliki sifat *cementitious* yang mampu mengeras dan menambah kekuatan apabila bereaksi dengan air. Penelitian ini bertujuan untuk melihat pengaruh pemanfaatan slag semen terhadap daya dukung tanah melalui parameter nilai CBR. Variasi prosentase slag semen diambil 0 %, 10 %, 20 %, dan 30 % dengan pemeraman 0, 3, dan 7 hari.

Stabilisasi dengan menggunakan slag semen dan sejenisnya telah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya diantaranya Dayalan (2016), Padmaraj (2017), Rasool (2017) dan Mina (2016). Berdasarkan hasil penelitian sebelumnya dapat disimpulkan bahwa stabilisasi dengan bahan tambah semen *slag* dapat meningkatkan nilai CBR dan juga pengurangan indeks plastisitas tanah sampai kadar optimumnya, hal tersebut menjadi dasar penelitian untuk melihat pengaruh semen slag pada kasus tanah lempung dengan mengambil sampel dari lokasi Ruas jalan Pasir Tenjo Pandeglang Banten.

1.2 Lokasi penelitian

Sampel diambil dari lokasi Jalan Raya Munjul, Desa Pasir Tenjo, Kecamatan Sindang Resmi, Kabupaten Pandeglang. Lokasi berada di provinsi Banten Indonesia. Ruas jalan ini merupakan jalur transportasi lokal yang sering dilewati kendaraan antar desa. Kondisi perkerasan jalan mengalami kerusakan seperti berlubang dan retak retak (**Gambar 1**).



Gambar 1. Kerusakan jalan di lokasi studi kasus
Sumber: Dokumentasi penulis, 2020

2. Landasan Teori

2.1 Klasifikasi tanah

Klasifikasi tanah adalah suatu system pengaturan beberapa jenis tanah yang berbeda-beda tapi mempunyai sifat yang serupa ke dalam kelompok dan sub kelompok berdasarkan pemakaiannya. Klasifikasi sistem *Unified Soil Classification System* (USCS) mengelompokkan tanah ke dalam dua kelompok besar, yaitu: tanah berbutir kasar dan tanah berbutir halus (Das dan Noor, 1995). Beberapa parameter penting dalam penyelidikan tanah diantaranya kadar air, berat jenis tanah, berat isi tanah, dan indeks plastisitas. Untuk tujuan klasifikasi Tanah tanah diuji analisa saringan untuk dibuat distribusi besar butir tanah yang dikompilasi dengan parameter tanah indeks plastisitas dan kadar air sehingga dihasilkan jenis tanah.

2.2 Pemadatan tanah dan stabilisasi tanah

Uji *proctor* standar digunakan untuk menentukan hubungan antara kadar air optimum dan kerapatan kering tanah. Kerapatan kering laboratorium selanjutnya digunakan untuk perbandingan dengan kerapatan kering lapangan dalam uji *sand cone test* untuk mendapatkan kepadatan tanah dilapangan. (Hardiyatmo dan Christady, 2002). Stabilisasi tanah adalah suatu proses untuk memperbaiki sifat-sifat tanah dengan menambahkan sesuatu pada tanah tersebut, agar dapat menaikkan kekuatan tanah dan mempertahankan kekuatan geser. Cara yang digunakan untuk menstabilisasi tanah pada umumnya terdiri dari stabilisasi mekanis dan stabilisasi kimiawi. (Hardiyatmo dan Christady, 2010). Semen *slag* adalah *slag* baja hasil residu pembakaran tanur yang sudah dihaluskan, memiliki sifat *cementitious* layaknya semen yang dapat berfungsi sebagai bahan perekat agregat. (Rasool, 2017).

2.3 Semen slag

Semen *slag* adalah *slag* baja hasil residu pembakaran tanur yang sudah dihaluskan, memiliki sifat *cementitious* layaknya semen yang dapat berfungsi sebagai bahan perekat agregat. Semen *slag* utamanya mengandung kalsium, aluminium, dan silika yang memiliki komposisi kimia tidak berbeda dengan bahan-bahan mineral alami termasuk bahan hidrasi seperti



Gambar 2. Semen slag KSI
Sumber: Dokumentasi penulis, 2020

semen *portland*. Semen ini sering juga dipakai sebagai campuran semen *portland* dalam pembuatan beton, mortar, dan lain-lain. Campuran produk ini disebut sebagai semen *blended*. Variasi campuran semen *slag* pada semen *portland* memungkinkan untuk mengoptimalkan sifat-sifat khusus dari beton dan mortar. Berdasarkan dari beberapa hasil penelitian umumnya dipakai antara 30 – 50 %. Kandungan kimia pada semen *slag* dapat dilihat pada **Tabel 1**.

Tabel 1. Kandungan unsur kimia semen slag

No.	Parameter	Oksida	Hasil Uji
1	Kalium Oksida	CaO	45,2%
2	Silikon Oksida	SiO ₂	34,8%
3	Alumunium Oksida	Al ₂ O ₃	14,79%
4	Sulfur Oksida	SO ₃	1,74%
5	Ferri Oksida	Fe ₂ O ₃	1,34%
6	Magnesium Oksida	MgO	0,99%
7	Titanium Oksida	TiO ₂	0,55%
8	Kalium Oksida	K ₂ O	0,38%
9	Mangan Oksida	MnO	0,25%
10	Natrium Oksida	Na ₂ O	0,22%
11	Barium Oksida	BaO	0,08%
12	Phospor Oksida	P ₂ O ₅	0,05%
13	Stronsium Oksida	SrO	0,04%
14	Zirconium Oksida	ZrO ₂	0,04%
15	Chromium Oksida	Cr ₂ O ₃	0,01%
16	Zinc Oksida	ZnO	30ppm

2.4 California Bearing Ratio (CBR) laboratorium

Pengujian CBR digunakan untuk mengevaluasi potensi kekuatan material lapis tanah dasar, fondasi bawah dan fondasi, termaksud material yang didaur ulang untuk perkerasan jalan dan lapangan terbang. Prinsip pengujian CBR adalah pengujian penetrasi dengan menusukkan benda ke dalam benda uji. Dengan cara ini dapat dinilai kekuatan tanah dasar atau bahan lain yang dipergunakan untuk membuat perkerasan. CBR adalah perbandingan antara bahan penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Tujuan dilakukan pengujian CBR ini adalah untuk mengetahui nilai CBR pada variasi kadar air pemadatan.

Pada pengujian CBR laboratorium rendaman dalam pelaksanaannya perendaman benda uji dilakukan selama 96 jam atau 4 hari sesuai tata cara uji CBR laboratorium (SNI 1744:2012). Hasil pengujian CBR laboratorium tanpa rendaman sejauh ini selalu menghasilkan daya dukung tanah lebih besar dibandingkan dengan CBR laboratorium rendaman. Aplikasi kedua uji tersebut untuk mengetahui karakteristik dari pemadatan tanah yang telah dilakukan, dengan adanya uji perendaman dapat diketahui kondisi kritis daya dukung tanah. Untuk uji CBR *soaked*, perendaman dilakukan untuk memodelkan kondisi hujan atau kondisi terburuk di lapangan seperti banjir, yang akan memberikan pengaruh penambahan air pada tanah sehingga dapat mengakibatkan terjadinya pengembangan (*swelling*) dan penurunan daya dukung tanah.

2.5 Uji pengembangan (*swelling*)

Pengembangan atau *swelling* adalah bertambahnya volume tanah akibat penambahan air pada sampel tanah karena proses perendaman. Nilai pengembangan juga mempunyai peranan penting dalam stabilisasi tanah. Kembang susut tanah dasar yang terlalu besar akan membawa dampak yang kurang baik bagi lapisan perkerasan di atasnya. Nilai pengembangan (*swelling*) dihitung berdasarkan persentase tinggi benda uji sesudah proses perendaman terhadap tinggi benda uji sebelum proses perendaman.

$$\Delta_h = \frac{h_1 - h_0}{h_0} \times 100 \% \quad (1)$$

Keterangan:

Δ_h = *Swelling* atau pengembangan, dinyatakan dalam %
 h_0 = Tinggi benda uji semula, dinyatakan dalam mm
 h_1 = Tinggi benda uji setelah perendaman, dinyatakan dalam mm

3. Metode Penelitian

3.1 Sampel dan metode penelitian

Sampel tanah diambil dari lokasi Jalan Raya Munjul, Desa Pasir Tenjo, Kecamatan Sindangresmi, Kabupaten Pandeglang. Pra penelitian dilakukan dengan pengujian CBR di lapangan dimana diperoleh hasil nilai CBR kurang dari 3 % yang artinya tanah memiliki daya dukung yang rendah. Sampel diuji propertis di laboratorium seperti berat jenis, kadar air, indeks plastisitas, berat isi kering dan analisa saringan sebagai parameter-parameter dalam membuat klasifikasi sampel tanah.

Sebelum persiapan pembuatan sampel uji CBR, tanah diuji pemadatan untuk mendapatkan nilai kadar air optimum dan berat isi keringnya. Jumlah sampel yang dibutuhkan total 36 sampel dengan untuk variasi 0%, 10%, 20% dan 30% zat aditif semen slag dan untuk masing-masing lama pemeraman 0 hari, 3 hari dan 7 hari.

Sebelum dipenetrasi CBR dilakukan perendaman (*soaked*) benda uji dan pengujian *swelling*, perendaman dilakukan selama 4 hari dan dicatat pengembangan tanah di dalam *mold* (*swelling*) diukur dengan *dial* penurunan pada permukaan tanah. Dalam proses uji CBR laboratorium *soaked*, setiap variasi campuran memakai 3 *mold* yang masing-masing dipadatkan dengan tumbukan berbeda-beda, 10 tumbukan, 30 tumbukan, dan 65 tumbukan untuk setiap lapisannya. Hasil uji CBR kemudian dianalisa untuk dilihat pengaruh penambahan semen slag terhadap nilai CBR.

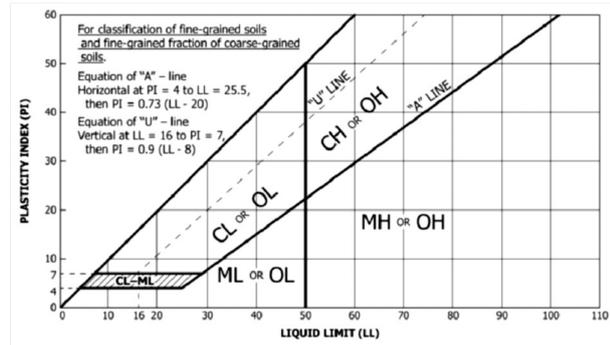
4. Hasil Penelitian dan Pembahasan

4.1 Propertis tanah

Hasil uji propertis tanah yang seperti kadar air, berat Jenis, palstisitas tanah gradasi butiran dan berat isi kering tanah disajikan pada **Tabel 2**. Hasil awal

Tabel 2. Hasil uji propertis sampel tanah

No.	Jenis Pengujian	Satuan	Hasil Pengujian
1	Kadar air (<i>w</i>)	%	11,590
2	Berat Jenis (<i>G_s</i>)	-	2,640
3	Batas-batas <i>Atterberg</i>		
	Batas Cair (<i>LL</i>)	%	51,000
	Batas Plastis (<i>PL</i>)	%	30,890
	Indeks Plastisitas (<i>PI</i>)	%	20,110
4	Gradasi Butiran		
	Tanah berbutir halus	%	64,900
	Tanah berbutir kasar	%	35,100
5	Pemadatan		
	Berat isi kering (<i>γ_{dry}</i>)	gr/cm ³	1,375
	Kadar air optimum (<i>w_{opt}</i>)	%	33,000
6	<i>California Bearing Ratio</i> Terendam		
	Pemeraman 0 hari	%	2,677
	Pemeraman 3 hari	%	2,230
	Pemeraman 7 hari	%	1,959



Gambar 5. Grafik hubungan *liquid limit* dan *plasticity index* berdasarkan sistim *Unified*

(Sumber: Harry Cristady, *Mekanika Tanah I*, Halaman 57)

30 %. Kebutuhan masing-masing tanah, air, dan bahan aditif semen *slag* dianalisis sebagai berikut:

1. Kebutuhan Tanah

$$\begin{aligned}
 \text{Volume mold} &= \frac{1}{4} \times \pi \times d^2 \times \text{tinggi} \\
 &= \frac{1}{4} \times 3,14 \times 15,16^2 \times 16,765 \\
 &= 3024,626 \text{ cm}^3 \\
 \gamma_{dry} \text{ maksimum} &= 1,375 \text{ gram/cm}^3 \\
 \text{Massa tanah} &= \text{Volume mold} \times \gamma_{dry} \text{ maksimum} \\
 &= 3024,626 \times 1,375 \\
 &= 4158,860 \text{ gram, dibulatkan menjadi} \\
 &= 4160 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

2. Jumlah massa kebutuhan air

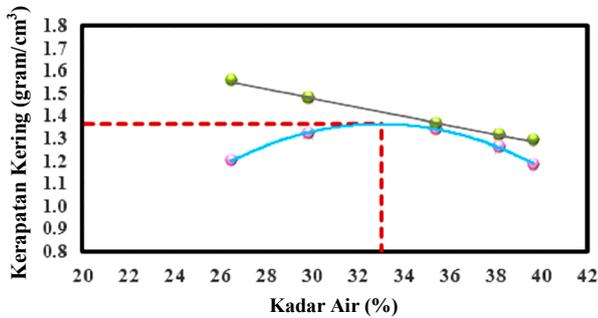
$$\begin{aligned}
 \text{Massa air berdasarkan berat isi kering pemadatan} \\
 \text{Kadar air tanah } \textit{speedy} &= 11,607 \% \\
 \text{Kadar air optimum} &= 33,00 \% \\
 \text{Massa air:} \\
 &= \text{Massa tanah} \times \text{kadar air} \\
 &= 4160 \text{ gram} \times 21,393 \% \\
 &= 889,94 \text{ gram dibulatkan menjadi } 890 \text{ ml}
 \end{aligned}$$

4.3.2 Hasil pengujian *California Bearing Ratio* (CBR) *Soaked*

Pengujian CBR *soaked* diawali dengan mempersiapkan tanah kering *oven* yang telah lolos saringan No. 4 sebanyak 4160 gram untuk setiap *mold*, bahan tambah semen *slag* sebanyak 0 % (0 gram), 10 % (416 gram), 20 % (832 gram), dan 30 % (1248 gram), serta air suling sebanyak 890 ml. Campurkan tanah, air, dan bahan tambah semen *slag* hingga merata (homogen), kemudian dimasukkan ke dalam plastik lalu mengikatnya hingga tidak ada udara yang masuk untuk diperam selama 0 hari, 3 hari, dan 7 hari.

Benda uji untuk satu *mold* dibagi menjadi 3 lapisan yang tebalnya kira-kira sama. Masukkan tanah campuran ke dalam *mold* dan memadatkannya dengan jumlah tumbukan 10, 30, dan 65 tumbukan per lapis untuk masing-masing kadar persentase dan waktu pemeraman. Langkah terakhir adalah merendam benda uji selama 4 hari. Hasil uji CBR terendam dapat dilihat pada **Tabel 2** samapai dengan **Tabel 5** untuk prosentase semen slag 0%, 10%, 20% dan 30%.

Kadar Air (%) dan Kerapatan Kering (gram/cm³)



Gambar 4. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering
Sumber: Hasil analisis, 2020

pengujian CBR tanah sebelum stabilisasi juga diberikan pada **Tabel 1** dimana nilai CBR diberikan untuk masing-masing lama pemeraman.

Gambar 4 menunjukkan grafik hasil pengujian pemadatan (*Proctor Test*) dimana diperoleh nilai kadar air optimum tanah asli adalah 33% dan berat isi kering tanah yang diperlukan 1.375 gr/cm³.

4.2 Klasifikasi tanah

Berdasarkan hasil pengujian analisa besar butir dikompilasi dengan batas cair, dan batas plastis maka dapat disimpulkan bahwa sampel tanah dapat dikasifikasikan sebagai kelompok OH seperti pada **Gambar 5** menurut sistim *unified* (USCS). Tanah diklasifikasikan sebagai tanah lempung organik dengan plastisitas tinggi.

4.3 Stabilisasi tanah dengan menggunakan semen *slag*

4.3.1 Kebutuhan tanah dan air

Persiapan sampel untuk uji CBR (*California Bearing Ratio*) dilakukan dengan menghitung kebutuhan air dan tanah dan variasi prosentasi bahan tambah semen slag. Variasi bahan tambah semen *slag* yang akan dicampur dengan tanah adalah 0 %, 10 %, 20 %, dan

Tabel 2. Nilai CBR soaked tanpa penambahan semen slag, dalam %

0 % Semen slag				
Hari	10	30	65	CBR Desain
0	1,622	2,433	2,838	2,734
3	1,216	2,027	2,636	2,319
7	1,014	1,825	2,027	1,959

(Sumber: Hasil analisis, 2020)

Tabel 3. Nilai CBR soaked dengan penambahan 10 % semen slag, dalam %

10 % Semen Slag				
Hari	10	30	65	CBR Desain
0	2,838	7,704	13,380	10,867
3	2,433	6,893	11,353	8,324
7	2,027	5,271	8,920	6,909

(Sumber: Hasil analisis, 2020)

Tabel 4. Nilai CBR soaked dengan penambahan 20 % semen slag, dalam %

20 % Semen Slag				
Hari	10	30	65	CBR Desain
0	2,433	6,285	10,542	9,189
3	1,825	5,271	9,326	6,182
7	1,622	4,055	6,690	5,455

(Sumber: Hasil analisis, 2020)

Tabel 5. Nilai CBR soaked dengan penambahan 30 semen slag, dalam %

30 % Semen Slag				
Hari	10	30	65	CBR Desain
0	2,027	4,460	8,109	6,224
3	1,622	3,649	6,487	4,222
7	1,216	2,838	4,866	3,608

(Sumber: Hasil analisis, 2020)

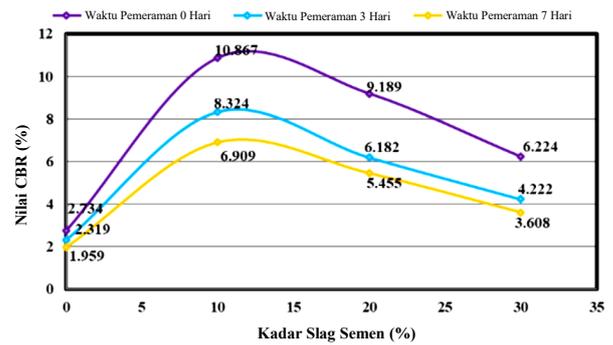
Tabel 6. Nilai CBR dengan persentase semen slag terhadap lama pemeraman

	0 Hari	3 Hari	7 Hari
0 %	2,734	2,319	1,959
10 %	10,867	8,324	6,909
20 %	9,189	6,182	5,455
30 %	6,224	4,222	3,608

(Sumber: Hasil analisis, 2020)

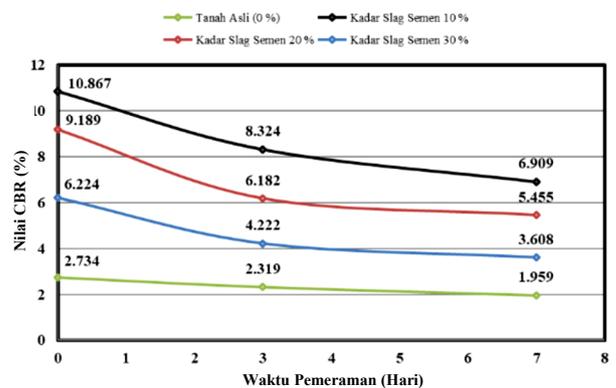
Gambar 6 menunjukkan posisi nilai CBR berdasarkan persentase bahan tambah. Berdasarkan grafik kenaikan nilai CBR dapat dilihat bahwa dengan penambahan persentase semen slag dapat meningkatkan nilai CBR, nilai CBR yang optimum didapat pada persentase 10 % semen slag yakni 10,867 %. Pada variasi 20 % terjadi penurunan nilai CBR dan semakin menurun pada kadar 30 %. Pengaruh pemeraman dapat dilihat pada **Tabel 6** dan **Gambar 7**.

Grafik Hubungan Persentase Bahan Tambah Semen Slag terhadap Nilai CBR



Gambar 6. Grafik hubungan persentase bahan aditif semen slag terhadap nilai CBR terendam

Grafik Hubungan Waktu Pemeraman terhadap Nilai CBR



Gambar 7. Grafik hubungan waktu pemeraman terhadap nilai CBR (Sumber: Hasil Analisis, 2020)

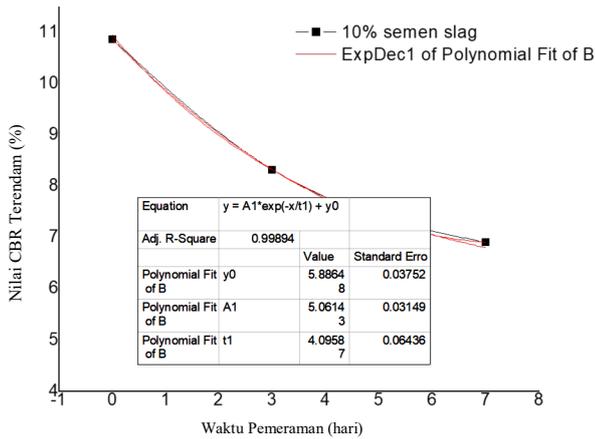
Berdasarkan **Gambar 7**. Dapat dilihat bahwa lamanya pemeraman dapat menurunkan nilai CBR soaked. Pada kadar semen optimum 10% nilai CBR mengalami penurunan dari 10,867% menjadi 6,909%. Penurunan pada waktu pemeraman dapat dikarenakan adanya penguapan air yang tertahan oleh pembungkus atau plastik sehingga membasahi bidang permukaan sampel yang membuat berkurangnya kadar air di dalam sampel. Keadaan ini mengakibatkan proses sementasi terganggu sehingga hasilnya tidak maksimal, menyebabkan menurunnya kekuatan tanah.

Metode interpolasi data digunakan untuk mendapatkan korelasi antara nilai CBR terendam dengan lama pemeraman seperti terlihat pada **Gambar 8**. Data yang digunakan adalah nilai CBR untuk variasi semen slag 10% yang menghasilkan nilai CBR paling tinggi. Berdasarkan metode *fit exponential* analisis korelasi antara nilai CBR terendam (CBRS dengan lama pemeraman (TP) dapat dinyatakan dengan formula berikut:

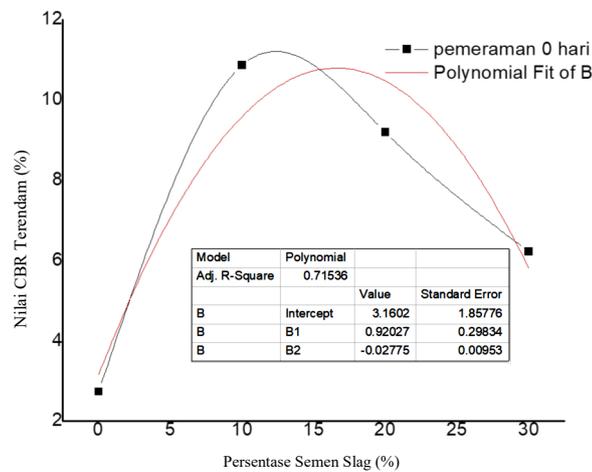
$$CBRS = 5.88 + 5.06e^{-TP/4.09} \quad (2)$$

dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.99$.

Dengan menggunakan metode pendekatan *fit polynomial*, diperoleh pendekatan korelasi antara nilai CBR terendam (CBRS) dengan persentase semen slag (SS) yang dapat dilihat pada **Gambar 9**. Dimana data



Gambar 8. Hasil interpolasi eksponensial untuk korelasi CBR terendam terhadap lama pemeraman



Gambar 9. Hasil pendekatan korelasi antara CBR dan persentase semen slag dengan metode fit

interpolasi menggunakan data CBR pada saat pemeraman 0 hari yang memberikan nilai tertinggi. Hasil korelasi dapat dinyatakan dengan formula sebagai berikut:

$$CBRS = 3.16 - 0.02 (SS) + 0.9 (SS)^2 \quad (3)$$

dengan nilai koefisien korelasi $R^2 = 0.715$

4.3.3 Pengujian swelling

Pengujian *swelling* dilihat dengan memeriksa penurunan nilai kerapatan kering setelah direndam, hasil uji *swelling* berdasarkan prosentase semen slag dan nilai CBR terendahnya untuk masing-masing lama pemeraman disajikan pada **Tabel 7** sampai **Tabel 9**.

Berdasarkan hasil uji *swelling* dapat disimpulkan bahwa lamanya pemeraman dapat meningkatkan nilai *swelling*. Semakin tinggi nilai *swelling* akan menurunkan nilai CBR. Peningkatan terjadi akibat kandungan air di dalam tanah berkurang ketika diperam, hal ini akan mengakibatkan air semakin mudah masuk ke dalam pori-pori tanah ketika proses rendaman (*soaked*) dilakukan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa stabilisasi menggunakan semen *slag* mampu

Tabel 7. Hubungan antara nilai *swelling* dengan nilai CBR *soaked* tanpa adanya pemeraman

Semen Slag (%)	Nilai <i>Swelling</i> (%)	Nilai CBR (%)	Klasifikasi <i>Swelling</i>
0 %	1,937	2,734	Tinggi
10 %	0,427	10,867	Rendah
20 %	1,457	9,189	Sedang
30 %	1,898	6,224	Tinggi

Sumber: Hasil analisis, 2020

Tabel 8. Hubungan antara nilai *swelling* dengan nilai CBR *soaked* dengan pemeraman 3 hari

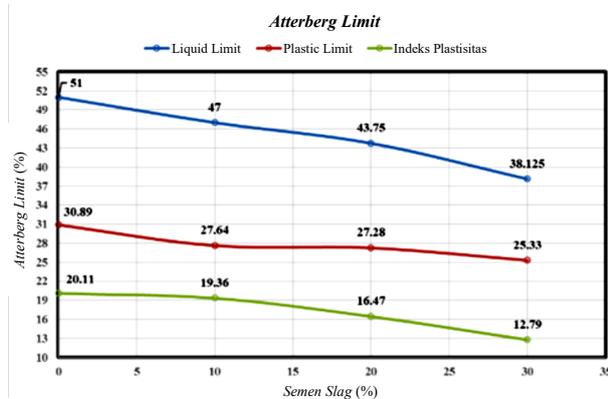
Semen Slag (%)	Nilai <i>Swelling</i> (%)	Nilai CBR (%)	Klasifikasi <i>Swelling</i>
0 %	2,041	2,319	Tinggi
10 %	1,239	8,324	Sedang
20 %	1,565	6,182	Tinggi
30 %	1,902	4,222	Tinggi

Sumber: Hasil analisis, 2020

Tabel 9. Hubungan antara nilai *swelling* dengan nilai CBR *soaked* dengan pemeraman 7 hari

Semen Slag (%)	Nilai <i>Swelling</i> (%)	Nilai CBR (%)	Klasifikasi <i>Swelling</i>
0 %	2,111	1,959	Tinggi
10 %	1,470	6,909	Sedang
20 %	1,701	5,455	Tinggi
30 %	1,902	4,222	Tinggi

Sumber: Hasil analisis, 2020



Gambar 10. Grafik hubungan *atterberg limit* terhadap persentase campuran (Sumber: Hasil analisis, 2020)

menurunkan nilai pengembangan tanah dari *swelling* tinggi sebesar 1,937 % menjadi *swelling* rendah sebesar 0,427 % pada kondisi tanpa pemeraman.

4.3.4 Hasil uji propertis setelah stabilisasi

Gambar 10 menunjukkan grafik perubahan propertis tanah seperti batas cair, batas plastis dan indeks plastisitas Hasil pengujian menunjukkan bahwa semakin banyak campuran semen *slag* nilai dari batas cair (*liquid limit* (LL)) semakin menurun. Penurunan terjadi karena tanah mengalami sementasi sehingga butiran tanah menjadi lebih besar yang mengakibatkan gaya tarik menarik antar partikel semakin menurun. Nilai batas plastis (*plastic limit* (PL)) semakin turun dengan

bertambahnya campuran semen *slag*. Penurunan dapat terjadi karena kenaikan nilai kohesi tanah yang menyebabkan ikatan antar tanah semakin melekat. Sehingga tanah mendekati sifat semi padat karena kandungan air pada tanah tersebut kecil. Nilai Indeks Plastistitas (*plasticity index (PI)*) menurun dengan bertambahnya kadar semen *slag*. Hal ini dapat disebabkan karena kondisi tanah menjadi lebih berbutir dan sehingga mengurangi sifat plastis tanah.

4.3.5 Perbandingan penelitian dengan penelitian CBR *unsoaked*

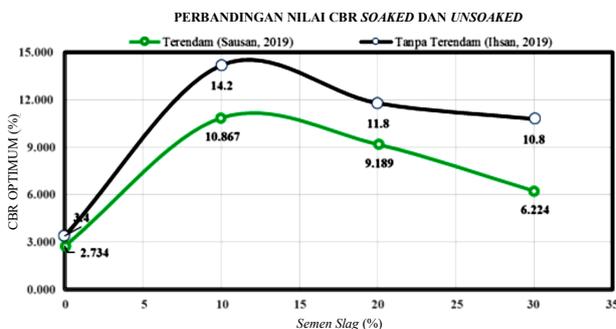
Penelitian pengaruh semen *slag* terhadap nilai CBR *unsoaked* telah diteliti oleh Fathonah dkk (2019). Penulis akan membandingkan nilai CBR terendam *soaked* dengan CBR tak terendam *unsoaked*, dimana sampel tanah pada kedua penelitian ini berasal dari lokasi yang sama. Perbandingan nilai CBR terendam dan tidak terendam disajikan dalam Tabel 10 dan Gambar 11.

Hasil penelitian CBR *soaked* memiliki nilai yang lebih kecil dibandingkan CBR *unsoaked*, dikarenakan kondisi jenuh air yang mengakibatkan volume tanah mengembang. Penelitian stabilisasi ini dengan menggunakan bahan aditif semen *slag* baik CBR *soaked* maupun *unsoaked* sama-sama menghasilkan persentase kadar optimum semen *slag* di variasi 10 %.

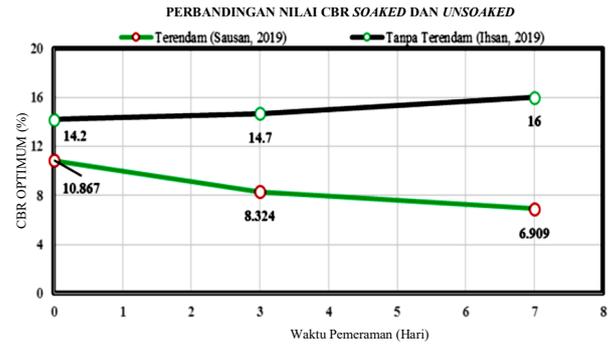
Kondisi tanah asli memiliki nilai CBR rendaman sebesar 2,734 % yang termasuk ke dalam kategori *very poor* (0 –

Tabel 10. Perbandingan nilai CBR *soaked* dan *unsoaked*

Waktu Pemeraman (Hari)	Semen Slag (%)	Nilai CBR (%)	
		Soaked (Sausan, 2019)	Unsoaked (Ihsan, 2019)
0	0	2,734	3,4
	10	10,867	14,2
	20	9,189	11,8
	30	6,224	10,8
3	0	2,319	3,6
	10	8,324	14,7
	20	6,182	12,1
7	30	4,222	11,0
	0	1,959	4,1
	10	6,909	16,0
	20	5,455	12,2
	30	3,608	11,1



Gambar 11. Grafik perbandingan nilai CBR *soaked* dengan CBR *unsoaked* tanpa pemeraman berdasarkan kadar semen *slag*



Gambar 12. Grafik perbandingan nilai CBR *soaked* dengan CBR *unsoaked* pada kadar semen *slag* 10 % berdasarkan waktu pemeraman (Sumber: Hasil Analisis, 2020)

3 %) seperti terlihat pada Gambar 11, sedangkan nilai CBR tanpa rendaman sebesar 3,4 % yang termasuk ke dalam kategori *poor to fair* (3 – 7 %). Kondisi tanah setelah pencampuran dengan semen *slag* 10 % memiliki nilai CBR rendaman sebesar 10,867 % dan nilai CBR tanpa rendaman sebesar 14,2 %, keduanya termasuk ke dalam kategori *fair* (7 – 20 %), maka dapat disimpulkan bahwa penambahan campuran semen *slag* pada prosentase 10% dapat meningkatkan nilai CBR baik kondisi terendam dan tidak terendam.

Berdasarkan Gambar 12 waktu pemeraman memberikan pengaruh menurunkan kekuatan tanah, lama waktu pemeraman dapat menurunkan nilai CBR terendam, tetapi berbanding terbalik dengan CBR tanpa rendaman dimana nilai CBR semakin naik. Penurunan CBR kondisi *soaked* pada waktu pemeraman dapat dikarenakan adanya penguapan air yang tertahan oleh pembungkus atau plastik sehingga membasahi bidang permukaan sampel yang membuat berkurangnya kadar air di dalam sampel yang dapat mempengaruhi proses sementasi sehingga hasilnya tidak akan maksimal.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian CBR laboratorium *soaked* sebelum dan setelah dilakukan usaha stabilisasi tanah menggunakan variasi persentase 0 %, 10 %, 20 %, dan 30 % semen *slag* dengan waktu pemeraman selama 0 hari, 3 hari, dan 7 hari dapat disimpulkan sebagai berikut:

- Berdasarkan sistem USCS, jenis tanah pada Jalan Raya Munjul, Desa Pasir Tenjo, Kecamatan Sindang Resmi, Kabupaten Pandeglang termasuk ke dalam kelompok OH atau tanah lempung organik yang memiliki sifat plastisitas tinggi dengan nilai indeks plastisitas (PI) sebesar 20,11 %. Nilai CBR *soaked* tanah asli sebelum distabilisasi menggunakan semen *slag* dengan waktu pemeraman 0, 3, dan 7 hari termasuk kategori *very poor* dengan masing-masing nilai sebesar 2,734 %, 2,319 %, dan 1,959 %.
- Penambahan semen *slag* dapat meningkatkan nilai CBR baik kondisi terendam (*soaked*) maupun kondisi tidak terendam (*unsoaked*). Variasi kadar semen *slag* optimum diperoleh pada pada persentase

10 % dimana nilai CBR mencapai maksimum 10,867 % untuk kondisi terendam dan 14.3% untuk kondisi tidak terendam.

3. Waktu pemeraman memiliki pengaruh signifikan terhadap nilai CBR *soaked*. Pemeraman yang semakin lama dapat menurunkan nilai CBR *soaked*. Pada penambahan semen *slag* 10 % tanpa pemeraman didapatkan nilai CBR *soaked* sebesar 10,867 %, nilai CBR *soaked* menurun pada pemeraman 3 hari dan 7 hari sebesar 8,324 % dan 6,909 % secara berurutan.
4. Penurunan nilai CBR akibat bertambahnya waktu pemeraman dapat dikarenakan adanya penguapan air yang tertahan oleh pembungkus sehingga membasahi bidang permukaan sampel yang membuat berkurangnya kadar air di dalam sampel yang dapat mempengaruhi proses sementasi tanah.
5. Pada kadar semen slag optimum 10%, stabilisasi tanah memberikan pengaruh yang kurang signifikan pada penurunan indeks plastisitas (PI) tanah, akan tetapi pada kadar semen slag persentase 20 %, mampu menurunkan nilai PI menjadi 16.47% dengan nilai CBR *soaked* pada kadar ini adalah 9,189% .

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian dan mendapatkan kesimpulan, penulis menyarankan beberapa hal untuk penelitian selanjutnya, yaitu sebagai berikut:

1. Kajian ini dapat dilanjutkan dengan menambahkan campuran material lain selain semen *slag*, seperti garam dapur, limbah bahan industri keramik, larutan kimia (asam sulfat, soda api, asam fosfat), dan lain-lain.
2. Hasil penelitian ini bisa dipakai sebagai acuan apabila ingin melanjutkan dan mengembangkan penelitian ini dengan memberikan variasi kadar semen *slag* yang berbeda dengan interval 5 %, untuk mengetahui kadar semen *slag* yang lebih optimum.
3. Sebagai bahan stabilisasi tanah lempung untuk *subgrade* maka sebaiknya pemakaian semen *slag* pada persentase 10 %.

Daftar Pustaka

- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1742-2008 Cara Uji Kepadatan Ringan untuk Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1964-2008 Cara Uji Berat Jenis Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1965-2008 Cara Uji Penentuan Kadar Air untuk Tanah dan Batuan di Laboratorium*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1966-2008 Cara Uji Penentuan Batas Plastis dan Indeks*

Plastisitas Tanah. Kementerian Pekerjaan Umum.

- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 1967-2008 Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2008). *SNI 3423-2008 Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Badan Standarisasi Nasional. (2012). *SNI 1744-2012 Metode Uji CBR Laboratorium*. Kementerian Pekerjaan Umum.
- Das, Braja M., Endah Noor. (1995). *Mekanika Tanah (Prinsip-prinsip Rekayasa Geoteknis)*, jilid 1. Jakarta: Penerbit Erlangga.
- Fathonah, W., Mina, E., & Ihsan, D. Y. (2019). *Stabilisasi Tanah Menggunakan Semen Slag Serta Pengaruhnya terhadap Nilai California Bearing Ratio (CBR) (Studi Kasus: Jl. Munjul, Kp. Ciherang, Desa Pasir Tenjo, Kecamatan Sindang Resmi, Kabupaten Pandeglang)*.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2002). *Mekanika Tanah I*, edisi 3. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- Hardiyatmo, Hary Christady. (2010). *Stabilisasi Tanah untuk Perkerasan Jalan*. Yogyakarta: Gajah Mada University Press.
- J., Dayalan. (2016). *Comparative Study on Stabilization of Soil with Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS) and Fly Ash*. *International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET)*, Vol.: 3 Issue: 5.
- Mina, E., Kusuma, R. I., & Subowo, I. S. L. (2016). Pengaruh Fly Ash Terhadap Nilai CBR dan Sifat-Sifat Propertis Tanah (Studi Kasus: Jalan Raya Bojonegara KM. 19 Serang, Banten). *Jurnal Fondasi*, 5 (2).
- Padmaraj, D. (2017). *Stabilisation of Soft Clay using Ground Granulated Blastfurnace Slag and Lime*. *Sixth Indian Young Geotechnical Engineers Conference (6IYGEC)*.
- PT. Krakatau Semen Indonesia. (2018, 17 Oktober). *Blast Furnace Slag / Ground Granulated Blast Furnace Slag* : www.krakatausemenindonesia.com
- Rasool, E. R. (2017). *Comparative Study on Stabilization of Ground Granulated Blast Furnace Slag (GGBS)*. *International Journal of Latest Research in Science and Technology*, Vol.: 6 Issue: 3.