

## PENGGUNAAN ABU BATU BARA PLTU MPANAU SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH LEMPUNG

Arifin B. \*

### Abstract

The objective of the research was to explain the influence of the stabilization of the clay with Fly Ash and cement Portland. The fly ash which used are produced from PLTU Mpanau Kecamatan Tawaeli Palu passed pan # 200, and the clay soils has Plasticity Index more than 20. The experiment subjected to the Plasticity Index (PI) maximum density and CBR values. The Proportion of sample are 10% and 20% for fly ash and 4% and 8% for cement portland. The results show that the addition of fly ash and cement portland could decrease the PI from 27,33% to 10,37% and increase CBR Values from 4,46% to 13,8% for soaked sample and 5,6% to 15,5% for unsoaked sample.

**Key words :** fly ash, clay, California Bearing Ratio, Plasticity Index

### Abstrak

Penelitian ini bertujuan memeriksa pengaruh stabilisasi tanah lempung menggunakan bahan stabilisasi Abu batu bara dan semen. Abu batu bara yang digunakan adalah abu bara hasil pembakaran dari PLTU Mpanau Kecamatan Tawaeli Kota Palu yang lolos saringan No.200, tanah lempung yang diuji memiliki indeks plastisitas lebih besar dari 20. Sifat yang diperiksa adalah: perubahan batas cair, kepadatan maksimum dan nilai CBR. Proporsi rancangan campuran terdiri dari abu batu bara adalah 10% dan 20% semen sebesar 4% dan 8% masing-masing terhadap berat kering tanah lempung,.Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran abu batu bara dan semen mampu menurunkan nilai indeks plastisitas tanah lempung dari 27,33% menjadi 10,37 %, meningkatkan nilai CBR tanah dari 4,46% menjadi 13,8% untuk CBR rendaman dan dari 5,6% menjadi 15,5% untuk CBR tanpa rendaman.

**Kata Kunci :** abu batu bara, lempung, California Bearing Ratio, indeks palstisitas

### 1. Pendahuluan

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) Mpanau yang berlokasi di Tawaeli Kecamatan Palu Utara Kota Palu, setiap harinya menghasilkan sejumlah abu buangan berupa abu batu bara. Berdasarkan data observasi lapangan pada PLTU Panau, jumlah produksi abu batubara sebagai hasil pembakaran batubara, mencapai 10 -15 ton perhari. Abu batubara tersebut belum dimanfaatkan secara berarti dan hanya menjadi limbah buangan disekitar wilayah PLTU. Merupakan hal yang

sangat positif jika ini dapat dimanfaatkan sehingga tidak menjadi limbah disekitar lokasi PLTU.

Pada penelitian ini masalah yang diteliti adalah sejauh mana perubahan yang terjadi dari perbaikan sifat geoteknis tanah lempung yang distabilisasi dengan abu batubara dan semen khususnya nilai indeks plastisitas, kepadatan maksimum dan nilai CBR (California Bearing Ratio). Penelitian ini dibatasi pada hal-hal sebagai berikut :

---

\* Staf Pengajar Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Tadulako, Palu

- 1) Material yang digunakan adalah tanah lempung yang diambil di Desa Kalukubula Kec. Dolo Kab. Sigi. Bahan stabilisasi yang digunakan adalah abu batubara diambil dari sisa hasil pembakaran batubara dari pembangkit listrik tenaga uap yang berada di Kelurahan Panau Kecamatan Palu Utara dan semen yang diperoleh dari toko bahan bangunan yang ada di Kota Palu.
- 2) Pengujian sifat fisik tanah berupa analisa saringan, analisa hidrometer, batas-batas Atterberg, berat jenis, kadar air dan berat isi.
- 3) Pengujian sifat mekanis berupa uji pemadatan dan CBR (CBR terendam dan tak terendam).
- 4) Variasi abu batubara yang digunakan adalah 0%, 10%, dan 20% terhadap berat kering tanah.
- 5) Variasi semen yang digunakan adalah 4% dan 8% terhadap berat kering tanah.

Adapun tujuan penelitian untuk mengetahui perubahan nilai sifat fisik dan mekanis tanah lempung terhadap variasi penambahan abu batubara dan semen, dengan manfaat yang diharapkan dapat dijadikan salah satu metode alternatif dalam mengantisipasi permasalahan tanah lempung pada proses pelaksanaan proyek-proyek konstruksi.

## 2. Tinjauan Pustaka

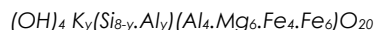
### 2.1 Tanah lempung

Lempung adalah *aluminium silikat* yang terbentuk sebagai hasil pelapukan dari batuan beku akibat reaksi kimia, yang mengandung *feldspar* sebagai salah satu mineral asli (Hardiyatmo, 1992). Proses ini dapat meliputi kristalisasi dari suatu larutan, pelapukan dari mineral silikat dan batuan, penyusunan kembali mineral-mineral serta pertukaran ion, dan perubahan beserta pembentukan mineral baru dan batuan karena proses buatan di Laboratorium atau lapangan dalam waktu yang lama.

### 2.1.1 Jenis-jenis umum mineral lempung

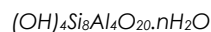
Umumnya terdapat 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung. Di antara kelompok dalam tanah lempung yaitu :

- a. *Kaolinit*, dihasilkan dari pelapukan beberapa mineral lempung yang lebih aktif atau dari produk sampingan pelapukan batuan dengan jenis lempung berkegiatan rendah dan memiliki rumus kimiawi :  $(OH)_8 Al_4 Si_4 O_{10}$ . Kaolinit biasanya didapatkan di daerah-daerah dengan curah hujan tinggi .
- b. *Illite*, adalah kelompok lempung yang pertama kali ditemukan di Illionis, dengan rumus kimia :



*Illite* diturunkan dari mika dan biotit yang kadang-kadang disebut lempung mika. Retakan antara partikel penyusunnya kurang baik sehingga kurang stabil dibandingkan dengan kaolinit. Lempung illit biasanya dijumpai pada daerah-daerah dengan curah hujan sedang.

- c. *Montmorilonit*, biasa dikenal dengan istilah 'smectite' dan memiliki rumus kimia :



Pada waktu-waktu tertentu mempunyai daya tarik yang sangat kuat terhadap air, sehingga jenis tanah yang mengandung mineral ini sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air, yang dalam waktu lama dapat berakibat pada kerusakan konstruksi, khususnya pada konstruksi jalan raya. Montmorilonit ditemukan di daerah-daerah kering.

### 2.2.2 Sifat-sifat mineral lempung

Pada dasarnya beberapa karakteristik mineral lempung adalah sama. Sifat umum mineral lempung adalah sebagai berikut, (Bowles, 1991) :

- a. Hidrasi, dimana partikel lempung dikelilingi oleh lapisan-lapisan molekul air yang disebut air terabsorpsi.
- b. Aktifitas, akibat tepi-tepi mineral lempung mempunyai muatan negatif netto, mengakibatkan terjadinya usaha penyeimbangan dengan tarikan kation. Tarikan ini akan sebanding dengan kekurangan muatan netto dan dapat didefinisikan sebagai :

$$\text{Aktifitas} = \frac{\text{Indeks Plastisitas (IP)}}{\text{Persentase Lempung}} \dots\dots 1$$

Aktifitas digunakan untuk mengidentifikasi kemampuan mengembang dari suatu tanah.

Pengaruh air, dimana massanya yang telah mengering dari suatu kadar air awal, berkekuatan cukup besar. Apabila air ditambahkan kembali, ia menjadi plastis dengan kekuatan yang lebih kecil. Jika lempung basah ini mengering, akan terbentuk bongkahan yang keras dan kuat.

## 2.2 Abu Batu Bara

Abu batubara yang digunakan adalah hasil dari pembakaran batubara yang merupakan fraksi yang halus dimana partikelnya lolos saringan No. 200 standard ASTM (*America Society for Testing and Material*).

Abu batubara adalah bagian dari sisa pembakaran batubara pada Boiler pembangkit listrik tenaga uap yang berbentuk partikel halus amorf dan bersifat pozzolan, berarti abu tersebut dapat bereaksi dengan kapur pada suhu kamar dengan media air berbentuk senyawa yang bersifat mengikat.

PLTU berbahan bakar batubara biasanya menghasilkan limbah padat dalam bentuk abu. Abu batubara yang merupakan limbah dari proses pembangkit tenaga listrik dapat berupa abu terbang, abu dasar dan lumpur flue gas desulfurization. Abu tersebut selanjutnya dipindahkan ke lokasi penimbunan abu dan terakumulasi di lokasi tersebut dalam jumlah yang sangat banyak. Dengan bertambahnya jumlah abu batubara maka ada usaha-usaha untuk memanfaatkan limbah padat tersebut salah satunya dengan stabilisasi untuk tanah.

Secara kimia abu batubara merupakan mineral alumino silikat yang banyak mengandung unsur-unsur Ca, K, dan Na disamping juga mengandung sejumlah kecil unsur C dan N. Bahan nutrisi lain dalam abu batubara yang diperlukan dalam tanah diantaranya ialah B, P dan unsur-unsur kelumit seperti Cu, Zn, Mn, Mo dan Se. Abu batubara sendiri dapat bersifat sangat asam (pH 3-4) tetapi pada umumnya bersifat basa (pH 10-12), selain itu abu batubara tersusun dari partikel berukuran silt yang mempunyai karakteristik kapasitas pengikat air dari sedang sampai tinggi.

Tabel 1 Hubungan antara mineral lempung dengan aktivitas

Mineral Lempung	Aktivitas	Tingkatan
Kaolinite	0,40 – 0,50	Paling kurang aktif
Illite	0,50 – 1,00	Aktifitas sedang
Montmorillonite	1,00 – 7,00	Paling aktif

Sumber : Bowles, 1991

Tabel. 2 Hubungan potensipengembangan dengan indeks plastisitas

Potensi Pengembangan	Klasifikasi
Rendah ( <i>Low</i> )	< 18
Sedang ( <i>Medium</i> )	15 – 24
Tinggi ( <i>High</i> )	25 – 41
Sangat tinggi ( <i>Very High</i> )	> 35

Sumber: Bowles, 1991

### 2.3 Semen

Semen Portland adalah suatu bahan pengikat yang mengeras jika bereaksi dengan air serta menghasilkan produk yang tahan air.

Komponen utama dari semen portland adalah :

- Batu kapur yang mengandung CaO (Kapur, lime)
- Lempung yang mengandung komponen SiO<sub>2</sub> (Silika), Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Oksida Alimina) dan Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> (Oksida Besi) (Murdock, ).

Hal yang perlu diperhatikan pada semen portland adalah pengikatan dan pengerasannya. Semen portland merupakan bahan pengikat hidrolis yang berarti bahwa pengerasannya tergantung pada reaksi kimia yang disebabkan oleh air dan semen, oleh karenanya semen portland dapat mengeras meskipun didalam air

Stabilisasi tanah lempung dengan Semen merupakan proses kimia yang dapat merubah struktur tanah dengan jalan membentuk butiran agregat yang lebih besar sehingga akan memberikan pengaruh yang sangat menguntungkan. Peristiwa kimia terjadi antara tanah dan semen, ketika keduanya dicampur dengan menambahkan sejumlah air. Hasil dari proses ini adalah pengurangan porositas dari tanah lempung dan bersamaan dengan ini terjadi peningkatan kekuatan dan ketahanan.

Hidrasi dari semen menghasilkan kalsium silikon dan aluminium, kalsium hidroksida, dan ion kalsium yang dapat meningkatkan konsentrasi dari elektronis

yang sedikit mengandung air, tetapi meningkatkan PH.

Proses hidrasi melalui 2 tahap, yaitu :

- Tahap pertama, terjadi proses timbal balik antara ion kalsium dan yang lain diserap oleh mineral-mineral lempung.
- Tahap kedua, reaksi kimia dari pozzolan terjadi antara semen dan elemen-elemen kristal komposit.. Komponen silikon dan aluminium bereaksi dengan senyawa kalsium yang membentuk unsur-unsur yang paling mengikat. Hasil akhir dari reaksi ini adalah perubahan bentuk dari struktur lempung yang akhirnya menjadi agregat yang keras.

### 2.4 California Bearing Ratio, CBR

CBR adalah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan terhadap bahan standar dengan kedalaman dan kecepatan penetrasi yang sama. Nilai CBR dinyatakan dalam persentase. Alat percobaan CBR mempergunakan dongkrak mekanis dengan sebuah piston penetrasi ditekan supaya masuk kedalam tanah dengan kecepatan 0,05 inci/menit. Luas piston tersebut adalah 3 inci<sup>2</sup>. Untuk menentukan beban yang bekerja pada piston dipakai sebuah proving ring yang terpasang antara piston dan dongkrak. Pada nilai-nilai penetrasi tertentu, beban yang bekerja pada piston dipakai sebuah proving ring yang terpasang antara piston dan dongkrak. Pada nilai-nilai penetrasi tertentu, beban yang bekerja pada piston tercatat sehingga kemudian dapat dibuat grafik beban terhadap penetrasi.

Tabel 4. Nilai CBR pada tiap Lapisan Perkerasan Jalan

Material	Nilai CBR (%)
Subgrade	6 – 19
Subbase Course	20 – 50
Base Course	> 50

Sumber: Sukirman, 1995

Nilai CBR dihitung pada penetrasi 0,1 dan 0,2 inci, dengan cara membagi beban pada penetrasi masing-masing dengan beban sebesar 3000 dan 4500 pound. Untuk menghitung nilai CBR dapat digunakan persamaan berikut :

$$CBR_{0,1"} = \frac{\text{Beban bebas pada penetrasi } 0,1" (\text{lbs})}{3000 (\text{lbs})} \times 100\%$$

.....(2)

$$CBR_{0,2"} = \frac{\text{Beban bebas pada penetrasi } 0,2" (\text{lbs})}{4500 (\text{lbs})} \times 100\%$$

.....(3)

Umumnya harga CBR diambil pada penetrasi 0,1". Bila harga yang didapat pada penetrasi 0,2" ternyata lebih besar maka percobaan diulang. Apabila percobaan yang diulang tersebut masih menghasilkan nilai CBR pada penetrasi 0,2 " lebih besar dari nilai CBR diambil harga pada penetrasi 0,2".

Tabel 5. Beban Penetrasi Beban Standar

Penetrasi (Inch)	Beban Standar (Lbs)	Beban Standar (Lbs/inch)
0,1	3000	1000
0,2	4500	1500
0,3	5700	1900
0,4	6900	2300
0,5	7800	6000

Sumber: Sukirman, 1995

### 3. Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah : Uji laboratorium, yaitu pengujian kualitas material yang dilaksanakan di Laboratorium Mekanika Tanah Fakultas Teknik Universitas Tadulako berupa pengujian batas-batas atterberg, pengujian pemadatan dan pengujian CBR.

#### 3.1 Lokasi Pengambilan Contoh Tanah

Dalam penelitian ini contoh tanah yang digunakan adalah tanah berlempung yang diambil dari Kalukubula Kec. Dolo Kab. Sigi. Kondisi pengambilan contoh tanah adalah

contoh tanah terganggu dan tidak terganggu, dimana pengambilan contoh tanah diambil pada kedalaman 100 cm (1,00 meter) di bawah permukaan tanah.

#### 3.2 Lokasi Pengambilan Abu Batu Bara

Abu Batubara diperoleh dengan mengambil sisa hasil pembakaran batubara dari pembangkit listrik tenaga uap yang berada di Kelurahan Panau Kecamatan Palu Utara. Pemeriksaan sifat-sifat fisik abu batu bara merupakan hal yang sangat penting untuk dilakukan sebelum dijadikan bahan suatu material konstruksi atau untuk keperluan lainnya.

Untuk itu dilakukan uji kimia analitik di Laboratorium Kimia Analitik Fakultas MIPA Universitas Tadulako.

Dalam pengujian ini sampel *Abu Batu Bara* yang digunakan terdiri atas sampel basah dan sampel kering. Sampel basah merupakan abu batu bara yang didapatkan dari stock pile dilapangan, sementara sampel kering adalah abu bara yang diambil langsung dari *precifitator*.

Karena kompleksnya pengujian *abu batu bara*, maka pengujian dilakukan di tiga laboratorium secara terpisah yaitu Laboraturum Kimia Analitik, Laboratorium Struktur-Bahan dan Laboratorium Mekanika Tanah.

Pengujian-pengujian yang dilakukan adalah: Density, Water Absorb ratio, Loss of Burn, Specific Surface Area, Moisture Content, Float Of Calcium (CaO); Kandungan Sulfur (SO<sub>3</sub>), stability dan pengujian kadar alkali, dilakukan di Lab Kimia Analitik; Uji saringan di lakukan di Lab Mekanika Tanah.

Standar pengujian masing-masing item mengacu pada *ASTM D-Series*.

#### 4. Hasil dan Pembahasan

##### 4.1 Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah lempung

Hasil pemeriksaan fisik tanah lempung disajikan pada Tabel 6.

##### 4.2 Sifat Fisik Abu Batu Bara

###### a. Hasil Uji Saringan

Karena keterbatasan alat uji saringan pada Laboratorium maka yang dapat dilakukan adalah uji saringan hanya sampai saringan No. 200 dengan bukaan 0,075 mm; dengan hasil untuk material basah prosentase lolos saringan No. 200 adalah 93,18% dan material kering sebesar 94,57%

###### b. Uji Kimia Analitik

Hasil pengujian kimia analitik terdiri dari 16 (enam belas) parameter yang diperiksa, menggunakan sampel basah dan kering yang hasilnya dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 6. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Tanah Lempung

Parameter	Hasil Pengujian	Keterangan
Pasir (4,750 mm )	4.70 %	Analisa Saringan dan Analisa Hidrometer
Lanau (0,070 mm)	55.49 %	
Lempung (0,0016 mm )	39.81 %	
Batas Cair ( LL)	58.34 %	Batas-Batas Atterberg
Batas Plastis (PL)	31.01%	
Indeks Plastisitas (IP)	27.33 %	
Berat Jenis Tanah (Gs)	2.52	Berat Jenis
Kadar Air Lapangan (w)	23.11 %	Kadar Air
Berat Isi Kering ( $\gamma$ )	1.34 gr/cm <sup>3</sup>	Berat Isi
Lolos Saringan no. 200	95.30 %	Analisa Saringan
CBR tak terendam	5.66 %	CBR
CBR terendam	4.46 %	

Tabel 7. Hasil Pengujian Kimia Analitik Abu Batu Bara

No	Parameter	Satuan	Hasil Analisis		Standar ASTM
			Sampel Kering	Sampel Basah	
1.	Density	g/ml	0,991	1,000	0,5 – 2,6
2.	Water Absorb	%	0,013	0,04	-
3.	Loss of burn	%	0,054	0,060	Max 6%
4.	Specific Surface Area	m <sup>2</sup> /g	391,4	410,8	529-273
5.	Moisture Content	%	0,89	1,42	Max 3%
6.	Float of Calcium Oxide (CaO)	%	0,38	0,64	-
7.	Kandungan Sulfur (SO <sub>3</sub> )	%	0,81	1,23	Max 5%
8.	Stability	%	12,72	16,45	-
9.	<b>Pengujian Kadar</b>				
a.	MgO	%	1,79	1,38	0,8 – 1,1
b.	CaO	%	2,7	1,90	1,2 – 7,0
c.	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	15,14	15,48	8,5 – 19
d.	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	%	19,97	18,10	17 – 28
e.	SiO <sub>2</sub>	%	43,18	39,26	41 – 50
f.	Na <sub>2</sub> O	%	0,87	1,24	0,4 – 1,8
g.	K <sub>2</sub> O	%	0,62	1,93	1,8 – 3,0
10.	Alkali Content	%	0,24	0,36	Max 1,5

Dari hasil pengujian secara umum semua parameter yang dianalisis masih memenuhi standar ASTM baik sampel kering maupun sampel basah. Salah satu parameter yang sangat penting adalah *specific surface area*, dimana parameter ini akan menjadi dasar dalam pemanfaatan *abu batu bara* sebagai bahan campuran stabilisasi, karena berkaitan dengan kemampuan *abu batu bara* menyerap air. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *specific surface area* berada diatas standar minimum yang disyaratkan.

Umumnya *moisture content* (kadar air) *abu batu bara* sangat dipengaruhi oleh proses pembakaran material *batu bara*, kemudian tergantung pada kemampuan filter atau *precipitator* dalam menangkap *abu batu bara*. Dari hasil analisis diatas menunjukkan bahwa *moisture content* sangat kecil, hal ini berarti pemanfaatan *abu batu bara* sangat

mendukung sebagai bahan stabilisasi.

Untuk parameter *Water Absorb ratio* menunjukkan kemampuan *abu batu bara* dalam menyerap air. Daya absorb *abu batu bara* menjadi rendah jika adanya unsur karbon yang tidak terbakar sekitar 1%. Sebaliknya jika unsur karbon bebas > 10% maka kemampuan *abu batu bara* dalam menyerap air sangat besar.

Parameter *Float of Calcium Oxide* akan berpengaruh terhadap kemampuan *abu batu bara* dalam mengikat partikel-partikel yang terdapat dalam struktur molekul *abu batu bara*. Dimana hasil pengujian beberapa senyawa turunan metilketon yang menjadi parameter dalam *float calcium oxide* ternyata mempunyai kemampuan mengikat kuat, hal ini berarti bahwa jika *abu batu bara* tersebut diaplikasikan sebagai bahan stabilisasi maka akan bersifat stabil.

Parameter *stability* setelah dilakukan uji asam dan basa ternyata mengalami sedikit perubahan hal ini dimungkinkan karena beberapa kandungan *abu batu bara* seperti ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ ) akan bereaksi bila dicampurkan bila dicampurkan dengan asam maupun basa. Oleh karena itu untuk aplikasi bahan agregat dalam campuran semen adanya sifat basa/asam akan mempengaruhi *stability abu batu bara*. Sebagai bahan stabilisasi campuran, kandungan *abu batu bara* yang sering menjadi patokan utama seperti kadar  $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ,  $Fe_2O_3$ . Dimana dari hasil analisis menunjukkan bahwa parameter tersebut memenuhi standar ASTM, hal ini berarti *abu batu bara* yang diambil dari sisa pembakaran batu bara pada PLTU Mpanau dapat diaplikasikan sebagai bahan stabilisasi.

c. Kadar Air

Dari hasil percobaan laboratorium diperoleh kadar air abu batubara sebesar 0.89%. untuk sampel kering dan 1,42% untuk sampel basah.

d. Spesific Surface Area

Dari hasil pemeriksaan laboratorium diperoleh 391,4 m<sup>2</sup>/g untuk sampel basah dan 410,8 untuk sampel kering.

4.2 Sifat Campuran Abu Batu Bara, Semen dan Tanah Lempung

a. Hasil Pengujian Batas Atterberg

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui batas cair dan indeks plastisitas dari tanah yang distabilisasi dengan abu batubara dan semen sehingga dapat diketahui klasifikasinya secara umum dan dilakukan terhadap contoh tanah terganggu. Hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 8.

b. Hasil Pengujian Pematatan

Hasil pengujian pematatan disajikan pada Tabel 9.

c. Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Hasil pengujian CBR Laboratorium disajikan pada Tabel 10.

Tabel 8. Hasil Pengujian Batas-Batas Atterberg

Persentase Campuran Abu batubara+Semen (%)	Nilai Batas Cair (LL)	Nilai Batas Plastis (PL)	Nilai Indeks Plastisitas (PI)
Tanah Asli	58.34	31.01	27.33
0%A + 4%S	51.54	26.98	24.56
10%A + 4%S	51.42	26.92	24.51
20%A + 4%S	50.36	26.89	23.47
0%A + 8%S	44.94	25.06	19.88
10%A + 8%S	34.42	23.94	10.48
20%A + 8%S	32.62	22.25	10.37



Tabel 9. Hasil pengujian pematatan

Persentase Campuran Abu batubara+Semen (%)	Kadar Air Optimum $W_{opt}$ (%)	Berat Isi Kering Maksimum $\gamma_{d\ max}$ (gr/cm <sup>3</sup> )
Tanah Asli	17.152	1.793
0%ABB + 4%S	14.971	1.986
10%ABB + 4%S	12.366	2.094
20%ABB + 4%S	11.843	2.154
0%ABB + 8%S	14.604	2.135
10%ABB + 8%S	12.256	2.223
20%ABB + 8%S	11.035	2.215

Tabel 10. Hasil Pengujian CBR Laboratorium

No	Persentase Campuran Abu batubara+Semen (%)	Nilai CBR (%)					
		Terendam			Tak Terendam		
		I	II	Rata-Rata	I	II	Rata-Rata
1	Tanah Asli	4.80	4.11	4.46	5.48	5.83	5.66
2	0%A + 4%S	7.54	7.88	7.71	10.28	10.97	10.63
3	10%A + 4%S	10.62	10.97	10.80	13.02	13.71	13.37
4	20%A + 4%S	12.34	12.68	12.51	15.76	15.08	15.42
5	0%A + 8%S	11.99	12.68	12.34	14.39	14.73	14.56
6	10%A + 8%S	15.76	15.08	15.42	17.13	17.48	17.31
7	20%A + 8%S	13.71	14.05	13.88	15.42	15.76	15.59

## 5. Kesimpulan dan Saran

### 5.1 Kesimpulan

Dari Penambahan abu batubara dan semen pada tanah lempung dapat menurunkan nilai Indeks Plastisitas (IP). Penurunan tersebut seiring dengan bertambahnya persentase abu batubara dan semen. Penambahan abu batubara dan semen dapat meningkatkan nilai berat isi kering maksimum dan menurunkan nilai kadar air optimum. Peningkatan nilai berat isi kering maksimum terbesar pada persentase 10% abu batubara dan 8% semen sebesar 2.223 gr/cm<sup>3</sup>.

Peningkatan nilai CBR baik untuk kondisi terendam maupun tak terendam seiring dengan meningkatnya nilai berat isi kering maksimum tanah. Peningkatan nilai CBR terbesar pada persentase 10% abu batubara dan 8% semen untuk kondisi CBR tak terendam sebesar 17.31%.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan abu batubara dan semen sebagai bahan stabilisasi dapat digunakan untuk meningkatkan nilai CBR tanah.

## 5.2 Saran

Dalam hal pemanfaatan abu batu bara sebagai bahan stabilisasi, hal yang sangat penting diperhatikan adalah konsistensi dari nilai parameter yang diuji secara kimia anlitik, untuk itu disarankan melakukan pemeriksaan secara periodik dan berkala terhadap besarnya nilai parameter untuk abu batu bara.

## 6. Daftar Pustaka

- Bowles, J.E, 1991, Sifat-sifat Fisis dan geoteknik tanah, Edisi Kedua, Erlangga, Jakarta
- Craig,R.F, 1994, Mekanika Tanah, Erlangga, Jakarta
- Hardiyatmo, H.C, 1992, Mekanika Tanah I, Penerbit Erlangga Pustaka Utama, Jakarta
- Sukirman, S. 1980, Pengerasan Lentur Jalan Raya, Penerbit Nova, Bandung