

## **BAB VI**

### **HASIL PENELITIAN**

#### **6.1 Umum**

Pada bab ini disajikan hasil penelitian pengaruh limbah industri tekstil ( *sludge* ) yang telah dicampur dengan zeolit terhadap sifat fisik dan sifat mekanis tanah lempung. Selain itu disajikan pula hasil penelitian dari masing-masing stabilisator yaitu *sludge* dan zeolit sebagai bahan pembandingan.

Penelitian sifat fisik dan mekanik dari tanah lempung dilakukan di laboratorium Mekanika Tanah UII. Sifat fisik tanah yang diukur adalah kadar air, berat jenis, analisa saringan dan batas-batas *Atterberg*. Sedangkan sifat mekanis tanah yang diukur adalah kuat tekan bebas ( *Unconfined Compressive Strength* ) dan CBR. Untuk hasil pengujian tersebut ditampilkan dalam bentuk tabel dan gambar grafik.

#### **6.2 Hasil Pengujian Karakteristik Tanah dan Bahan Stabilisator**

##### **6.2.1 Pengujian pada Tanah Lempung**

Pengujian yang dilakukan pada tanah lempung ini meliputi berat jenis, kadar air, analisa saringan dan batas-batas konsistensi, yang terdiri dari batas cair dan batas plastis.

### 1. Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Air Tanah

Dari hasil pengujian maka didapat berat jenis tanah sebesar 2,304 (Lampiran 2.a) dan kadar air tanah sebesar 40,960 % (Lampiran 1.a).

### 2. Hasil Pengujian Analisa Saringan

Pada pengujian Analisa Saringan dan Hidrometer tanah didapat data seperti dibawah ini, yaitu :

Pasir	: 11,63 %	
Lumpur	: 25,10 %	
Lempung	: 63,27 %	(Lampiran 3).

### 3. Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi

Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tanah lempung didapat hasil sebagai berikut :

Batas cair	: 42,73 %
Batas plastis	: 23,99 %
Indeks plastisitas	: 18,74 % (Lampiran 4.a)

#### 6.2.2 Pengujian pada Bahan Stabilisator

Bahan stabilisator yang dipakai adalah campuran limbah padat industri tekstil ( *sludge* ) dengan zeolit. Namun demikian juga dilakukan pengujian terhadap masing-masing bahan ( *sludge* dan zeolit ). Pada bahan stabilisator hanya dilakukan penelitian terhadap berat jenis ( Lampiran 2.b – 2.d ) dan kadar air ( Lampiran 1.b – 1.d ).

Dari penelitian didapat hasil seperti pada Tabel 6.1 berikut:

Dari penelitian didapat hasil seperti pada Tabel 6.1 berikut:

Tabel 6.1 Hasil Pengujian Berat Jenis dan Kadar Air

PERCOBAAN	BERAT JENIS	KADAR AIR ( % )
LIMBAH	1,534	11,418
ZEOLIT	1,798	9,569
CAMPURAN	1,725	7,55
TC 2%	2,292	7,395
TC 4%	2,281	12,4
TC 6%	2,269	10,9
TC8%	2,257	9,735
TZ 2%	2,294	11,195
TZ 4%	2,284	10,065
TZ 6%	2,273	11,36
TZ 8%	2,263	10,775
TL 2%	2,285	11,5
TL 4%	2,273	12
TL 6%	2,257	11
TL 8%	2,242	9,06

*Keterangan :* TL = Tanah + Limbah  
 TZ = Tanah + Zeolit  
 TC = Tanah + Campuran ( zeolit+ Limbah )

### 6.3 Hasil Pengujian Kepadatan Tanah

Tabel 6.2 Hasil Pengujian Kepadatan Tanah

NO	PERCOBAAN	MDD ( berat vol kering max gr/cm <sup>3</sup> )	OMC ( kadar air optimum %)
1	TA	1,25233	23,95
2	TC 2%	1,20964	22,92
3	TC 4%	1,20215	24,66
4	TC 6%	1,22084	25,06
5	TC8%	1,12657	25,02
6	TZ 2%	1,20619	22,49
7	TZ 4%	1,18851	24,53
8	TZ 6%	1,15042	25,73
9	TZ 8%	1,19244	26,17
10	TL 2%	1,12885	24,53
11	TL 4%	1,19773	23,05
12	TL 6%	1,16729	22,76
13	TL 8%	1,25284	22,61

*Keterangan :*

TA= Tanah Asli

TL = Tanah + Limbah

TZ = Tanah + Zeolit

TC = Tanah + Campuran ( zeolit+ Limbah )

Dari hasil pengujian kepadatan tanah ( Lampiran 5 ) untuk masing-masing jenis percobaan dipilih sampel dengan berat volume kering maksimum untuk kepadatan maksimum yang kemudian akan digunakan pada pengujian CBR, tekan bebas dan batas-batas konsistensi.

#### 6.4 Hasil Pengujian CBR Laboratorium

Pada pengujian CBR laboratorium ( Lampiran 6 ), kandungan yang dipakai pada bahan stabilisator adalah tanah asli dengan stabilisator 0 %, limbah ( *sludge* ) dengan kadar 2 %, zeolit dengan kadar 8 % dan limbah ( *sludge* ) + zeolit dengan kadar 6 %. Pemilihan kandungan didapat berdasarkan hasil dari pengujian kepadatan tanah yang menghasilkan kadar air optimum dan berat volume kering maksimum. Untuk setiap *sample* dipakai jumlah pukulan sebanyak 56 kali dan dengan waktu pemeraman 0, 3, 7, 14 dan 21 hari.

Nilai CBR dihitung pada penetrasi 0,1” dan dibandingkan pada penetrasi 0,2”. Apabila hasil penetrasi 0,1” yang telah dikoreksi lebih besar dari penetrasi 0,2”, maka hasil tersebut telah benar. Sedangkan apabila penetrasi 0,2” lebih besar dari penetrasi 0,1” maka ada dua kemungkinan yang diambil, pertama pengujian diulangi yang kedua tetap dipakai nilai penetrasi 0,1”.

Dari penelitian didapat hasil seperti pada Tabel 6.3 berikut:

Tabel 6.3 Hasil Pengujian CBR Tanpa Direndam

Sample	Tanah Asli	Tanah + Limbah 2 %						Tanah + Campuran (Limbah + Zeolit) 6 %						Tanah + Zeolit 8 %					
		0	3	7	14	21	0	3	7	14	21	0	3	7	14	21			
Pemeraman (hari)	0																		
Pen. 0,1" (%)	4,11	6,85	8,22	9,14	10,05	13,71	6,4	8,22	9,14	9,6	11,88	5,48	8,68	9,6	11,42	12,34			
Pen. 0,2" (%)	6,09	6,4	9,14	7,62	9,44	11,88	6,09	8,22	8,53	9,14	10,36	7,31	8,22	8,83	8,83	9,75			
Nilai CBR (%)	4,11	6,85	8,22	9,14	10,05	13,71	6,04	8,22	9,14	9,6	11,88	5,48	8,68	9,6	11,42	12,34			

Pada pengujian CBR tanah asli ( campuran 0 % ) tidak dilakukan pemeraman, melainkan langsung dilakukan pengujian waktu itu juga ( 0 hari pemeraman ) untuk uji CBR tanah asli dilakukan pengujian dengan jumlah pukulan 15, 35 dan 65 kali yang digunakan sebagai perbandingan. Nilai CBR nya adalah sebagai berikut :

1. Jumlah pukulan 15 kali = 2,28 %
2. Jumlah pukulan 35 kali = 3,88 %
3. Jumlah pukulan 65 kali = 5,48 %

( lihat Lampiran 6.a – 6.c )

Selain pengujian CBR dengan pemeraman, dilakukan juga pengujian CBR rendaman dimana *sample* direndam selama 4 hari. Pengambilan sampel sama seperti pengujian CBR pemeraman. Selain untuk menentukan nilai CBR rendaman, pengujian ini juga digunakan untuk melihat pengembangan yang terjadi pada tanah saat terendam air. (Lampiran 7 ).

Hasil pengujian CBR rendaman dan pengembangan ( *swelling* ) dapat dilihat pada Tabel 6.4 dan Tabel 6.5 dibawah ini :

Tabel 6.4 Hasil Pengujian CBR Rendaman

Sampel	Tanah Asli	Tanah + Limbah 2%	Tanah Campuran 6% (Limbah + Zeolit)	Tanah + Zeolit 8%
Pemeraman	4 Hari	4 Hari	4 Hari	4 Hari
Pen 0,1" ( % )	0.91	1.37	2.06	0.69
Pen 0,2" ( % )	0.73	1.52	1.68	0.61
Nilai CBR (%)	0.91	1.37	2.06	0.69

Tabel 6.5 Hasil Pengujian Pengembangan (*Swelling*) pada tanah

Sampel	Tanah Asli	Tanah + Limbah 2%	Tanah + Campuran 6% (Limbah + Zeolit)	Tanah + Zeolit 8%
Tinggi awal (H <sub>0</sub> )	17.94	17.83	17.875	17.675
Pembacaan awal (H <sub>1</sub> )	0	0	0	0
Pembacaan akhir (H <sub>2</sub> )	7.68	4.65	5.64	9.5
Selisih (H <sub>2</sub> -H <sub>1</sub> )	7.68	4.65	5.64	9.5
Pengembangan (%) [(H <sub>2</sub> -H <sub>1</sub> )/H <sub>0</sub> ] $\times$ 100	42.81	26.08	31.55	53.74

### 6.5 Pengujian Tekan Bebas

Pada pengujian tekan bebas *sample* yang digunakan adalah tanah lempung dengan kandungan limbah (*sludge*) 2%, Zeolit 8% dan limbah (*sludge*) + zeolit 6%. Untuk tanah asli langsung dilakukan pengujian pada saat itu juga, sedangkan untuk tanah dengan stabilisator diuji setelah diperam selama 0, 3, 7, 14, dan 21 hari dan masing-masing diambil 2 *sample*. (Lampiran 8)

Hasil pengujian tekan bebas dapat dilihat dalam Tabel 6.6 di bawah ini :



Tabel 6.6 Hasil Pengujian Tekan Bebas

Pemeraman	0 Hari						3 Hari						7 Hari							
	TA		TC		TL		TZ		TC		TL		TZ		TC		TL		TZ	
	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	0.36	1.95	3.44	3.32	2.78	2.72	2.42	2.25	2.72	2.46	3.18	3.72	2.42	2.65	2.89	2.74	2.42	2.46	2.56	2.81
C (kg/cm <sup>2</sup> )	0.16	0.61	1.07	0.81	0.72	0.82	0.99	0.99	1.06	1.03	0.99	1.30	1.12	1.19	1.17	1.17	1.13	0.96	0.78	0.89
Sudut Pecah	49	58	58	64	62.5	59	50.5	48.5	52	50	58	55	47	48	51	49.5	47	52	58.5	57.5
Φ	8	26	26	38	35	28	11	7	14	10	26	20	4	6	12	9	4	14	27	25

Pemeraman	14 Hari						21 Hari					
	TC		TL		TZ		TC		TL		TZ	
Sampel	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2	1	2
Qu (kg/cm <sup>2</sup> )	2.59	2.23	3.92	2.34	2.43	2.59	3.74	3.93	2.92	2	2.29	2.54
C (kg/cm <sup>2</sup> )	1.0	0.78	1.53	1.05	1.09	1.08	1.31	1.59	0.91	0.74	0.75	0.92
Sudut Pecah	52.2	55	52	48	48	50	55	51	58	53.5	56.5	54
Φ	14.4	20	14	6	6	10	20	12	26	17	23	18

Keterangan : TL= Tanah + Limbah 2% ; TZ= Tanah + Zeolit 8% ; TA = Tanah Asli  
 TC= Tanah + Campuran 6% ( Limbah+ Zeolit )

## 6.6 Hasil Pengujian Batas-batas Konsistensi Tanah + Bahan Stabilisator

A. Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tanah lempung +

Campuran ( *Sludge* + Zeolit ) 6% didapat hasil sebagai berikut :

Batas cair : 47,70 %  
 Batas plastis : 31,37 %  
 Indeks plastisitas : 16,33 % ( Lampiran 4.b )

B. Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tanah lempung +

*Sludge* 2% didapat hasil sebagai berikut :

Batas cair : 48,18 %  
 Batas plastis : 33,57 %  
 Indeks plastisitas : 14,60 % ( Lampiran 4.c )

C. Dari hasil pengujian batas-batas konsistensi pada tanah lempung +

Zeolit 8% didapat hasil sebagai berikut :

Batas cair : 65,60 %  
 Batas plastis : 30,23 %  
 Indeks plastisitas : 35,37 % ( Lampiran 4.d )

## 6.7 Analisis dan Pembahasan

### 6.7.1 Klasifikasi Tanah

Untuk mendapatkan gambaran yang jelas tentang karakteristik tanah lempung yang dipergunakan dalam penelitian ini, perlu dilakukan evaluasi berdasarkan metode klasifikasi tanah yang telah ada. Dari klasifikasi yang ada, dalam penelitian ini mempergunakan dua sistem klasifikasi, yaitu :

1. Sistem USCS ( *Unified Soil Classification System* )
2. Sistem AASHTO ( *American Association of State Highway and Transportation Officials* )

Pemakaian kedua sistem klasifikasi ini menggunakan hasil pengujian batas-batas *Atterberg* dan analisa pembagian butiran.

*a. Sistem USCS*

1. Tanah yang lolos saringan no.200 adalah sebesar 88,367 %, prosentase ini lebih besar dari 50 %, maka tanah termasuk golongan berbutir halus. ( lihat Lampiran 11.a )
2. Batas cair sebesar 42,73 % kurang dari 50 %. Plastisitas indeks 18,74 % dengan melihat Lampiran 11.a , maka tanah ini terletak pada posisi di atas A-line.
3. Dengan menghubungkan Batas Cair dan Indeks Plastisitas maka tanah ini termasuk golongan tanah lempung tak organik dengan plastisitas rendah sampai sedang ( CL ).

*b. Sistem AASHTO*

1. Dari harga Batas Cair sebesar 42,73 % dan batas plastis sebesar 23,99 % diperoleh indeks plastisitas sebesar 18,74 %, maka lempung ini termasuk tanah dengan IP lebih besar dari 11 %.
2. Batas Cair adalah 41 min, maka tanah ini tergolong dalam kelompok A-7. ( lihat Lampiran 11.b )

3. Batas plastis kurang dari 30 %, maka tanah ini termasuk dalam kelompok tanah A-7-6 yang termasuk sebagai material berlempung dengan penilaian sebagai tanah dasar sedang sampai buruk.

### 6.7.2 Kekuatan Tanah

Pengujian yang berhubungan dengan kekuatan tanah adalah pengujian pemadatan, tekan bebas dan uji CBR.

#### 6.7.2.1 Kepadatan Tanah

Salah satu penentuan daya dukung tanah dasar adalah tingkat kepadatan. Tanah dengan tingkat kepadatan yang tinggi mengalami perubahan volume yang kecil jika terjadi perubahan kadar air dan mempunyai daya dukung yang lebih besar jika dibandingkan dengan tanah sejenis yang tingkat kepadatannya lebih rendah. Tingkat kepadatannya dinyatakan dalam berat volume kering maksimum ( $\gamma_k$  maksimum) tanah terhadap kadar air optimum ( $w_{op}$ ).

Prinsip umum pemadatan adalah pemadatan tanah diukur dari berat volume kering tanah yang dipadatkan. Jika air ditambahkan pada suatu tanah yang dipadatkan, air tersebut berfungsi sebagai unsur pembasah (pelumas) pada partikel tanah. Karena adanya air, partikel-partikel tanah tersebut akan lebih mudah bergerak dan bergeser satu sama lain dan membentuk kedudukan yang lebih rapat/padat. Sementara jika tanah terlalu basah, air antar partikel tanah menahan pemadatan, dengan demikian terjadi hasil kepadatan yang rendah.

Kepadatan yang paling tinggi dicapai jika tanah cukup basah, jadi mudah dikerjakan (tegangan geser rendah) tetapi tidak terlalu basah sehingga jarak pori-

pori antar partikel jernih seluruhnya. Apabila tanah terlalu kering hal ini juga akan sangat porus dan meskipun kuat pada waktu kering, tetapi tanah ini akan hancur bila terjadi musim hujan.

Uji kepadatan tanah ini untuk menentukan bagaimana bagusnya tanah dipadatkan meskipun kadar airnya bervariasi, sehingga kadar air optimum (dihasilkan dalam kepadatan maksimal yang mungkin pada tanah) dapat ditentukan. Kadar air optimum adalah kadar air perkiraan yang harus dipakai untuk mencapai kepadatan yang baik hasilnya. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah kadar air disamping jenis tanah serta usaha pemadatan.

Pada penelitian ini kadar air optimum untuk tanah asli atau tanah tanpa campuran 0% sebesar 23,95 %, setelah dicampur dengan *sludge* + zeolit (campuran) berangsur turun hingga penambahan campuran 4% dan naik lagi pada penambahan campuran 6% dan kemudian turun lagi pada kadar campuran 8%. Sehingga di dalam penelitian ini untuk percobaan terhadap tanah campuran diambil TC 6% sebagai campuran yang optimum. Hubungan antara kadar campuran dengan kadar air optimum dan nilai berat kering tanah dapat dilihat pada Gambar 6.1, 6.4 dan 6.5.

Untuk tanah yang dicampur dengan *sludge* kadar air optimum dan berat volume kering maksimum dicapai pada kadar *sludge* 2 %, semakin banyak kadar *sludge* yang ditambahkan pada tanah akan semakin menurun kadar airnya. ( lihat Gambar 6.2 , 6.4 dan 6.5 )

Hal ini dapat terjadi karena *sludge* mengandung kapur. Kapur yang ditambahkan kedalam tanah dapat mereduksi plastisitas tanah, meningkatkan

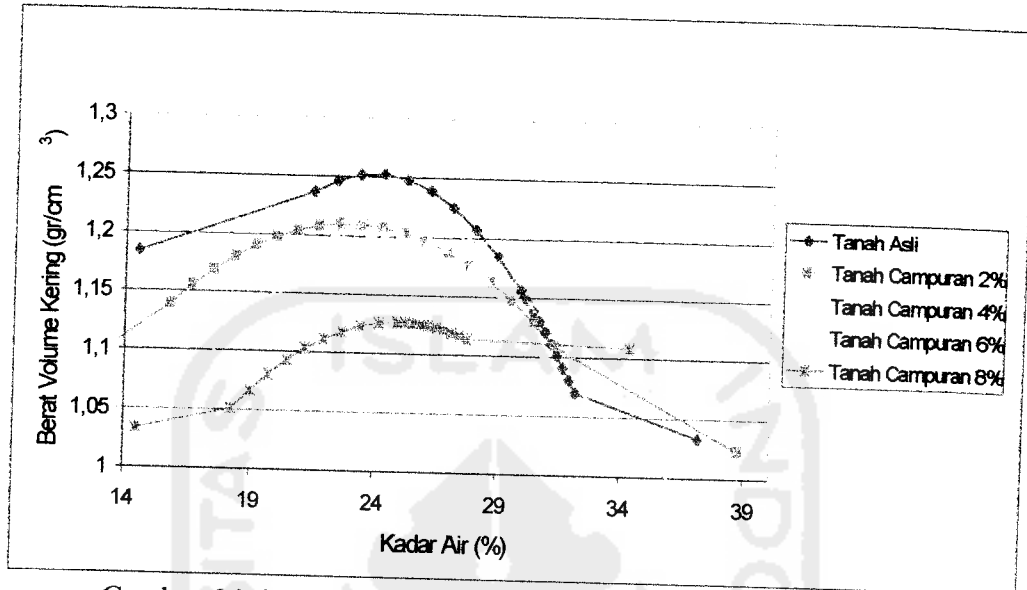
kekuatan dan daya tahan dan dapat menurunkan daya serap terhadap air. Menurut hasil pemeriksaan BTKL DIY, *sludge* memiliki kandungan kalsium (Ca) sebesar 140.000 mg/kg dan kalsium karbonat (  $\text{CaCO}_3$  ) sebesar 400.000 mg/kg. Dua unsur tersebut merupakan unsur yang terdapat dalam kapur.

Untuk tanah yang dicampur dengan zeolit kadar air optimum dan berat volume kering maksimum dicapai pada kadar zeolit 8 % ( Gambar 6.3 ), semakin banyak kadar zeolit yang ditambahkan pada tanah maka akan semakin meningkatkan nilai kadar air optimumnya.

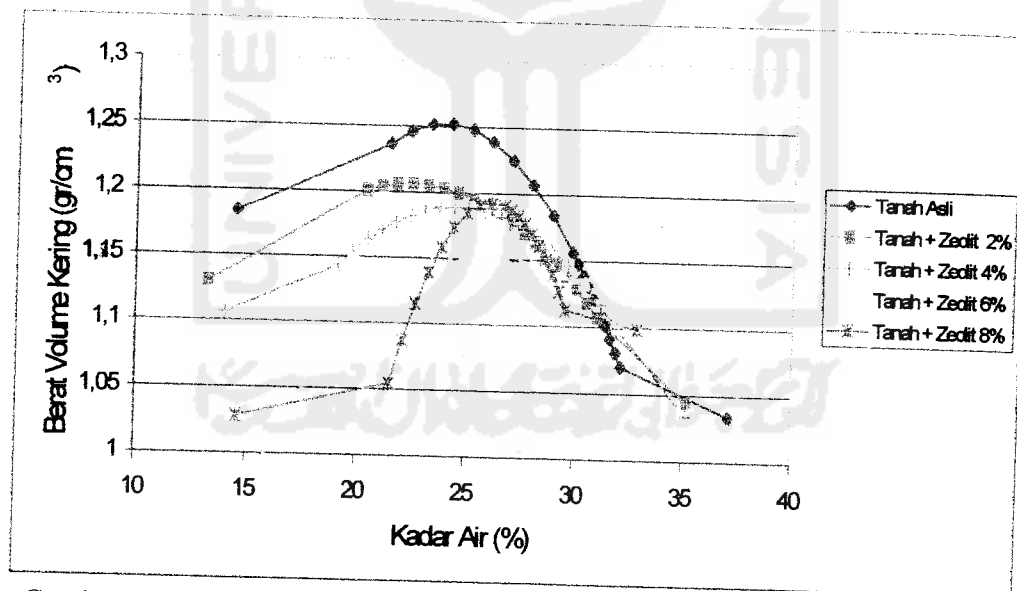
Jika dilihat dari beberapa sifat yang dimiliki zeolit yaitu mineral zeolit berkristal sangat halus dan sangat ringan sehingga saat terjadi stabilisasi kimiawi terjadi proses kimia yang dapat merubah struktur tanah dengan cara membentuk agregat yang lebih halus. Sedangkan pori-pori yang terdapat di dalam struktur kristal zeolit diisi oleh molekul air. Struktur kristal zeolit mempunyai sifat hidrofilik serta memperlihatkan sifat afinitas yang sangat kuat terhadap molekul air. Dengan demikian semua aplikasi adsorpsi ( penyerapan ) dan reaksi - reaksi lainnya memerlukan proses dehidrasi terlebih dahulu untuk mencapai kondisi bebas air. Pada penelitian ini zeolit yang digunakan adalah zeolit murni yang belum diaktifasi.

Dari hasil penelitian terhadap tiga material stabilisator didapat nilai berat volume kering yang semakin menurun jika dibandingkan dengan berat volume kering tanah asli ( lihat Tabel 6.2 ) jika diamati pada Tabel 6.1 dapat diketahui bahwa material tanah asli dan material stabilisator berbeda berat jenisnya. Material stabilisator berat jenisnya lebih kecil dibandingkan tanah asli.

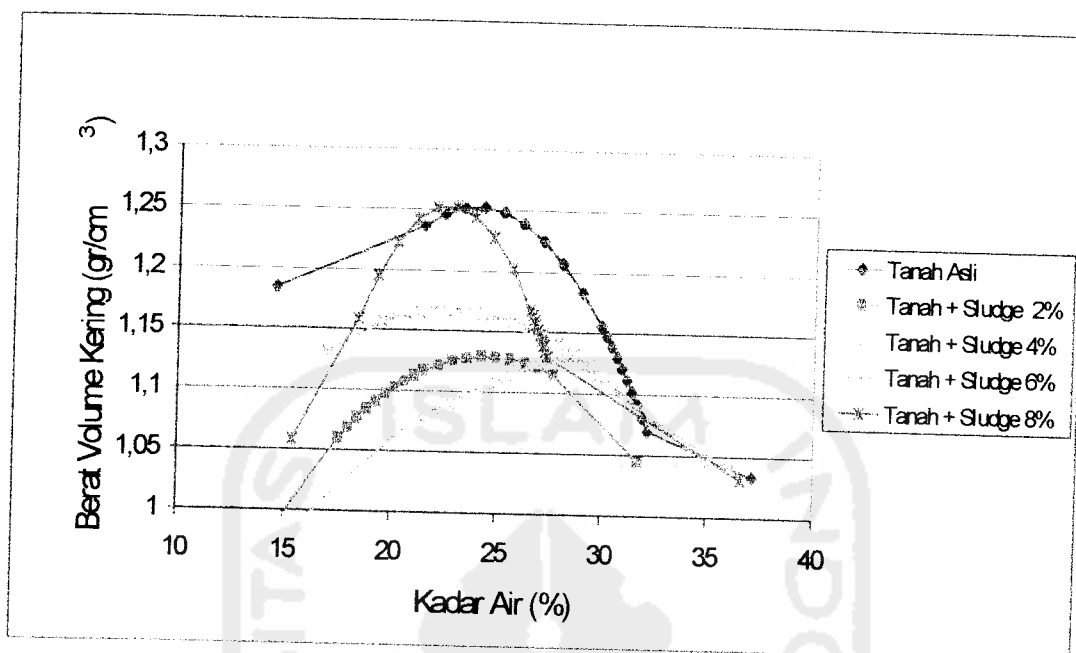
Pencampuran material stabilisator akan mereduksi berat jenis atau berat isi kering tanah, karena dengan mekanisme ini ruang yang ditempati butiran tanah akan diganti oleh partikel stabilisator yang mempunyai bobot massa yg lebih ringan.



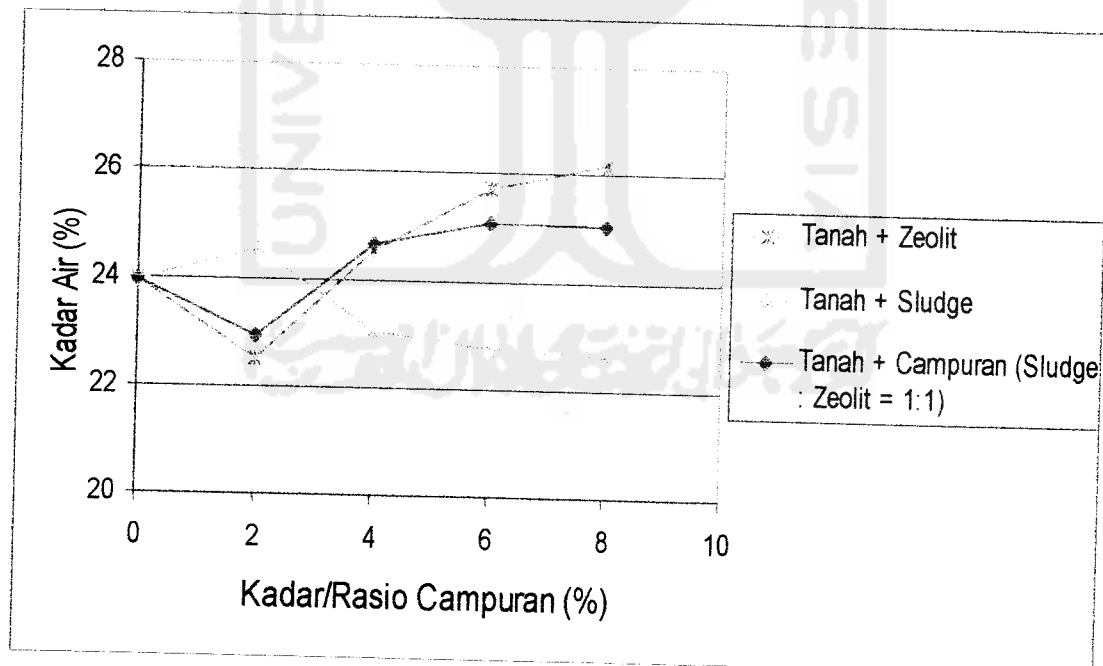
Gambar 6.1 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air Tanah untuk Tanah + Campuran (*Sludge* : Zeolit = 1 : 1)



Gambar 6.2 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air Tanah untuk Campuran Tanah + Zeolit

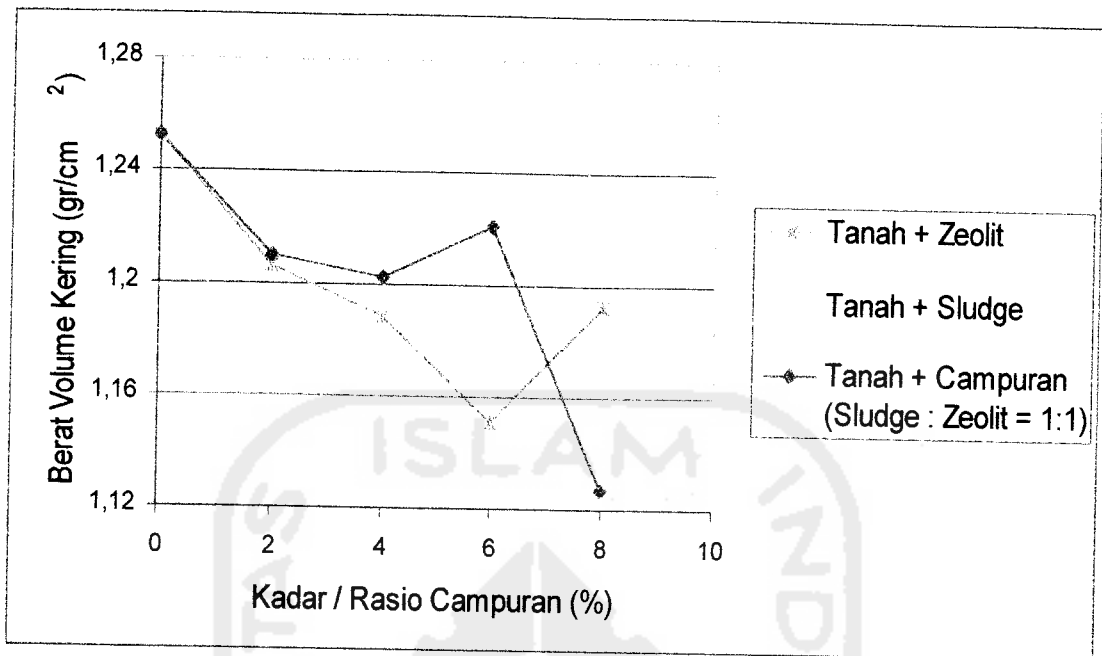


Gambar 6.3 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar Air Tanah untuk Campuran Tanah + Sludge



Gambar 6.4 Grafik Hubungan Kadar Air Tanah dengan Kadar/Rasio Campuran





Gambar 6.5 Grafik Hubungan Berat Volume Kering dengan Kadar/Rasio Campuran

#### 6.7.2.2 Pengujian CBR

Pada pembahasan pengujian CBR dibagi menjadi dua bagian yaitu CBR tanpa rendaman dan CBR rendaman.

##### a. Pengujian CBR rendaman

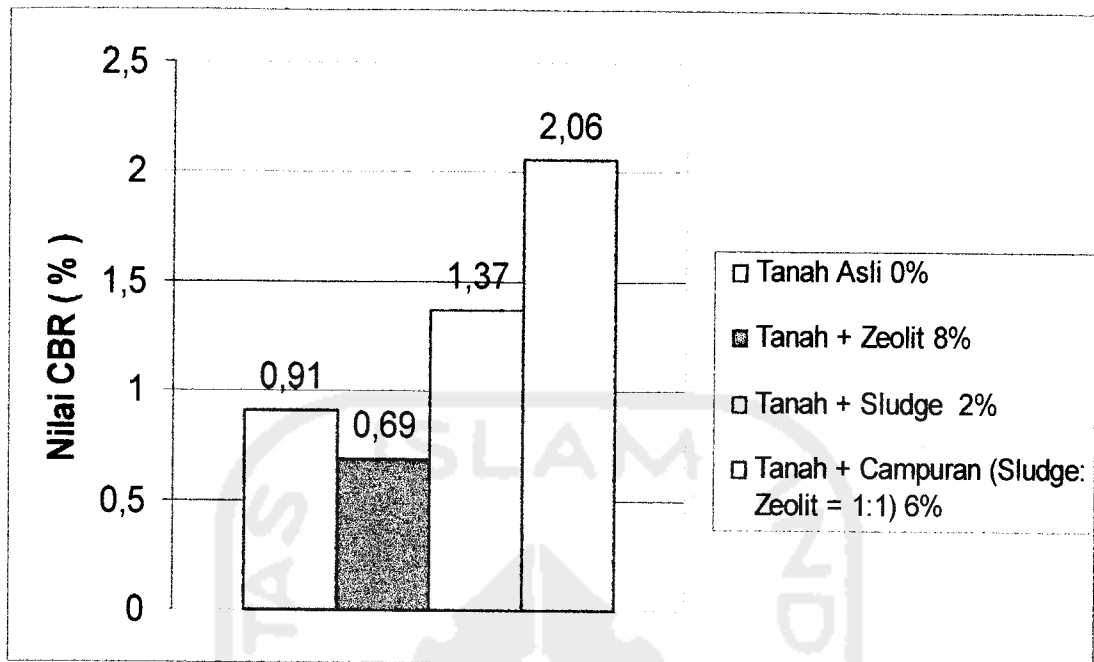
Pengujian CBR rendaman berguna untuk mendapatkan besarnya nilai CBR asli dilapangan pada keadaan jenuh air, dan tanah mengalami pengembangan yang maksimum, yang berarti bahwa tanah dan cetakan direndam di dalam air selama 4 hari sebelum pemeriksaan kekuatan dilakukan.

Nilai CBR adalah ketahanan tanah dibagi dengan ketahanan tanah berbutir yang dinyatakan dalam persen.

Pada pengujian CBR dengan rendaman 4 hari pada umumnya mengalami kenaikan. Untuk tanah lempung tanpa campuran nilai CBR mencapai 0,91 % ( lihat Lampiran 7 ) setelah ditambahkan campuran ( *sludge* + zeolit ) 6 % nilai CBR menjadi 2,06 %.

Nilai CBR rendaman untuk tanah + *sludge* 2% adalah 1,37 % dan nilai CBR rendaman untuk tanah + zeolit 8% adalah 0,69 %. Pada Gambar 6.6 dapat dilihat bahwa tanah yang dicampur dengan *sludge* + zeolit 8% memiliki ketahanan tanah yang lebih besar dibandingkan dengan tanah + *sludge* 2% dan tanah + zeolit 8%. CBR tanah + zeolit 8% nilainya mengalami penurunan. Hal ini dapat disebabkan oleh jenis tanahnya, karena untuk menentukan nilai CBR yang baik sangat tergantung pada jenis tanah dan tingkat pemadatan yang optimal.

Struktur kristal zeolit sangat mudah diisi oleh air, karena mempunyai sifat hidrofilik dan sifat afinitas yang sangat kuat terhadap molekul air sehingga air antara partikel-partikel tanah menahan pemadatan dengan demikian kekuatan/ketahanan tanah menjadi kecil. Sedangkan *sludge* mengandung kapur yang jika bereaksi dengan komponen-komponen tanah akan terjadi proses koagulasi, agregetasi dan flokulasi yaitu struktur mineral lempung akan saling berhubungan yang dapat menyebabkan bertambahnya kekuatan/ketahanan tanah.



Gambar 6.6 Grafik Nilai CBR Redaman 4 Hari Gabungan

#### b. Pengujian CBR Tanpa Rendaman

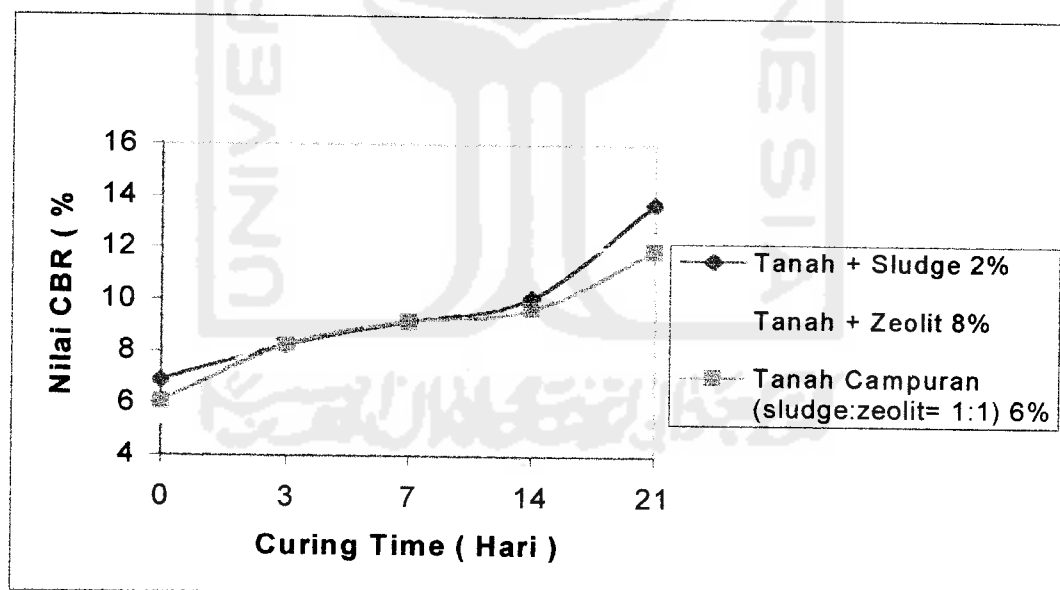
Harga CBR adalah nilai yang menyatakan kualitas tanah dasar dibandingkan dengan bahan standar berupa batu pecah yang mempunyai nilai CBR sebesar 100 % dalam memikul beban lalu-lintas.

Pada pengujian CBR tanah asli ( campuran 0 % ) tidak dilakukan pemeraman melainkan langsung dilakukan pengujian pada saat itu juga ( 0 hari pemeraman ). Nilai CBR tanah asli didapat 4,11 %. ( lihat Lampiran 6 dan Tabel 6.2 ).

Pada Gambar 6.7 dapat dilihat nilai CBR tanah yang distabilisasi dengan masa pemeraman 0, 3, 7, 14 dan 21 hari.

Pada umumnya nilai CBR mengalami peningkatan seiring dengan lamanya pemeraman. Semakin lama waktu pemeraman nilai CBR juga semakin meningkat. Nilai CBR tertinggi dicapai pada 21 hari sebesar 11,88% untuk tanah campuran 6% ( *sludge* + zeolit ), 13,71 % untuk tanah + *sludge* 2%, dan 12,34 % untuk tanah + zeolit 8%.

Nilai CBR semakin meningkat seiring dengan lama pemeraman yang meningkat disebabkan oleh ikatan antar butiran tanah dengan campuran ( *sludge* + zeolit ) menjadi semakin kuat. Disamping itu pemeraman/*curing time* akan mengakibatkan kekuatan tanah akan merata disetiap zona sehingga dapat menahan beban yang lebih besar.



Gambar 6.7 Grafik Hubungan Nilai CBR dengan *Curing Time*

### 6.7.2.3 Uji *Swelling* ( Pengembangan )

Pada pengujian kembang susut, terlihat bahwa tanah yang dicampur dengan *sludge* ( limbah ) 2% dan tanah yang dicampur dengan ( *sludge* + zeolit ) 6% dapat memperkecil pengembangan.

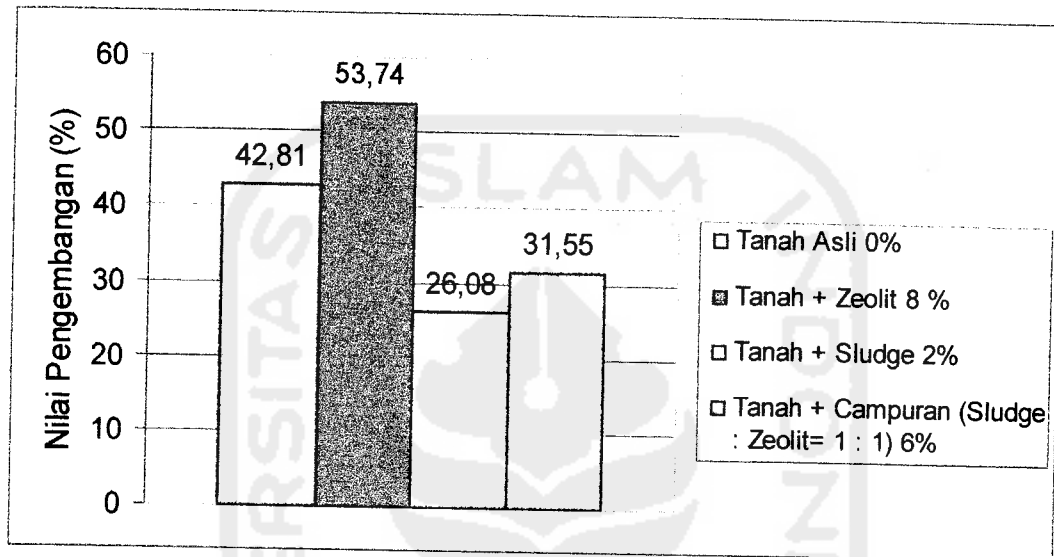
Dari Gambar 6.8, dapat dilihat perbedaan pengembangan antara tanah lempung dengan tanah lempung yang distabilisasi. Pada gambar tersebut tanah yang dicampur dengan zeolit 8% nilai pengembangannya sangat tinggi melebihi tanah aslinya, hal ini disebabkan Indeks Plastisitas tanah + zeolit 8% ( 35,37 % ) lebih besar dari Indeks Plastisitas tanah asli.( 18,74 ).

Tingkat *swelling* sangat dipengaruhi oleh kandungan air dan kepadatan tanah. Besaran plastisitas menunjukkan bahwa semakin besar nilai indeks plastisitasnya, maka akan semakin besar terjadinya pengembangan pada waktu tanah menjadi basah. Zeolit merupakan mineral yang sangat halus dan sangat ringan disamping struktur kristalnya yang sangat mudah untuk menyerap air. Hal ini yang menyebabkan yang menyebabkan indeks plastisitas zeolit meningkat dibandingkan tanah asli. Diperlukan proses dehidrasi dulu terhadap zeolit untuk mencapai kondisi bebas air.

Pada tanah stabilisasi yang mempunyai campuran menggunakan *sludge* akan menurunkan nilai indeks plastisitas dan menurunkan nilai *swelling* dari tanah asli, sebaliknya tanah yang distabilisasi dengan zeolit akan memperbesar IP dan memperbesar nilai *swelling* dari tanah asli.

Hal ini terjadi karena *sludge* memiliki unsur Ca dan  $\text{CaCO}_3$  yaitu unsur penyusun kapur. Reaksi *sludge* dengan komponen-komponen tanah akan membentuk

bahan kimia baru yang menyebabkan pertukaran kation yang berdekatan, pengelompokan dan penggumpalan tanah sehingga dihasilkan modifikasi lapisan tanah lempung. Reaksi tersebut dapat mereduksi plastisitas dan mengurangi sifat pengembangan.



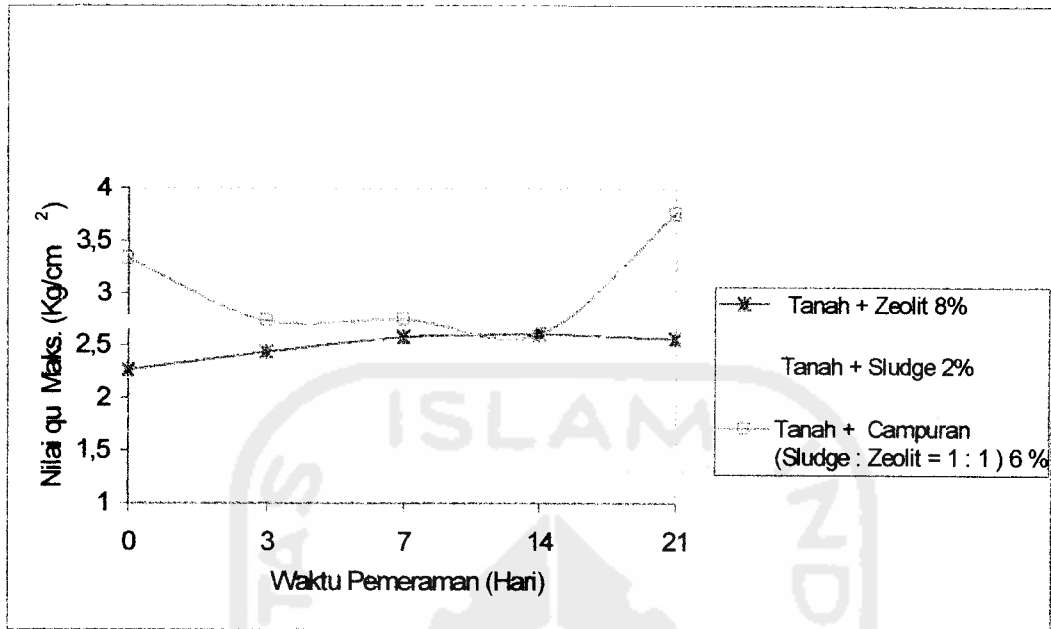
Gambar 6.8 Grafik Nilai Pengembangan Gabungan

#### 6.7.2.4 Pengujian Tekan Bebas

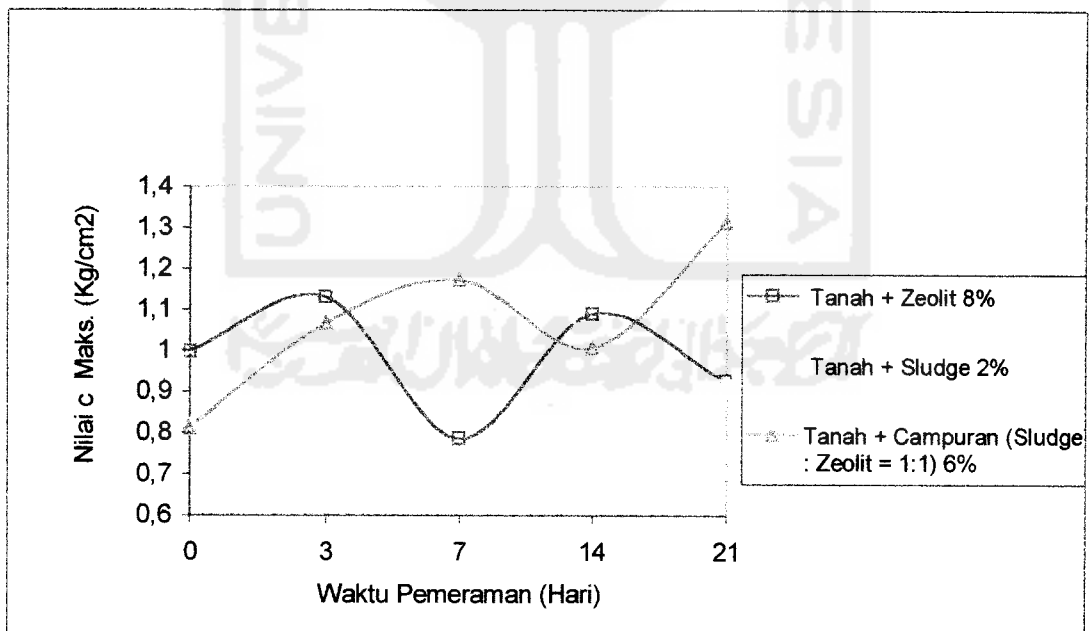
Pengujian tekan bebas ini dipakai sebagai pengujian pendukung pada pengujian CBR. Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan besarnya kekuatan tekan bebas contoh tanah dan batuan yang bersifat kohesif dalam keadaan asli maupun buatan (*remoulded*). Yang dimaksud kekuatan tekan bebas ialah besarnya beban aksial persatuan luas pada saat benda uji mengalami keruntuhan atau pada sifat regangan aksialnya mencapai 20 %.

Pada pengujian tekan bebas ini untuk setiap variasi masa pemeraman dibagi menjadi dua sampel. Dari hasil yang dapat dilihat pada Tabel 6.6 dapat disimpulkan bahwa dengan penambahan stabilisator ( *sludge* 2%, zeolit 8% dan *sludge* + zeolit 6% ) dapat meningkatkan tegangan (  $q_u$  ) dan nilai  $c$ .

Dari Gambar 6.9 dan Gambar 6.10 dapat dilihat bahwa nilai  $q_u$  berpengaruh pada nilai kohesi (  $c$  ). Dapat dilihat bahwa kenaikan tegangan (  $q_u$  ) diikuti oleh kenaikan  $c$  ( kohesi ), hal ini terjadi karena dengan adanya penambahan kadar optimum, stabilisator gesekan antar butiran tanah lebih kuat ikatannya. Secara umum nilai tegangan (  $q_u$  ) dan nilai  $c$  ( kohesi ) untuk tanah dengan penambahan bahan stabilisator lebih tinggi nilainya dibandingkan dengan tanah lempung tanpa stabilisator. Hal ini disebabkan karena unsur kapur terdapat di dalam *sludge* dan zeolit. Unsur kapur ini jika dicampur ke dalam tanah lempung dapat meningkatkan kekuatan tanah dan dapat menurunkan daya serap terhadap air dengan cara mengikat molekul air.



Gambar 6.9 Grafik Hubungan Nilai qu dengan Waktu Pemeraman



Gambar 6. 10 Grafik Hubungan Nilai c Maksimum dengan Waktu Pemeraman



Dari hasil penelitian secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa tanah lempung yang digunakan pada penelitian ini dapat distabilisasi dengan campuran *sludge* + zeolit dan *sludge* dengan pemadatan yang dilakukan dengan benar.

### 6.8 Analisis Lingkungan

Hasil akhir pengolahan tekstil ( limbah ), diproses untuk dinetralsir agar aman untuk dibuang. Hasil proses netralisir tersebut berbentuk lumpur yang kemudian dikeringkan, menghasilkan limbah padat ( *sludge* ) berbentuk halus. Lumpur ini merupakan endapan dari proses pengolahan limbah, sehingga dalam lumpur ini terkumpul bahan-bahan tercemar yang sangat berbahaya, sehingga sebagai limbah B3 ( Bahan Berbahaya dan Beracun) yang tidak boleh dibuang begitu saja tanpa pengolahan. Lumpur tersebut banyak mengandung *Cromium* (Cr), *Cadmiun* (Cd) dan *Lead* (Pb).

Banyak cara pengelohan limbah tersebut, salah satunya teknologi fitrifikasi. Metode ini menggunakan prinsip pengikatan ion-ion logam yang ada pada lumpur. Adapun bahan tambah yang dipergunakan pada penelitian ini dipilih zeolit alam lokal. Penggunaan zeolit ini didasarkan pada bahan tersebut memiliki sifat mampu menjerat unsur-unsur logam berat seperti Cr, Cd dan Pb, karena mengandung  $\text{SiO}_2$  dan  $\text{Al}_2\text{O}_3$  yang cukup tinggi.

Untuk itu, pada penelitian ini dilakukan pengujian untuk mengetahui unsur-unsur logam berat yang terkandung dalam campuran tanah + *sludge* dan tanah + *sludge* + zeolit di Laboratorium Kimia Analitik BATAN Yogyakarta. Kemudian akan dibandingkan dengan standar baku mutu logam berat keramik standar

( Tabel 6.8 ) dalam bentuk padatan. Adapun hasil dari pengujian tersebut adalah seperti Tabel 6.7 berikut:

Tabel 6.7 Hasil Pengujian Parameter Limbah B3

NAMA CONTOH	KODE	LABEL	PARAMETER	SATUAN	HASIL UJI	METODE UJI
Tanah Limbah 2%	146/P/KA	TL	Pb	Ppm	58,83 ± 2,16	F-AAS
			Cd	Ppm	2,23 ± 0,04	F-AAS
			Cr	Ppm	44,55 ± 1,87	F-AAS
Tanah Campuran (sludge 3% + zeolit 3%)	146/P/KA	TC	Pb	Ppm	49,52 ± 1,22	F-AAS
			Cd	Ppm	2,15 ± 0,05	F-AAS
			Cr	Ppm	49,45 ± 1,55	F-AAS

Tabel 6.8 Komposisi Logam Berat dalam Keramik Standar

NAMA CONTOH	PARAMETER	SATUAN	BATAS DARI ASTM	BATAS DARI EN 71
Keramik Teraso	Lead (Pb)	ppm	90	90
	Cadmium (Cd)	ppm	79	75
	Chromium (Cr)	ppm	60	60
	Mercury (Hg)	ppm	60	60

Sumber: P3TM BATAN Jogjakarta

Dalam Tabel 6.7 dan Tabel 6.8 dapat disimpulkan bahwa logam-logam berat (Cr, Pb dan Cd) yang terkandung dalam campuran tanah + *sludge* dan campuran tanah + *sludge* + zeolit lebih kecil daripada komposisi logam dalam keramik standar (ASTM dan EN 71), sehingga kedua campuran ini aman digunakan sebagai bahan stabilisasi.