

**PEMANFAATAN LIMBAH BETON SEBAGAI BAHAN STABILISASI TANAH  
EKSPANSIF TERHADAP NILAI KUAT TEKAN BEBAS GUNA PERKUATAN  
JALAN LINGKUNGAN DI KAMPUNG SOTA DISTRIK SOTA PERBATASAN  
REPUBLIK INDONESIA-PAPUA NEW GIINEA**

Hairulla, Jeni Paresa, Theresia Widi Asih Cahyanti

[hasanhairulla@yahoo.co.id](mailto:hasanhairulla@yahoo.co.id) ; [kirana\\_firsty@yahoo.com](mailto:kirana_firsty@yahoo.com) ; [tasihwidi@gmail.com](mailto:tasihwidi@gmail.com)

**Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik  
Universitas Musamus**

**ABSTRAK**

Jalan merupakan kebutuhan hidup hajat orang banyak, perkerasan jalan merupakan sistem yang memiliki jangka waktu dimana sering kali kerusakan terjadi sebelum umur rencana. Umumnya kerusakan tanah dasar diliputi oleh tanah lempung dengan pengembangan yang cukup besar (plastisitas tinggi), yaitu akan berubah volumenya (mengembang) bila bertambah kadar airnya. Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang yang besar. ASTM memberi batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan No. 200. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral pembentuknya. Mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting, yaitu; montmorillonite, illite dan kaolinite. Mineral montmorillonite mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang. Beton merupakan bahan bangunan yang dihasilkan dari campuran semen, pasir, kerikil, dan air. Semen merupakan bubuk halus yang bila dicampur dengan air akan menjadi ikatan yang akan mengeras, karena terjadi reaksi kimia sehingga membentuk suatu massa yang kuat dan keras yang disebut hydraulic cement. Nilai UCS / kuat tekan bebas mengalami peningkatan sebesar 85,18% berdasarkan dengan bertambahnya kadar limbah beton yang digunakan sebagai bahan stabilisasi. Nilai UCS tertinggi diperoleh pada penambahan 40% limbah beton. Peningkatan nilai UCS tanah ekspansif yang terstabilisasi dengan limbah beton sangat dipengaruhi oleh lamanya masa curing (perawatan/pemeraman) yang diberikan. Nilai UCS tertinggi diperoleh pada masa curing 28 hari dengan kadar limbah beton 40%. Nilai Modulus Elastisitas dari hasil pengujian kuat tekan juga mengalami peningkatan sesuai dengan perbaikan nilai  $q_u$  pada tanah lempung ekspansif yang terstabilisasi dengan limbah beton.

Kata kunci: Lempung Ekspansif, Limbah Beton, Kuat Tekan Bebas, Merauke.

**PENDAHULUAN**

Perkerasan jalan merupakan sistem yang memiliki jangka waktu, dimana

sering kali kerusakan terjadi sebelum umur rencana. Kerusakan yang terjadi sangat beragam, salah satunya diakibatkan oleh

kerusakan lapisan tanah dasar. Umumnya kerusakan tanah dasar diliputi oleh tanah lempung dengan pengembangan yang cukup besar (plastisitas tinggi), yaitu akan berubah volumenya (mengembang) bila bertambah kadar airnya. Volume akan membesar dalam kondisi basah dan akan menyusut bila dalam kondisi kering. Hingga sifat inilah yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi-konstruksi bangunan, terutama pada bagian pondasi konstruksi bangunan yang menghubungkan bangunan dengan tanah.

Tanah dasar yang plastisitasnya tinggi, dengan kapasitas dukung terhadap beban yang rendah merupakan permasalahan pada pengembangan konstruksi jalan raya. Kondisi ini sangat berpengaruh terhadap batas-batas konsistensi dan nilai kuat tekan tanah. Perubahan bentuk tanah dasar akibat pembebanan, kembang susut akibat perubahan kadar air menyebabkan volume tanah dasar berubah dan akan membawa dampak pada lapisan perkerasan yang ada di atasnya. Apabila tanah dasar merupakan lempung (*clay*) yang memiliki daya dukung rendah, akan menyebabkan ketidakstabilan pada perkerasan. Oleh karena itu diperlukan perbaikan pada tanah tersebut sebelum dilakukan pekerjaan lapisan berikutnya.

Usaha-usaha untuk memperbaiki sifat pada tanah lempung ekspansif dilakukan dengan metode stabilisasi tanah. Stabilisasi tanah dapat dilakukan dengan menambahkan suatu bahan tambah tertentu pada tanah yang kurang baik. Beberapa bahan campuran yang sudah cukup banyak digunakan meliputi kapur, semen portland, abu sekam, ampas tebu, abu terbang dan pasir. Adapun salah satu alternatif bahan stabilisasi adalah limbah laboratorium yang belum termanfaatkan secara optimal yaitu limbah benda uji beton, maka pada pengujian ini dicoba untuk menggunakan limbah beton tersebut sebagai bahan pencampur untuk menstabilkan tanah lempung ekspansif yang diharapkan mampu meningkatkan mutu tanah tersebut sehingga dapat memberikan alternatif pemecahan yang efisien dan ekonomis.

Tanah lempung ekspansif adalah tanah yang mempunyai potensi kembang yang besar. ASTM memberi batasan bahwa secara fisik ukuran lempung adalah lolos saringan No. 200. Untuk menentukan jenis lempung tidak cukup hanya dilihat dari ukuran butirannya saja tetapi perlu diketahui mineral pembentuknya. Menurut Chen (1975), mineral lempung terdiri dari tiga komponen penting, yaitu; *montmorillonite*, *illite* dan *kaolinite*. Mineral *montmorillonite* mempunyai luas permukaan lebih besar dan sangat mudah

menyerap air dalam jumlah banyak bila dibandingkan dengan mineral lainnya, sehingga tanah yang mempunyai kepekaan terhadap pengaruh air ini sangat mudah mengembang.

Ada beberapa cara untuk mengetahui apakah tanah tersebut termasuk kategori tanah ekspansif dan seberapa besar potensial pengembangannya. Menurut Chen (1975) salah satu metode yang digunakan adalah metode indeks tunggal.

### LANDASAN TEORI

#### a. Pengujian terhadap batas atterberg

Indeks plastisitas dan batas cair dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Adanya korelasi yang baik untuk menunjukkan sifat tanah ekspansif berdasarkan dari persentase tanah lempung, batas cair dan tahanan penurunan dilapangan seperti yang terlihat pada tabel 1 dan 2.

Tabel 1. Tingkat pengembangan berdasarkan % lolos saringan No.200 (Chen, 1975)

Data Laboratorium		% Total Perubahan Volume	Tingkat Pengembangan
% Lolos No.200	% Batas Cair		
> 95	> 60	> 10	SangatTinggi
60 – 95	40 – 60	3 – 10	Tinggi
30 – 60	30 – 40	1 – 5	Sedang
< 30	< 30	< 1	Rendah

Tabel.2. Hubungan indeks plastisitas dengan tingkat pengembangan

IndeksPlastisitas	Batas Susut	% Perubahan Volume	Tingkat Pengembangan
> 35	< 11	< 30	SangatTinggi
25 – 41	7 – 12	20 – 30	Tinggi
15 – 28	10 – 16	10 – 20	Sedang
< 18	> 15	> 10	Rendah

Harga-harga batas untuk berbagai mineral lempung diberikan pada tabel 3

Tabel.3. Batas-batas Atterberg Mineral Lempung

Mineral	Batas Cair (LL) (%)	Batas Plastis (PL) (%)	Batas Susut (SL) (%)
Montmorillonite	100 –	50 –	8,5 –
Illite	900	100	15,0
Kaolinite	60 –	35 –	15,0
Halloysite	120	60	–
Cholorite	30 –	25 –	17,0
	110	40	25,0
	35 –	30 –	–
	85	45	29,0
	44 –	36 –	
	47	40	

b. Tingkat keaktifan (*activity*)

Batas atterberg dan fraksi lempung dapat dikombinasikan menjadi satu parameter yang dinamakan tingkat keaktifan (*activity*). Pada umumnya, tanah dengan indeks platisitas (IP) kurang dari 15% tidak akan memperlihatkan perilaku pengembangan. Untuk tanah dengan IP lebih besar dari 15%, kadar lempung dan batas atterbergnya harus diuji (Pd T-10-2005 B). Untuk tanah yang dipadatkan dengan pemadatan standar pada kadar air optimum, tingkat keaktifannya ditentukan berdasarkan persamaan berikut:

$$A_c = \frac{IP}{CF - 10}$$

Dimana :

$A_c$  : tingkat keaktifan

IP : indeks platisitas (%)

CF: persentase fraksi lempung berdiameter kurang dari 0,002 mm (%)

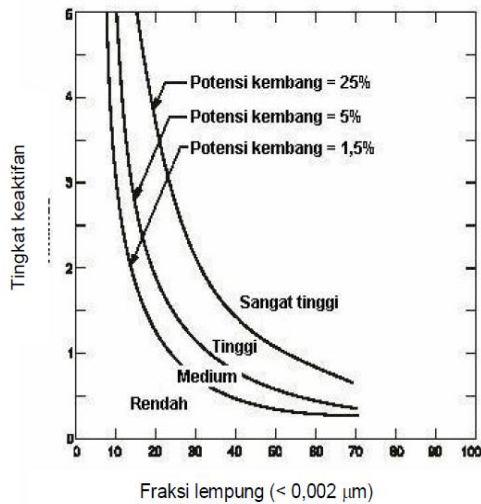
10 : konstanta

Jika dikorelasikan dengan potensi pengembangan, maka tanah lempung dibagi menjadi tiga kelas berdasarkan tingkat keaktifannya, seperti yang diperlihatkan pada tabel.4.

Tabel.4. Korelasi tingkat keaktifan dengan potensi pengembangan (Skempton, 1953)

Tingkat Keaktifan	Potensi Pengembangan
< 0,75	Tidak Aktif
0,75 – 1,25	Normal
> 1,25	Aktif

Hasil perhitungan tingkat keaktifan dengan persamaan 1 dikaitkan dengan persentase fraksi lempungnya, kemudian diplot ke dalam grafik pada gambar 1 untuk memperoleh besarnya tingkat potensi mengembang tanah yang dipadatkan.



Gambar.1. Klasifikasi potensi kembang (Seed, 1962)

Mineral lempung merupakan faktor utama yang mengontrol perilaku tanah ekspansif. Tabel 5 memperlihatkan hubungan antara jenis mineral dengan tingkat keaktifan. Dari tabel tersebut terlihat bahwa apabila suatu lempung memiliki kandungan mineral *monmorilonite* maka tanah tersebut merupakan tanah ekspansif.

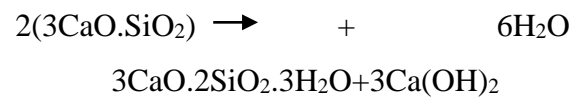
Tabel.5. Hubungan antara jenis mineral dengan tingkat keaktifan (Skempton, 1953)

Mineral	Keaktifan
Kaolinite	0,33-0,46
Illite	0,90
Montmorilonite (Ca)	1,5
Montmorilonite (Na)	7,2

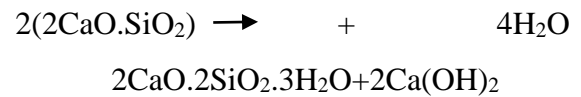
Beton merupakan bahan bangunan yang dihasilkan dari campuran semen, pasir, kerikil, dan air. Semen merupakan

bubuk halus yang bila di campur dengan air akan menjadi ikatan yang akan mengeras, karena terjadi reaksi kimia sehingga memento suatu massa yang kuat dan keras yang disebut *hydraulic cement*.

Kandungan yang terkandung dalam beton terbentuk dari proses hidrasi antara semen dan air.



Trikalsium Silikat Kapur Bebas



Dikalsium Silikat KapurBebas Maka pada beton yang sudah tidak terpakai (limbah beton) kemungkinan mempunyai kandungan kapur bebas ( $Ca(OH)_2$ ) dan pada limbah beton yang digunakan mengandung kapur bebas sebanyak 15,56% per kilogram beratnya.

Kandungan yang terdapat pada limbah beton inilah yang diharapkan dapat bereaksi dengan kandungan yang terdapat pada tanah lempung ekspansif ( $SiO_2$  ,  $Al_2O_3$  ,  $Fe_2O_3$ ).

## METODOLOGI PENELITIAN

Tanah yang digunakan sebagai bahan penelitian berasal dari daerah Sudiang batas Kota Makassar dan Kabupaten Maros, sedangkan bahan stabilisasi diperoleh dari limbah beton

Laboratorium Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

1. Tanah yang digunakan dalam penelitian ini merupakan tanah ekspansif terganggu (*disturbed*) dalam kondisi SSD, kemudian disaring dengan menggunakan saringan no. 40;
2. Dalam penelitian ini bahan stabilisasi yang digunakan adalah limbah beton yang lolos saringan no. 40.

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik tanah yang akan digunakan, dan untuk memperoleh jenis tanah yang digunakan. Pengujian yang akan dilakukan antara lain:

1. Kadar air
2. Berat Jenis Spesifik (Gs)
3. Batas – Batas Atterberg
  - a. Batas Susut
  - b. Batas Plastis
  - c. Batas Cair
4. Analisis ukuran butir tanah
  - a. Analisa Saringan
  - b. Hidrometer

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan berat isi tanah dengan memadatkan di dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm. Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada SNI 03-1742-1989. Alat yang digunakan adalah saringan no.4, silinder pemadat dengan

diameter 10,150 cm dan tinggi 11,675 cm, penumbuk standar, alat untuk mengeluarkan contoh tanah (*Extruder*), pisau perata dan timbangan.

Cara pengujian kompaksi yang mengacu pada SNI 03-1742-1989 adalah sebagai berikut:

- a. Siapkan benda uji sebanyak lima sampel masing – masing beratnya 2,5 kg
- b. Berikan penambahan air diatur sehingga di dapat benda uji sebagai berikut:
  - 2 contoh dengan kadar air kira – kira di bawah optimum
  - 2 contoh dengan kadar air kira – kira di atas optimum
  - 1 contoh dengan kadar air kira – kira mencapai optimum
- c. Kemudian masukkan ke dalam kantong plastik dan simpan selama 24 jam (lempung) sesuai dengan jenis tanahnya.
- d. Timbang kosong cetakan alat uji kompaksi, kemudian pasang cetakan, leher dan keping alas menjadi satu
- e. Ambil bahan yang telah disimpan dan dipadatkan di dalam cetakan. Pemadatan dilakukan dengan alat penumbuk seberat 2,5 kg dengan tinggi jatuh 304,8 mm. Tanah dipadatkan dalam tiga lapisan, masing – masing

- lapisan dipadatkan dengan 25 tumbukan.
- f. Potong kelebihan tanah di bagian keliling leher, dengan pisau pemotong dan lepaskan leher sambung.
  - g. Ratakan tanah dengan pisau perata sehingga betul-betul rata dengan permukaan cetakan
  - h. Timbang cetakan berisi benda uji, kemudian potong sebagian kecil tanah yang berada di masing-masing permukaan sebanyak dua sampel dari masing-masing permukaan.
  - i. Masukkan sampel tersebut ke dalam oven dengan suhu diatur  $110^{\circ}$  C selama 24 jam dan tentukan kadar air optimumnya.

Dalam penelitian ini sampel uji terdiri dari masing-masing material asli dan campuran yang dibuat berdasarkan variasi limbah beton sebagai bahan adiktif yang jumlah penambahannya berdasarkan persentasi perbandingan berat butir limbah beton dengan lempung. Lama waktu pemeraman pada pengujian UCS/Kuat Tekan ditentukan yaitu 3, 7, 14 dan 28 hari.

Sampel uji yang akan dibuat untuk masing-masing kategori dapat dilihat pada Tabel 6 dan Tabel 7

Tabel.6. Sampel Pengujian Untuk Tanah Asli

No	Pengujian	Jumlah Benda Uji
1	Kadar Air	5 Sampel
2	Berat Jenis	3 Sampel
<b>Analisis Granuler :</b>		
3	Analisa Hidrometer	1 Sampel
4	Analisa Saringan	1 Sampel
<b>Batas-batas Konsistensi :</b>		
5	Batas Cair	4 Sampel
6	Batas Plastis	3 Sampel
7	Batas Susut	3 Sampel
<b>Kepadatan Tanah :</b>		
8	Standard Proctor	5 Sampel
9	UCS / Kuat Tekan	12 Sampel

Tabel 7. Sampel Pengujian Untuk Campuran Tanah Asli + Limbah Beton

Variasi campuran	Sampel Uji <i>Unconfined Compressive Strength</i>
100% Tanah asli + 0% Limbah Beton	12 sampel
90% Tanah Asli + 10 % Limbah Beton	12 sampel
80% Tanah Asli + 20 % Limbah Beton	12 sampel
70% Tanah Asli + 30 % Limbah Beton	12 sampel
60% Tanah Asli + 40 % Limbah Beton	12 sampel
<b>Total sampel uji</b>	<b>60 sampel</b>

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan UCS (*Unconfined Compressive Strength*) tanah. Metode pengujian ini meliputi pekerjaan pengujian untuk mendapatkan nilai kuat tekan benda uji campuran tanah dengan limbah beton yang dicetak dalam cetakan silinder setelah benda uji tersebut diperam. Kuat tekan adalah besarnya tekanan maksimum pada waktu pengujian kuat tekan sampai contoh benda uji mengalami keruntuhan. Pengujian ini mengacu pada SNI 03-6887-2002. Cara pengujian kuat tekan bebas adalah sebagai berikut:

- a. Keringkan contoh tanah, sampai mudah dipecahkan dengan tekanan sekop; pengeringan dapat dilakukan dengan udara atau dipanaskan tetapi tidak boleh lebih dari 60°C; dengan hati-hati pecahkan gumpalan tanah dengan cara yang tidak menyebabkan butir-butir aslinya pecah. Untuk limbah beton dihancurkan sampai halus.
- b. Saring contoh tanah dan limbah semen masing-masing lolos saringan no.40, dengan berat yang telah dihitung berdasarkan data dari percobaan kompaksi:
 
$$W_{\text{sampel}} = \gamma_{\text{dry}} \times V_{\text{mould}}$$
- c. Kemudian campur bahan tersebut dengan air menggunakan kadar air optimum yang diperoleh dari hasil kompaksi, kemudian simpan masing-masing selama 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 28 hari.
- d. Olesi tipis-tipis cetakan silinder/*mould* dengan oli dengan maksud agar benda uji yang akan dikeluarkan dari cetakan tidak mengalami gesekan dengan tabung.
- e. Cetak benda uji dengan cara memasukkan dari satu arah kemudian ditumbuk secara perlahan sampai penuh dan diratakan dengan spatula.
- f. Keluarkan sampel dari cetakan dengan menggunakan *extruder* dan usahakan sampel tidak berubah bentuk.



- g. Kemudian sampel siap diuji dengan menggunakan alat uji kuat tekan bebas. Kecepatan penekanan dengan menggunakan mesin 1%/ menit.
- h. Catat hasil pembacaan pada dial pembebanan pada tiap regangan 0,5% sampai sampel mengalami keruntuhan.
- i. Gambar pola keruntuhan yang terjadi kemudian sampel dimasukan ke dalam oven untuk mendapat kadar air sampel.

Kemudian hitung nilai modulus elastisitas dari kurva tegangan-regangan hasil percobaan kuat tekan. Pada pengujian *Unconfined Compressive Strenght* (UCS) ini distabilisasi dengan limbah beton, dimana material limbah beton ini mempunyai komposisi material yang bervariasi, yaitu:

- a. Tipe 1 : 100% tanah lempung + 0% limbah beton
- b. Tipe 2 : 90% tanah lempung + 10% limbah beton
- c. Tipe 3 : 80% tanah lempung + 20% limbah beton
- d. Tipe 4 : 70% tanah lempung + 30% limbah beton
- e. Tipe 5 : 60% tanah lempung + 40% limbah beton

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengujian karakteristik tanah dilakukan untuk mengklasifikasikan jenis

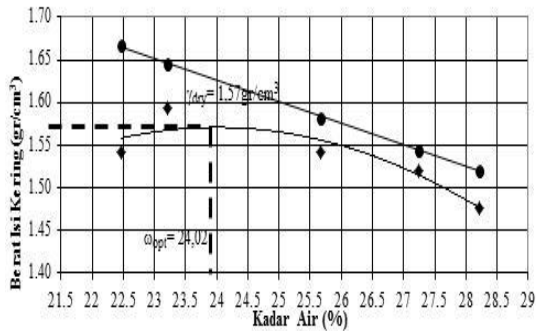
tanah yang digunakan pada penelitian (Tabel 8).

Tabel.8. Rekapitulasi hasil pemeriksaan karakteristik tanah

JenisPemeriksaan	HasilPemeriksaa n
1. Kadar Air	9,725%
2. BeratJenis	2,663
3. Batas – Batas Atterberg	61,54%
i. Batas Cair (LL)	24,36%
ii. Batas Plastis (PL)	10,95%
iii. Batas Susut (SL)	37,19%
iv. IndeksPlastisitas	23%
4. GradasiButiran	77%
i. Lempung	2,86 (Aktif)
ii. Lanau	
5. Tingkat Keaktifan (Ac)	CH A-7
6. Klasifikasi Tanah	
i. USCS	24,02%
ii. ASSHTO	1,57 gr/cm <sup>3</sup>
7. Pematatan	
i. W <sub>opt</sub>	
ii. □ <sub>d</sub> maks	

Pemeriksaan karakteristik mekanis diperlukan untuk mengetahui sifat tanah tersebut jika memperoleh pembeban. Adapun hasil pemeriksaan karakteristik mekanis tanah adalah sebagai berikut:

- i. Kepadatan maksimum ( $\rho_d$  maks) =  
1,57 gr/cm<sup>3</sup>
- ii. Kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) =  
24,02 %



Gambar.2. Grafik hubungan kadar air dengan berat isi kering

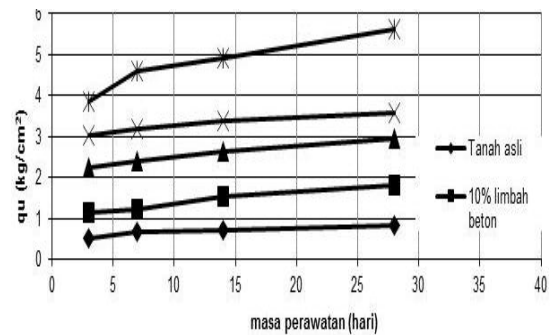
Tanah yang distabilisasi dengan menggunakan komposisi campuran limbah beton 10%, 20%, 30%, dan 40% pada kondisi kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) dan kepadatan maksimum ( $\rho_d$  maks) dari pengetesan dengan alat *Unconfined Compressive Strength* (UCS) diperoleh kekuatan tekan setelah mengalami masa pemeraman (*curing*) tertentu (Tabel.9 dan Tabel.10).

Tabel.9. Hasil pengujian UCS

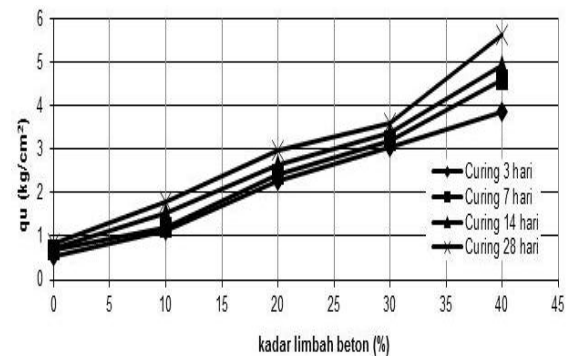
Kombinasi Campuran		qu (kg/cm <sup>2</sup> )											
Tanah	Limbah Beton	Pemeraman 3 Hari			Pemeraman 7 Hari			Pemeraman 14 Hari			Pemeraman 28 Hari		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
100	0	0,51	0,54	0,51	0,62	0,68	0,69	0,70	0,71	0,73	0,82	0,76	0,91
90	10	1,12	1,15	1,13	1,24	1,15	1,25	1,38	1,54	1,66	1,58	1,76	2,05
80	20	2,16	2,30	2,33	2,35	2,37	2,50	2,49	2,48	3,00	2,98	2,98	2,90
70	30	3,11	2,98	2,99	3,22	3,09	3,25	3,37	3,27	3,48	3,54	3,65	3,59
60	40	3,92	3,71	3,94	4,51	4,58	4,73	4,93	4,84	4,98	5,17	5,50	6,19

Tabel.10. Hasil pengujian UCS rata-rata

Kombinasi Campuran		qu (kg/cm <sup>2</sup> )			
Tanah	Limbah Beton	Pemeraman 3 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari	Pemeraman 28 Hari
		%	%	%	%
100	0	0,523	0,668	0,718	0,834
90	10	1,139	1,217	1,530	1,799
80	20	2,268	2,411	2,660	2,961
70	30	3,032	3,189	3,379	3,601
60	40	3,861	4,608	4,919	5,626



Gambar.3. Grafik hubungan masa perawatan dan nilai qu



Gambar.4. Grafik hubungan kadar limbah beton dan nilai qu

Berdasarkan gambar.3 dan gambar.4 kekuatan tanah semakin bertambah seiring dengan semakin besarnya campuran komposisi limbah beton pada range 10%

sampai 40% dan lamanya masa pemeraman (*curing*). Ini terlihat pada nilai UCS sebesar 0,523 kg/cm<sup>2</sup> atau 0,471 ton/ft<sup>2</sup> untuk kondisi 100% tanah asli selama pemeraman 3 hari dengan konsistensi lunak (Braja M. Das, 1993) menjadi 5,626 kg/cm<sup>2</sup> atau 5,063 ton/ft<sup>2</sup> pada kondisi komposisi 40% limbah beton selama pemeraman 28 hari dengan konsistensi keras. Peningkatan UCS ini dapat ditaksir dengan menggunakan rumus empiris yang diperoleh dari persamaan regresi linear sebagai berikut:

$$\hat{y} = 0,15125 + 0,10014 x_1 + 0,03024 x_2$$

Dimana:

$\hat{y}$  = nilai UCS (kg/cm<sup>2</sup>)

$x_1$  = komposisi limbah beton

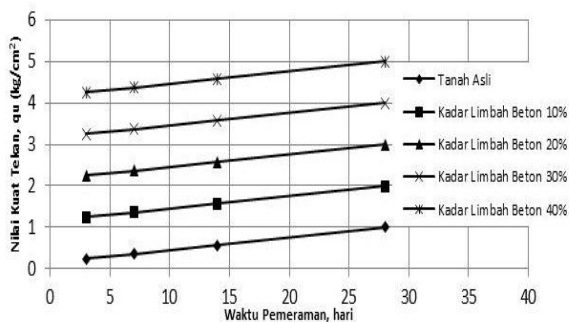
(%)

$$\{x_1 | 0 \leq x_1 \leq 40\}$$

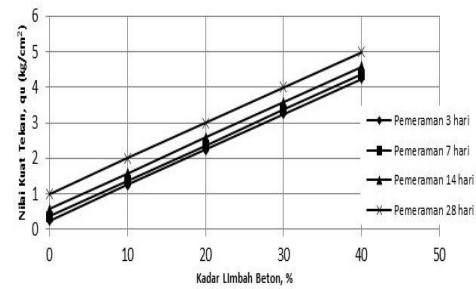
$x_2$  = masa pemeraman (hari)

$$\{x_2 | 3 \leq x_2 \leq 28\}$$

Berikut grafik dari persamaan regresi:



Gambar.5. Grafik regresi nilai qu vs masa pemeraman

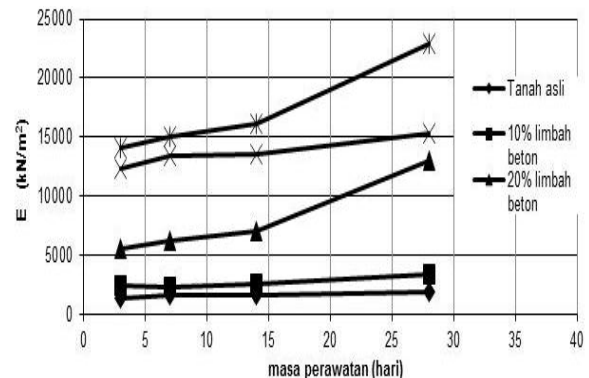


Gambar.6. Grafik regresi nilai qu vs kadar limbah beton

Tanah yang distabilisasi dengan menggunakan komposisi campuran limbah beton 10%, 20%, 30%, dan 40% pada kondisi kadar air optimum ( $W_{opt}$ ) dan kepadatan maksimum ( $\rho_d$  maks) dari grafik pengujian *Unconfined Compression Test* diperoleh hasil nilai Modulus Elastisitas seperti yang ditunjukkan pada tabel 11.

Tabel.11. Hasil perhitungan nilai Modulus Elastisitas

Kombinasi Campuran		Nilai Modulus Elastisitas (kN/m <sup>2</sup> )			
Tanah	Limbah Beton	Pemeraman 3 Hari	Pemeraman 7 Hari	Pemeraman 14 Hari	Pemeraman 28 Hari
%	%				
100	0	1379,91	1557,91	1559,64	1829,33
90	10	2395,24	2297,47	2627,49	3380,16
80	20	5525,86	6208,85	6975,79	13048,50
70	30	12263,63	13443,32	13568,56	15262,65
60	40	14036,26	15081,42	16175,65	22897,18



Gambar.7. Grafik hubungan masa perawatan dan nilai Modulus Elastisitas

Berdasarkan gambar.7 perbandingan antara perubahan nilai Modulus Elastisitas cenderung mengalami peningkatan. Nilai Modulus Elastisitas terkecil terjadi pada pemeraman 3 hari dengan nilai 1379,91 kN/m<sup>2</sup> pada kondisi 100% tanah lempung dan yang terbesar terjadi pada pemeraman 28 hari dengan nilai 22897,18 kN/m<sup>2</sup> dengan campuran 40% limbah beton. Perubahan nilai Modulus Elastisitas ini dapat ditaksir dengan menggunakan rumus empiris yang diperoleh dari persamaan regresi linear sebagai berikut :

$$\hat{y} = -1954,57 + 418,91 x_1 + 165,54 x_2$$

Dimana:

$\hat{y}$ = nilai Modulus Elastisitas (kN/m<sup>2</sup>)

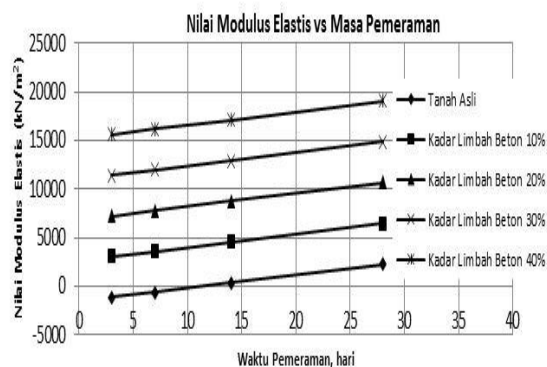
$x_1$ = komposisi limbah beton (%)

$\{x_1 | 0 \leq x_1 \leq 40\}$

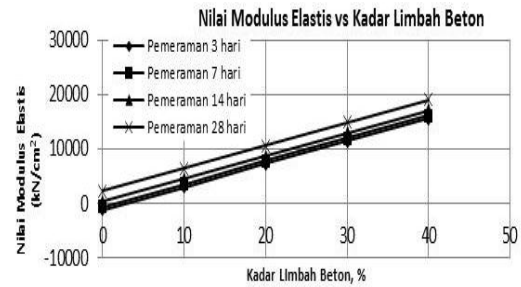
$x_2$ = masa pemeraman (hari)

$\{x_2 | 3 \leq x_2 \leq 28\}$

Berikut grafik dari persamaan regresi:



Gambar.8. Grafik regresi nilai modulus elastis vs masa pemeraman



Gambar.9. Grafik regresi nilai modulus elastis vs kadar limbah beton

Dengan melakukan percobaan kompaksi (*Standard Proctor*) dan UCS untuk tanah yang distabilisasi dengan komposisi campuran limbah beton 10%, 20%, 30%, dan 40%. Diperoleh kekuatan tanah hasil stabilisasi seperti terlihat pada tabel.

Berdasarkan tabel campuran tanah dan limbah beton diperoleh nilai UCS pada kondisi awal sebesar 0,523 kg/cm<sup>2</sup> dalam masa pemeraman 3 hari, setelah distabilisasi limbah beton nilai UCS tertinggi menjadi 5,626 kg/cm<sup>2</sup> selama masa pemeraman 28 hari pada kondisi campuran 40% limbah beton. Dan dari persamaan regresi, dapat diamati pengaruh penambahan kadar limbah beton dan durasi dari masa pemeraman berbanding lurus dengan peningkatan nilai kuat tekan bebas.

Perbandingan antara nilai Modulus Elastisitas juga mengalami perubahan pada kondisi awal tanah asli sebesar 1379,91

kN/m<sup>2</sup> pada pemeraman 3 hari, setelah distabilisasi limbah beton nilai Modulus Elastisitas tertinggi menjadi 22897,18 kN/m<sup>2</sup> selama masa pemeraman 28 hari pada campuran 40% limbah beton. Dan dari persamaan regresi, dapat diamati pengaruh penambahan kadar limbah beton dan durasi dari masa pemeraman berbanding lurus dengan peningkatan nilai modulus elastisitas tanah.

Peningkatan nilai kuat tekan bebas (UCS) dan nilai Modulus Elastisitas tanah terjadi disebabkan oleh adanya kandungan kapur bebas (Ca(OH)<sub>2</sub>) pada limbah beton yang bereaksi secara kimiawi pada saat dicampur dengan tanah yang mempunyai kandungan silika (SiO<sub>2</sub>), dan alumina (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>), sehingga dapat meningkatkan mutu dari tanah ekspansif yang terstabilisasi dengan masa pemeraman (*curing*) tertentu.

## KESIMPULAN

Dari hasil penelitian ini maka diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Nilai UCS / kuat tekan bebas mengalami peningkatan sebesar 85,18% berdasarkan dengan bertambahnya kadar limbah beton yang digunakan sebagai bahan stabilisasi. Nilai UCS tertinggi diperoleh pada penambahan 40% limbah beton.
2. Peningkatan nilai UCS tanah ekspansif yang terstabilisasi dengan limbah beton sangat dipengaruhi oleh lamanya masa *curing* (perawatan/pemeraman) yang diberikan. Nilai UCS tertinggi diperoleh pada masa *curing* 28 hari dengan kadar limbah beton 40%.
3. Nilai Modulus Elastisitas dari hasil pengujian kuat tekan juga mengalami peningkatan sesuai dengan perbaikan nilai *qu* pada tanah lempung ekspansif yang terstabilisasi dengan limbah beton.

## DAFTAR PUSTAKA

1. AUSTRROAD. 1998. *Guide to Stabilization in Roadworks*. Austroad Publication No. AP-60/98: Sydney.
2. Bowles, J.E. 1977. *Foundation Analysis and Design*. McGraw-Hill Kogakusha, Ltd: Tokyo.
3. Chen, F.H. 1975. *Foundation on Expansive Soil*. Elsevier Science Publishing Company: New York.
4. Das, Braja M. Endah, Noor. Mochtar, Indrasurya B. 1993. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jild 2*. Erlangga: Surabaya.
5. Das, Braja M. Endah, Noor. Mochtar, Indrasurya B. 1998. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknis) Jild 1*. Erlangga: Surabaya.
6. Hatmoko, John Tri dan Yohanes Lulie. 2007. *UCS Tanah Lempung*

- Ekspansif yang Distabilisasi dengan Abu Ampas Debu dan Kapur.* Universitas Atma Jaya: Yogyakarta.
7. Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah I Edisi Keempat.* Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
  8. Hardiyatmo, Hary Christady. 2010. *Mekanika Tanah II Edisi Keempat.* Gadjah Mada University Press: Yogyakarta.
  9. Pd-T-10-2005 B. *Penanganan Tanah Ekspansif untuk Konstruksi Jalan.* Departemen Pekerjaan Umum
  10. Permana, Yuda dan Imam Aschuri. 2009. *Studi Penggunaan Limbah Pengilangan Minyak (Residium Catalytic Cracking-15, RCC-15) pada Perbaikan Tanah Ekspansif.* Universitas Kristen Petra: Surabaya.
  11. Smith, M.J. 1992. *Mekanika Tanah Edisi Keempat.* Erlangga: Jakarta.
  12. SNI 03-1742-1989. *Metode Pengujian Kepadatan Ringan untuk Tanah.*
  13. SNI 03-1966-1990. *Metode Pengujian Batas Plastis Tanah.*
  14. SNI 03-1967-1990. *Metode Pengujian Batas Cair dengan Alat Casagrande.*
  15. SNI 03-3437-1994. *Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah dengan Kapur untuk Jalan.*
  16. SNI 03-6887:2002. *Metode Pengujian Kuat Tekan Bebas Campuran Tanah Semen.*
  17. SNI 3422:2008. *Cara Uji Penentuan Batas Susut Tanah.*
  18. SNI 3423:2008. *Cara Uji Analisis Ukuran Butir Tanah.*
  19. SNI 3638:2011. *Metode Uji Kuat Tekan Bebas Tanah Kohesif.*
  20. Soedarmo, G. Djatmiko dan S. J. Edy Purnomo. 1993. *Mekanika Tanah.* Kanisius: Yogyakarta.
  21. Sudarmadji, Ibnu. 2005. *Studi Eksperimental di Laboratorium Tentang Nilai Modulus Geser Berdasarkan Metode Hardin dan Black serta Menard.* Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
  22. Syahril. 2009. *Kajian Pengaruh Pengembangan (Swelling) pada Subgrade dari Tanah Lempung Berplastisitas Tinggi akibat Penambahan Abu Sekam Padi (Rice Husk Ash) (Studi Kasus Pada Tanah Lumpur Lapindo).* Universitas Kristen Petra: Surabaya.
  23. Wesley, L.D. 1977. *Mekanika Tanah.* Badan Penerbit