

**PENGARUH PENAMBAHAN SPENT CATALYST TERHADAP DAYA DUKUNG  
TANAH LEMPUNG EKSPANSIF YANG DISTABILISASI DENGAN FLY ASH**  
*The Effect of Spent Catalyst Addition to the Bearing Capacity  
of the Expansive Clay Soil Stabilized by Fly Ash*

Tri Sulistyowati, Ismail Hoesain Muchtaranda\*

**Abstrak**

Tanah lempung ekspansif memiliki potensi untuk mengembang dan menyusut yang tinggi akibat perubahan kadar air. Jika tidak dilakukan perbaikan terhadap jenis tanah ini maka akan menyebabkan terjadinya penggelembungan (*heave*) dan retak-retak (*cracking*) pada perkerasan jalan raya, serta pecah-pecah (*buckling*) pada lantai dasar (*slab*). Oleh karena itu harus dilakukan perbaikan terhadap sifat kembang susut tanah lempung ekspansif tersebut untuk meningkatkan kekuatan daya dukungnya. Salah satunya adalah dengan stabilisasi menggunakan bahan tambahan seperti fly ash dan spent catalyst. Fly ash merupakan salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus yang mengikat dengan gas buang. Spent catalyst adalah limbah dari penyulingan minyak tanah yang terdiri dari oksidasi silika, alumunium, ferro dan lain-lain. Oleh karena itu, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan spent catalyst terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan fly ash.

Penelitian ini dilakukan terhadap tanah lempung ekspansif yang distabilisasi fly ash (15%) dan ditambahkan spent catalyst (2%, 4%, 6%, 8%, 10%) yang diperam selama 7 hari. Selanjutnya dilakukan pengujian sifat-sifat kimia, fisik, dan mekanis. Pengujian sifat mekanis dilakukan dengan alat uji kuat tekan bebas (UCS), untuk mengetahui daya dukung tanah.

Berdasarkan hasil pengujian kimia, diketahui bahwa tanah lempung ekspansif mengandung unsur-unsur kimia silika, magnesium, kalium dan aluminium yang merupakan unsur kimia pembentuk mineral lempung sebagai pembentuk sifat-sifat plastis dari tanah. Adapun kandungan unsur kimia fly ash dan spent catalyst yang dominan adalah silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium trioksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa fly ash dan spent catalyst dapat dikategorikan sebagai bahan pozzolan kelas F (ASTM C618-92a) dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif. Penambahan 15% fly ash dan spent catalyst (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%) memberikan dampak terhadap perubahan sifat-sifat fisik dan mekanis tanah lempung ekspansif. Perubahan ini disebabkan karena reaksi pozzolan antara silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium trioksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebagai unsur-unsur dominan dari fly ash dan spent catalyst yang mengisi lembaran silika (*silica sheet*) dan gibbsite di dalam partikel lempung, membentuk mineral yang stabil dan air sulit untuk masuk diantara lapisan tersebut. Penambahan spent catalyst mengakibatkan terjadinya penurunan prosentase kadar butiran lempung, sehingga terjadi perubahan klasifikasi tanah dari CH menjadi MH. Nilai *specific gravity* ( $G_s$ ), dan plastisitas tanah juga mengalami penurunan yang mengindikasikan terjadinya perbaikan kualitas tanah. Hal ini dapat dilihat juga dari peningkatan kepadatan dan kuat tekan tanah. Penambahan spent catalyst mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah ekspansif yang distabilisasi dengan fly ash (15%) dari  $2.99 \text{ kg/cm}^2$  menjadi  $3.07 - 3.74 \text{ kg/cm}^2$ .

Kata kunci : tanah lempung ekspansif, fly ash, spent catalyst, stabilisasi, kuat tekan bebas, daya dukung tanah

**PENDAHULUAN**

Karakteristik dan kondisi tanah sangat mempengaruhi perencanaan konstruksi bangunan di bidang Teknik Sipil. Tidak semua jenis tanah baik digunakan sebagai dasar suatu bangunan, karena setiap tanah memiliki sifat dan karakteristik yang berbeda. Tanah lempung ekspansif merupakan salah satu jenis tanah dengan sifat kembang susut tinggi, yang akan mengembang pada kadar air tinggi dan

---

\* Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram Jl. Majapahit 62 Mataram

akan menyusut jika kadar air rendah. Sifat kembang susut yang tinggi ini dapat menyebabkan kerusakan pada bangunan yang ada di atasnya, seperti penggelembungan (*heave*) dan retak-retak (*cracking*) pada perkerasan jalan raya, serta pecah-pecah (*buckling*) pada lantai dasar (*slab*).

Salah satu daerah di Pulau Lombok yang memiliki kondisi tanah lempung ekspansif yaitu Kabupaten Lombok Tengah bagian selatan, tepatnya di Desa Tanak Awu, Kecamatan Penujak. Untuk menanggulangi masalah kembang susut yang tinggi pada tanah lempung ekspansif dapat dilakukan dengan stabilisasi menggunakan bahan-bahan tambahan seperti *fly ash* dan *spent catalyst*. *Fly ash* merupakan salah satu residu yang dihasilkan dalam pembakaran batu bara dan terdiri dari partikel halus yang mengikat dengan gas buang. *Spent catalyst* adalah limbah dari penyulingan minyak tanah yang mempunyai sifat *puzzolanic* dan terdiri dari oksidasi *silica*, *alumunia*, *ferro* dan lain-lain.

PLTU Jeranjang di Kabupaten Lombok Barat merupakan pembangkit listrik berbahan bakar batubara pertama di NTB yang memanfaatkan batubara jenis *Low Rank Coal*. Kebutuhan batubara PLTU Jeranjang diperkirakan mencapai 195.000 ton per tahun dan dapat menghasilkan limbah *fly ash* yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif.

*Spent catalyst* atau limbah pembuangan katalis berupa *Residium Catalytic Cracking 15* (RCC-15) merupakan suatu limbah bekas pengilangan minyak yang banyak dihasilkan oleh PT. Pertamina yang produksinya dapat menghasilkan kurang lebih 20 ton limbah katalis setiap hari. Saat ini di Indonesia terdapat 7 (tujuh) lokasi kilang minyak yang dioperasikan oleh PT. Pertamina yang terletak di Dumai, Plaju, Balikpapan, Cilacap, Balongan, Sorong dan Cepu.

Berdasarkan uraian diatas, maka dilakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui prosentase penambahan *spent catalyst* yang efektif pada tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash*. Penambahan *fly ash* dan *spent catalyst* sebagai bahan stabilisasi diharapkan dapat memperbaiki sifat-sifat fisik dan mekanis tanah sehingga meningkatkan daya dukung tanah untuk menerima beban konstruksi bangunan diatasnya.

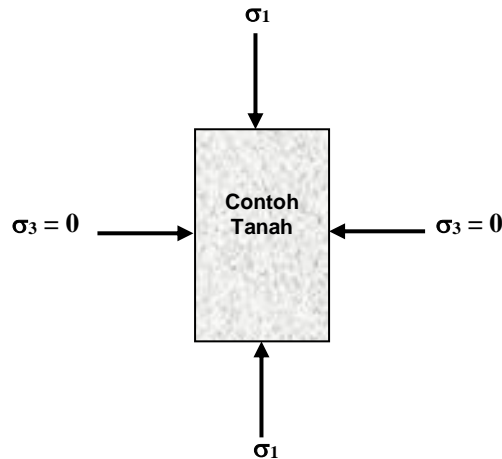
## TINJAUAN PUSTAKA

Tanah lempung ekspansif memiliki potensi untuk mengembang dan menyusut akibat perubahan kadar air. Karakteristik tanah lempung ekspansif ini sangat berguna untuk digunakan sebagai dasar penanggulangan masalah sifat kembang susutnya yang tinggi. Secara umum sifat kembang susut tanah lempung bergantung pada sifat plastisitasnya, semakin plastis tanah lempung semakin tinggi potensi untuk mengembang dan menyusut. **Tabel 1** menunjukkan kemungkinan potensi ekspansifitas tanah berdasarkan hasil pengumpulan data uji pengembangan pada lempung dan tanah-tanah ekspansif oleh Chen (1988).

Tabel 1. Potensi pengembangan menurut Chen (1988)

Pontensi pengembangan	Persen lolos saringan No. 200	Batas Cair (LL)	N-SPT	Kemungkinan Ekspansif (%)	Tekanan pengembangan (Kpa)
Sangat tinggi	>95	>60	>30	>10	>1000
Tinggi	60-95	40-60	20-30	3-10	250-1000
Sedang	30-60	30-40	10-20	1-5	150-250
Rendah	<30	<30	<18	<1	<50

Tanah lempung ekspansif pada umumnya memiliki kekuatan daya dukung yang sangat rendah. Daya dukung tanah merupakan tahanan geser tanah untuk melawan penurunan akibat pembebanan, yaitu tahanan geser yang dapat dikerahkan oleh tanah disepanjang bidang-bidang gesernya. Salah satu pengujian daya dukung tanah yang dapat dilakukan adalah dengan uji tekan bebas yang termasuk pengujian dengan kondisi *unconsolidated-undrained* (tak terkonsolidasi-tak terdrainase). Gambar skematik dari prinsip pembebanan dalam percobaan ini dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Skema uji tekan bebas

Secara teoritis, nilai dari  $\Delta\sigma_f$  pada lempung jenuh seharusnya sama seperti yang diperoleh dari pengujian-pengujian triaksial *unconsolidated-undrained* dengan benda uji yang sama.

$$s_u = c_u = \frac{q_u}{2} \dots\dots\dots (1)$$

di mana  $s_u$  atau  $c_u$  adalah kuat geser *undrained* dari tanahnya.

Salah satu alternatif penanggulangan tanah lempung ekspansif adalah melalui metode stabilisasi. Stabilisasi tanah bertujuan untuk meningkatkan kepadatan tanah dan kekuatan daya dukung tanah agar tidak mengalami penurunan pada saat terjadi perubahan kadar air akibat pergantian musim. Ada beberapa macam stabilisasi tanah menurut Ingels dan Metcalf (1977) yaitu :

- a. Stabilisasi Fisik, merupakan upaya stabilisasi dengan merubah sifat-sifat tanah, misalnya dengan pendinginan (*cooling*), pemanasan (*heating*) dan lain-lain.
- b. Stabilisasi Mekanik, merupakan upaya stabilisasi dengan alat-alat mekanis yang meliputi proses pemadatan dan pengaturan gradasi butiran tanah. Cara pemadatan dengan menggunakan peralatan mekanis seperti benda berat yang dijatuhkan (*pounder*), ledakan (*eksplosif*), mesin gilas (*roller*) dan lain-lain.
- c. Stabilisasi Kimia, merupakan upaya stabilisasi dengan cara mencampur bahan kimia pada tanah yang akan mengakibatkan terjadinya perubahan sifat-sifat tanah. Bahan stabilisator yang sering digunakan yaitu kapur, semen, abu batu bara (*fly ash*), *spent catalyst* dan lain-lain.

*Fly ash* atau abu batu bara merupakan bahan material hasil buangan atau limbah padat dari pabrik-pabrik atau pembangkit-pembangkit listrik tenaga uap yang menggunakan batu bara sebagai

bahan bakar operasionalnya. Material *fly ash* tersedia dalam jumlah yang cukup besar, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah. Hal ini dimungkinkan karena *fly ash* banyak mengandung unsur silikat dan aluminat dan dapat dikategorikan sebagai bahan pozzolan.

*Spent catalyst* adalah limbah dari penyulingan minyak tanah yang mempunyai sifat *puzzolanic* dan terdiri dari oksidasi *silica*, *alumunia*, *ferro* dan lain-lain. Jumlah *spent catalyst* yang diproduksi cukup besar (20 ton/hari). Menurut PT. Pertamina limbah ini dapat diperoleh secara gratis apabila akan dimanfaatkan untuk keperluan pembangunan. *Spent catalyst* pada umumnya mengandung unsur oksidasi silika, alumunia, ferro dan lain-lain yang dapat dikategorikan sebagai sifat pozzolan

Menurut ASTM C 618-92a, pozzolan didefinisikan sebagai suatu bahan yang mengandung silika dan alumina dan tidak dapat mengeras jika dicampur dengan air, dalam keadaan basah dan halus dapat bereaksi dengan kalsium hidroksida yang dapat mengeras pada suhu kamar. Kandungan maksimum unsur oksida yang harus ada pada suatu pozzolan dapat dilihat pada **Tabel 2**.

Tabel 2. Kandungan kimia pozzolan menurut ASTM C618-92a

Kandungan kimia	Klas pozzolan		
	N	F	C
Silikon dioksida, aluminium oksida, besi oksida ( $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ ) min (%)	70.0	70.0	50.0
Sulfur trioksid ( $\text{SiO}_3$ ), max (%)	4.0	5.0	5.0
Kadar air, max (%)	3.0	3.0	3.0
Hilang karena pembakaran, max (%)	10.0	6.0	6.0
Kandungan alkali $\text{Na}_2\text{O}$ , max (%)	1,5	1,5	1,5

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Sulistiyowati dan Agustawijaya (2005) diketahui bahwa penambahan *fly ash* yang efektif sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif adalah 15%, dengan kepadatan maksimum 1,365 gr/cm<sup>3</sup> dan kadar air optimum 21%.

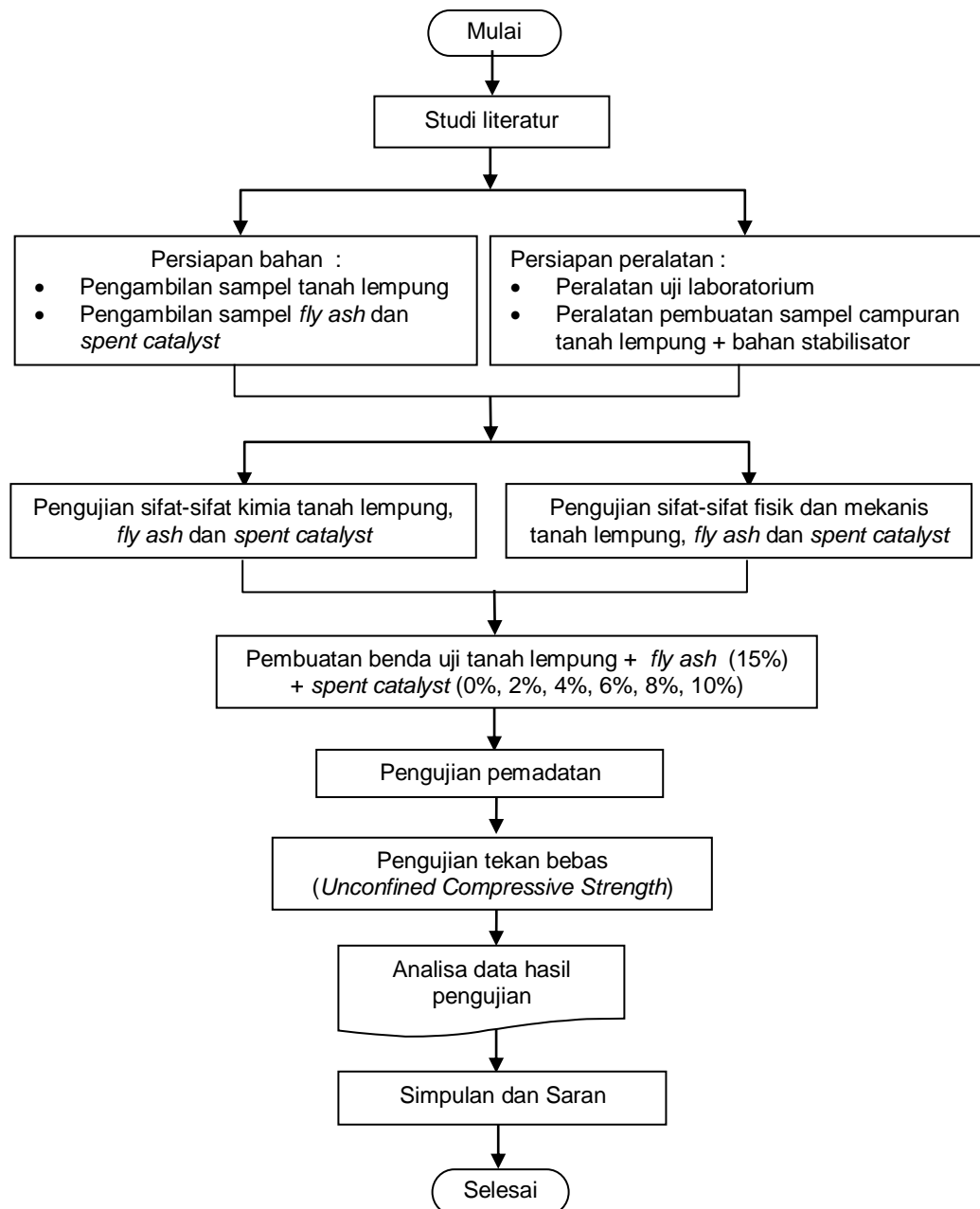
Hasil penelitian Kusuma (2010) menunjukkan bahwa nilai kuat tekan bebas ( $q_u$ ) tanah lempung ekspansif Bandara Internasional Lombok yang distabilisasi dengan 8% kapur dengan variasi penambahan *fly ash* sebesar 4%, 6%, 8% dengan masa peram selama 7 hari meningkat menjadi 3,89 kg/cm<sup>2</sup>, 4,83 kg/cm<sup>2</sup>, 4,08 kg/cm<sup>2</sup> dibandingkan dengan tanah aslinya (3,86 kg/cm<sup>2</sup>).

Sudirja (2008) telah melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan *spent catalyst* pada stabilisasi tanah semen terhadap kembang susut dan daya dukung tanah ekspansif sebagai *subgrade* jalan. Hasil penelitiannya menyatakan bahwa campuran tanah dengan semen 2% dan penambahan *spent catalyst* sampai 8%, mengakibatkan adanya perubahan terhadap sifat fisik (*index properties*) maupun sifat mekanisnya (*engineering properties*). Nilai indeks plastis (PI) dari 13,90% menjadi 11,50% potensi pengembangan (*swelling potensial*) dari 3,20% menjadi 2,70% batas susut (*shrinkage limit*) dari 20,21% menjadi 13,34%. Nilai daya dukung berdasarkan hasil pengujian CBR meningkat dari 6,00% menjadi 9,10%.

## METODE PENELITIAN

Penelitian yang dilakukan merupakan penelitian eksperimental di laboratorium yang dilakukan di Laboratorium Geoteknik, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Mataram. Bahan untuk





Gambar 2. Bagan alir tahapan pelaksanaan penelitian

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil pengujian sifat kimia tanah lempung, fly ash dan spent catalyst

Hasil pemeriksaan kandungan senyawa kimia tanah lempung dari desa Tanak Awu Kecamatan Penujak Kabupaten Lombok Tengah, fly ash PLTU Jeranjang dan spent catalyst PT.Pertamina UP.VI Balongan disajikan pada **Tabel 4**. Berdasarkan kandungan unsur kimia tersebut, maka memberikan indikasi bahwa tanah lempung dari desa Tanak Awu terdiri dari unsur-unsur kimia silika, magnesium, kalium dan aluminium yang merupakan unsur kimia pembentuk mineral lempung hasil produk pelapukan kimia dari feldspar, ferromagnesium, dan mika. Mineral-mineral tersebut membentuk sifat-sifat plastis tanah yang mengakibatkan kembang susut dan ekspansifitas tinggi.

Adapun kandungan unsur kimia *fly ash* dan *spent catalyst* yang dominan adalah Silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan Aluminium trioksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ). Hal ini menunjukkan bahwa *fly ash* dan *spent catalyst* dapat dikategorikan sebagai bahan pozzolan kelas F (ASTM C618-92a). Pozzolan kelas F adalah biasanya dihasilkan dari pembakaran antrasit atau bitumen batubara yang memenuhi syarat atau kriteria baik kimia maupun fisik untuk kelas ini, sehingga dapat dimanfaatkan sebagai bahan stabilisasi tanah lempung ekspansif.

Tabel 4. Hasil pengujian sifat kimia tanah lempung, *fly ash* dan *spent catalyst*

No.	Parameter Kimia	Satuan	Sampel		
			Lempung	<i>Fly Ash</i>	<i>Spent Catalyst</i>
1	pH	-	7.3	8.1	8.7
2	$\text{SiO}_2$	%/w	47.09	39.36	50.35
3	$\text{Al}_2\text{O}_3$	%/w	12.2	20.82	46.04
4	$\text{Fe}_2\text{O}_3$	%/w	5.9	4.22	0.71
5	CaO	%/w	2.83	8.58	0.26
6	$\text{Na}_2\text{O}$	%/w	1.8	2.53	0.52
7	$\text{SO}_4$	%/w	3.78	5.3	0.59
8	MgO	%/w	11.6	4.69	0.32
9	$\text{TiO}_2$	%/w	-	1.14	0.81
10	$\text{K}_2\text{O}$	%/w	6.2	0.87	0.25
11	$\text{Mn}_3\text{O}_4$	%/w	-	0.11	0.15
12	$\text{P}_2\text{O}_5$	%/w	-	0.06	
13	<i>Lost on Ignition</i>	%/w	8.6	12.32	4,29

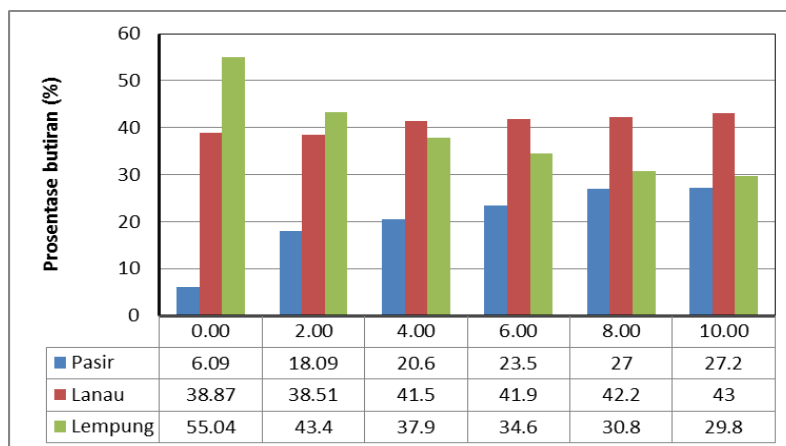
#### Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis

Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis tanah lempung asli dan tanah lempung + *fly ash* (15%) + *spent catalyst* (0%, 2%, 4%, 6%, 8%, 10%) disajikan pada **Tabel 5**. Dari data-data tersebut diketahui bahwa penambahan *spent catalyst* terhadap tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash* memberikan dampak terhadap perubahan sifat-sifat fisik dan mekanisnya.

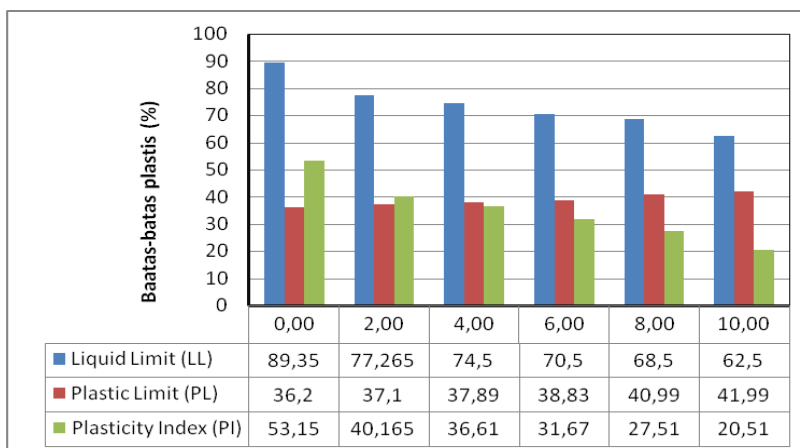
Penambahan *spent catalyst* mengakibatkan terjadinya penurunan prosentase butiran lempung, dan meningkatkan kadar butiran lanau dan pasir (**Gambar 3**). Sehingga terjadi perubahan klasifikasi tanah dari CH (lempung plastisitas tinggi) menjadi MH (lanau plastisitas tinggi) setelah penambahan *spent catalyst*  $\geq 4\%$ . Berdasarkan hasil pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*), penambahan *spent catalyst* mengakibatkan perubahan batas-batas plastis tanah lempung yang telah distabilisasi dengan *fly ash*, seperti terlihat pada **Gambar 4**. Tingkat kepadatan tanah mengalami penurunan dan kadar air optimum meningkat setelah penambahan *spent catalyst* (**Gambar 5**). Perubahan sifat-sifat fisik dan mekanis tersebut terjadi karena adanya reaksi antara silika dioksida ( $\text{SiO}_2$ ) dan aluminium trioksida ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) sebagai unsur dominan dari *spent catalyst* yang mengisi lembaran silika (*silica sheet*) dan lembaran gipsit (*gibbsite sheet*) di dalam partikel lempung. Sehingga membentuk mineral yang sangat stabil dan air sulit untuk masuk diantara lapisan-lapisan tersebut.

Tabel 5. Hasil pengujian sifat-sifat fisik dan mekanis

No.	Sifat-sifat Fisik	Benda Uji						
		1	2	3	4	5	6	7
1	Specific Gravity (Gs)	2.68	2.61	2,57	2.53	2.51	2.50	2.5
2	Batas-batas Konsistensi							
	- Liquid Limit (%)	128,24	89,35	77,27	74,50	70,50	68,50	62,50
	- Plastic Limit (%)	35,80	36,20	37,10	37,89	38,83	40,99	41,99
	- Shrinkage Limit (%)	34,99	35,91	36,50	37,20	38,00	39,10	39,10
	- Plasticity Index (%)	92,44	53,15	40,17	36,61	31,67	27,51	20,51
3	Distribusi butiran							
	- Kerikil (%)	-	-	-	-	-	-	-
	- Pasir (%)	17.20	6.09	18.09	20.60	23.50	27.00	27.20
	- Lanau (%)	12.08	38.87	38.51	41.50	41.90	42.20	43.00
	- Lempung (%)	70.70	55.04	43.40	37.90	34.60	30.80	29.80
4	Klasifikasi							
	- USCS	CH	CH	CH	MH	MH	MH	MH
	- AASHTO	A-7-5	A-7-5	A-7-5	A-4	A-4	A-4	A-4
5	Tingkat kepadatan							
	- $\gamma_{d_{maks}}$ (gr/cm <sup>3</sup> )	1.255	1.365	1.360	1.357	1.353	1.350	1.349
	- $W_{opt}$ (%)	26.00	21.00	21.80	22.50	23.40	23.90	24.2
6	Aktivitas (A)	1.131	0.824	0.816	0.808	0.786	0.776	0.762
7	Ekspansifitas	Tinggi - sangat tinggi						
8	Kuat tekan, $q_u$ (kg/cm <sup>2</sup> )	2.56	2.99	3.07	3.20	3.51	3.69	3.74

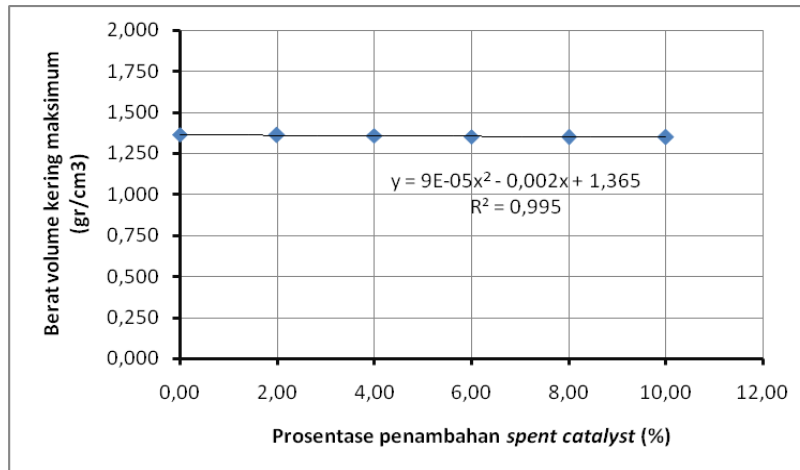


Gambar 3. Pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap perubahan distribusi ukuran butiran tanah lempung yang distabilisasi dengan *fly ash*



Gambar 4. Pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap perubahan batas-batas plastis tanah lempung yang distabilisasi dengan *fly ash*

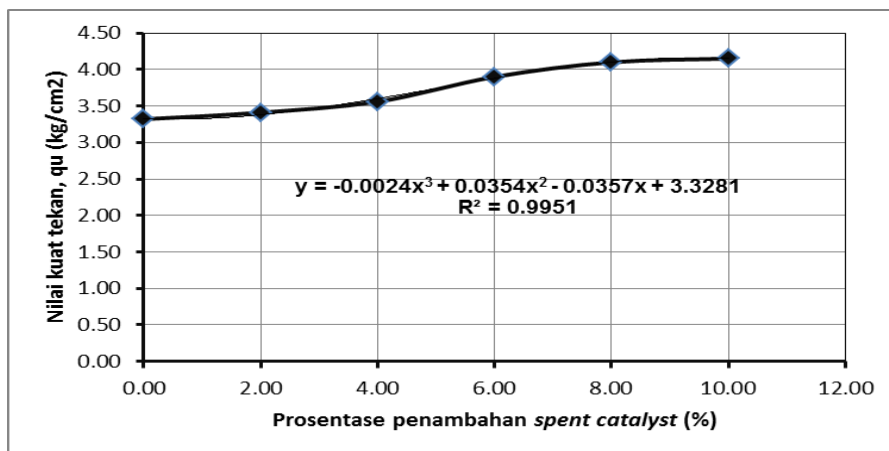




Gambar 5. Pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap kepadatan dan kadar air optimum tanah lempung yang distabilisasi dengan *fly ash*

### Pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap daya dukung tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash*

Berdasarkan hasil pengujian tekan bebas (UCS) diperoleh perubahan nilai  $q_u$  tanah lempung seperti disajikan pada **Gambar 6**. Dari data-data tersebut diketahui bahwa penambahan *spent catalyst* terhadap kuat tekan ( $q_u$ ) tanah lempung ekspansif yang distabilisasi *fly ash* memberikan dampak yang cukup signifikan. Perubahan ini disebabkan karena reaksi *pozzolan* antara silikat ( $\text{SiO}_2$ ), aluminat ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) dan besi ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ) dari *spent catalyst* dengan tanah lempung yang telah distabilisasi dengan *fly ash*.



Gambar 6. Pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap daya dukung ( $q_u$ ) tanah lempung ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash*

## SIMPULAN DAN SARAN

### Simpulan

Penambahan *spent catalyst* mengakibatkan terjadinya penurunan prosentase butiran lempung, dan meningkatkan kadar butiran lanau dan pasir. Sehingga terjadi perubahan klasifikasi tanah dari CH (lempung plastisitas tinggi) menjadi MH (lanau plastisitas tinggi) setelah penambahan *spent catalyst*  $\geq 4\%$ . Berdasarkan hasil pengujian batas-batas konsistensi (*Atterberg Limits*), penambahan *spent catalyst* mengakibatkan perubahan batas-batas plastis tanah lempung yang telah distabilisasi dengan *fly ash*. Tingkat kepadatan tanah mengalami penurunan dan kadar air optimum

meningkat setelah penambahan *spent catalyst*. Penambahan *spent catalyst* mengakibatkan peningkatan daya dukung tanah ekspansif yang distabilisasi dengan *fly ash* (15%) dari 2.99 kg/cm<sup>2</sup> menjadi 3.07 – 3.74 kg/cm<sup>2</sup>. Perubahan sifat-sifat fisik dan mekanis tersebut terjadi karena adanya reaksi antara silika dioksida (SiO<sub>2</sub>) dan aluminium trioksida (Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>) sebagai unsur dominan dari *spent catalyst* yang mengisi lembaran silika (*silica sheet*) dan lembaran gipsit (*gibbsite sheet*) di dalam partikel lempung. Sehingga membentuk mineral yang sangat stabil dan air sulit untuk masuk diantara lapisan-lapisan tersebut.

### Saran

Untuk penelitian selanjutnya dapat digunakan material bahan stabilisasi yang lain. Mengingat lokasi kilang minyak UP. VI Balongan yang cukup jauh, maka dapat diambil lokasi pengambilan sampel *spent catalyst* yang lebih dekat.

### DAFTAR PUSTAKA

- Bowles, J.E. 1984. *Physical and Geotechnical Properties of Soils*. New York: McGraw-Hill, Inc, Second Edition.
- Craig R.F, (Alih bahasa oleh Budi Susilo S), 1994, *Mekanika Tanah*, Edisi IV, Erlangga, Jakarta.
- Das Braja M, 1998, Alih bahasa oleh Mochtar Noor Endah dan Mochtar Indrasurya B. *Mekanika Tanah (Prinsip-Prinsip Rekayasa Geoteknik)*, Jilid I Erlangga, Jakarta.
- Hardiyatmo, H, 2006, *Mekanika Tanah I*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Hardiyatmo, H, 2006, *Mekanika Tanah II*, PT Gramedia Pustaka Utama, Jakarta
- Holtz, R.D, dan W.D. Kovack. 1981. *An Introduction to Geotechnical Engineering*, New Jersey : Englewood Cliffs, Prentice-Hall Inc.
- Ingles and Metcalf, 1972. *Soil Stabilization Principle and Practice Butterworths*. Sydney. Melbourne. Brisbane.
- Kusuma, Agatha Hendra, 2010, *Pengaruh Penambahan Kapur Dan Fly Ash Terhadap Sensitivitas Tanah Lempung Ekspansif BIL*, Skripsi, Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Mataram, Mataram.
- Sudirja, 2008 *Pengaruh Penambahan Spent Catalyst Pada Stabilisasi Tanah Semen Terhadap Kembang Susut dan Daya Dukung Tanah Ekspansif Sebagai Subgrade Jalan*, Tesis, Program Pasca Sarjana Universitas Diponegoro, Semarang.
- Sulistiyowati, 2005, *Pengaruh Bentuk Struktur Bangunan Terhadap Settlement Akibat Pembebanan Statis* (Penelitian Dosen Muda, Dibiayai oleh DIKTI)
- Terzaghi Karl dan B Ralph. Peck, 1987, *Mekanika Tanah dalam Praktek Rekayasa*, Edisi II, Erlangga, Jakarta