



**PENGARUH PENAMBAHAN *SPENT CATALYST* PADA
STABILISASI TANAH SEMEN TERHADAP KEMBANG
SUSUT DAN DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF
SEBAGAI *SUBGRADE* JALAN**

T E S I S

**Disusun Dalam Rangka Memenuhi Salah Satu Persyaratan
Program Magister Teknik Sipil**

Oleh :

**SUDIRJA
NIM. L4A004153**

**PROGRAM PASCA SARJANA
UNIVERSITAS DIPONEGORO
SEMARANG
2008**

**LEMBAR PENGESAHAN
TESIS**

**PENGARUH *SPENT CATALYST* PADA STABILISASI
TANAH SEMEN TERHADAP KEMBANG SUSUT DAN
DAYA DUKUNG TANAH EKSPANSIF SEBAGAI
*SUBGRADE JALAN***

DISUSUN OLEH:

NAMA : **SUDIRJA**
NIM : **L4A004153**

Tesis ini telah dipertahankan di depan Tim Penguji pada :
Hari : Sabtu
Tanggal : 23 Pebruari 2008

Mengesahkan Tim Penguji :

- | | | |
|----------------------------------|--------------|-------|
| 1. Ir. Muhrozi, MS. | (Ketua) | |
| 2. Drs.H.Bagus Priyatno,ST,MT | (Sekretaris) | |
| 3. Ir. Siti Hardiyati,MT | (Anggota 1) | |
| 4. Dr.Ir. Sri Prabandiyani, M.Sc | (Anggota 2) | |

Semarang, 23 Pebruari 2008

Ketua,
Program Pascasarjana Magister Teknik
Sipil
Program Pascasarjana Universitas
Diponegoro

Dr. Ir. Suripin, M. Eng
NIP. 131 668 511

KATA PENGHANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT yang telah memberikan segala kemampuan dan ketrampilan sehingga selesainya tesis ini. Hanya karena berkat dan karunia-Nya semata yang membuat tesis ini terselesaikan, mulai dari proposal, penelitian dan penyusunan laporan.

Tesis ini disusun sebagai salah satu persyaratan untuk tercapainya penyelesaian pada Program Studi Magister Teknik Sipil di Universitas Diponegoro Semarang, yang berupa karya ilmiah. Penelitian ini dilakukan bertujuan untuk mencari tahu pengaruh penambahan *spent catalyst* pada stabilisasi tanah semen terhadap kembang susut dan daya dukung tanah ekspansif sebagai sugrade jalan. Dengan harapan penelitian ini dapat memberikan sumbangsih terhadap upaya stabilisasi tanah ekspansif yang merugikan konstruksi jalan raya.

Terima kasih saya sampaikan yang setulus-tulusnya kepada:

1. Bapak Ir.Muhrozi,MS., selaku pembimbing pertama atas semua arahan, masukan dan koreksinya,
2. Bapak Drs. Bagus Priyatno,ST.MT., selaku pembimbing kedua atas semua arahan, masukan dan koreksinya,
3. Semua unsur pimpinan dan staf pada program studi Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang, atas semua bantuan dan kesempatan,
4. Bapak H.Mochamad Sofyan (selaku Kepala Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga kabupaten Indramayu), yang telah banyak memberikan bantuan baik waktu dan tempat pengujian laboratorium, sehingga selesainya tesis ini,
5. Istri (Lili Laeliha), anak-anaku (Rangga Maindra dan Mahasti Novadila Dwitasari) yang terus mendukung sehingga terselesaikanya tesis ini,
6. Bapak Aan Wanra Kusuma Jadi, Riyadi Pranoto dan semua staf UPTD Laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga kabupaten Indramayu yang telah banyak membantu dalam pengujian-pengujian untuk penelitian ini.

Mudah-mudahan Allah SWT dapat memberikan keridhoan-Nya dan yang akan membalas segala budi baik semua.

Harapan saya, tesis ini dapat dijadikan sebagai bahan referensi kepada para peneliti lanjutan, sehingga diperoleh hasil yang dapat dijadikan rekomendasi pada stabilisasi tanah semen dengan penambahan spent catalyst.

Semarang, 23

Pebruari 2008

Penyusun

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN

i

KATA PENGHANTAR

ii

DAFTAR ISI

iv

DAFTAR TABEL

vi

DAFTAR GAMBAR

viii

DAFTAR LAMPIRAN

ix

BAB I PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang	1
1.2. Perumusan Masalah	3
1.2. Tujuan Penelitian	3
1.3. Manfaat penelitian	4
1.4. Batasan Masalah	4
1.5. Hipotesis	5
1.6. Lokasi Penelitian	5

BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	
	2.1. Stabilisasi Tanah	6
	2.2. Daya Dukung Tanah	8
	2.3. Bahan-bahan Yang Digunakan	9
	2.3.1. Tanah	9
	2.3.2. Semen	24
	2.3.3. Spent Catalyst RCC UP VI PERTAMINA	
	Balongan	25
	2.3.4. Air	26
	2.4. Interaksi Dan Sifat-sifat Campuran Tanah Semen	27
	2.5. Penelitian Yang Pernah Dilakukan Sebelumnya	28
BAB III	METODELOGI PENELITIAN	
	3.1. Tahapan Penelitian	29
	3.2. Pekerjaan persiapan	32
	3.3. Pengujian Di Laboratorium	32
	3.3.1. Uji Pendahuluan	32

	3.3.2. Uji Sifat Fisik Tanah	
33		
	3.3.3. Uji Sifat Mekanis Tanah	
35		
	3.3.4. Uji Kombinasi Campuran	
37		
	3.3.5. Perhitungan Jumlah Sampel Yang Diperlukan Untuk Program Pengujian	
38		
BAB IV	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
	4.1. Hasil Penelitian	
41		
	4.1.1. Karakteristik Tanah Asli	
42		
	4.1.2. <i>Spent Catalyst</i> RCC UP VI PERTAMINA Balongan	
	44	
	Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Teknik Campuran Tanah +2%PC + Berbagai Variasi Campuran <i>Spent Catalyst</i>	
	45	
	4.2. Pembahasan	
51	4.2.1. Material Dasar	
	51	
	4.2.2. Karakteristik Campuran Tanah Semen 2% dan <i>Spent Catalyst</i>	
	53	
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	

	5.1. Kesimpulan	
58		
	5.2. Saran	
59		
DAFTAR	PUSTAKA	
61		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral	
15		
Tabel 2.2.	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar Colloid	
16		
Tabel 2.3.	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Saringan No.200 dan Batas Cair	
16		
Tabel 2.4.	Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Batas Susut	
17		
Tabel 2.5.	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linier <i>Shrinkage</i> dan <i>Shrinkage Limit</i>	
18		
Tabel 2.6.	Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan IP dan PI	
18		
Tabel 2.7.	Kriteria Pengembangan berdasarkan IP	
18		
Tabel 2.8.	Klasifikasi tanah cara USCS	
23		
Tabel 2.9.	Standar ASTM pada stabilisasi tanah dengan campuran 1992	
24		

Tabel 2.10.	Hasil pengujian susunan mineral <i>spent catalyst</i> RCC
25	
Tabel 2.11.	Persyaratan Air Untuk Stabilisasi Dengan Semen
26	
Tabel 3.1.	Jumlah sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan <i>Spent Catalyst</i> (SC) Untuk Pengujian Batas Atterberg
38	
Tabel 3.2.	Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan <i>Spent Catalyst</i> (SC) Untuk Pengujian Kuat Tekan Bebas
39	
Tabel 3.3.	Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan <i>Spent Catalyst</i> (SC) Untuk Pengujian <i>Swelling Potential</i>
39	
Tabel 3.4.	Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan <i>Spent Catalyst</i> (SC) Untuk Pengujian <i>California Bearing Ratio (CBR)</i>
40	
Tabel 3.5.	Jumlah Sampel, Metoda Pengujian dan Laboratorium Pelaksana
40	
Tabel 4.1.	Karakteristik Tanah Asli
41	
Tabel 4.2.	Kandungan Mineralogi Tanah Asli
42	
Tabel 4.3.	Komposisi Kimia Tanah Asli
42	
Tabel 4.4.	Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Asli
43	
Tabel 4.5.	Hasil Pengujian <i>Hydrometer</i> Tanah Asli
43	
Tabel 4.6.	Hasil Pengujian Susunan Kimia <i>spent catalyst</i> RCC
44	

Tabel 4.7.	Karakteristik Tanah Dalam Beberapa Campuran
45	
Tabel 4.8.	Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah dan Campuran
48	
Tabel 4.9.	Hasil Pengujian Sifat Teknis Tanah Dan Campuran
49	
Tabel 4.10.	Hasil Identifikasi Tanah Asli
52	
Tabel 4.11.	Hubungan Hasil Pengujian Tanah, Tanah +2%PC dan Tanah + 2% PC +8%SC
53	
Tabel 4.12.	Perbandingan Pengaruh Antara Semen dengan <i>Spent Catalyst</i>
54	

DAFTAR GAMBAR

- Gambar 2.1. Klasifikasi butiran tanah menurut
Unified Soil Classification System, ASTM, MIT,
dan *International Nomenclature*
11
- Gambar.2.2. Mineral-mineral lempung
19
- Gambar 2.3. Diagram skematik struktur *kaolinite*
21
- Gambar 2.4. Diagram skematik struktur *montmorillonite*
21
- Gambar 2.5. Diagram skematik struktur *illite*
22
- Gambar 3.1. Diagram Alur Pikir Penelitian
30
- Gambar 3.2. Diagram Alir Penelitian
31
- Gambar 4.1. Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah Asli
44
- Gambar 4.2. *Specific Gravity* (GS) Hasil Campuran Tanah + 2% PC
+ Beberapa Kosentrasi Campuran *Spent Catalyst*
46
- Gambar 4.3. Hubungan Antara Batas Cair(LL), Batas Plastis(PL) dan Indeks
Plastis(PI) Dalam Beberapa Kosentrasi Campuran
46

- Gambar 4.4. Batas Susut (*Shrinkage Limit*) (%)
Dalam Beberapa Konsentrasi Bahan Stabilisasi
47
- Gambar 4.5. Kadar Lempung Dalam Beberapa Konsentrasi Campuran
47
- Gambar 4.6. Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Campuran
48
- Gambar 4.7. Hubungan Kadar Air, *Swelling Potential*
dan CBR Terhadap Beberapa Konsentrasi Campuran
50
- Gambar 4.8. Berat Isi Kering Terhadap Beberapa Konsentrasi Campuran
50
- Gambar 4.9. Nilai *Unconfined Compressive Strength*
Terhadap Beberapa Konsentrasi Campuran
50
- Gambar 4.10. Hubungan Kadar Air Optimum
Dengan Kepadatan Kering Maksimum
55
- Gambar 4.11. Hubungan Kadar Air Optimum, Kepadatan Kering Maksimum,
Swelling Potential, CBR, *Shrinkage Limit* dan Aktifitas
57

DAFTAR LAMPIRAN

1. Lampiran A Hasil Pengujian Batas-batas Atterberg
2. Lampiran B Hasil Pengujian Berat Jenis
3. Lampiran C Hasil Pengujian Analisa Distribusi Butir
4. Lampiran D Hasil Pengujian Pematatan
5. Lampiran E Hasil Pengujian California Bearing Ratio (CBR)
6. Lampiran F Hasil Pengujian Unconfined Compressive Strength (UCS)
7. Lampiran G Hasil Pengujian Difraksi Sinar X
8. Lampiran H Photo Kerusakan Jalan dan Photo *Spent Catalyst*
9. Lampiran I Photo Pengujian Dilaboratorium dan Pengambilan Sampel

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Menurut sejarah, jalan merupakan jejak manusia untuk mencari kebutuhan hidupnya. Populasi manusia semakin lama semakin bertambah, sehingga kebutuhan akan jalan semakin meningkat pula. Oleh karena itu untuk menunjang hal itu diperlukan sarana dan prasarana transportasi darat (jalan) terus dipikirkan dan dikembangkan, sehingga diperoleh suatu sarana dan prasarana jalan yang dapat melayani akan kebutuhannya, yaitu sarana dan prasarana jalan yang aman dan nyaman.

Untuk meningkatkan pelayanan, agar dicapai suatu fungsi jalan yang aman dan nyaman salah satunya yaitu peningkatan daya dukung jalan terhadap beban lalu-lintas maupun pengaruh cuaca.

Konstruksi jalan secara umum terdiri dari *subgrade*, *subbase*, *base* dan *surface*. *Subbase* dan *base* biasanya digunakan bahan alam yaitu kerikil dan batu pecah sedangkan *subgrade* adalah merupakan tanah biasa. Kegagalan pada konstruksi jalan banyak faktor yang mempengaruhi, ketidak cermatan dan ketelitian terhadap syarat batas yang diijinkan dari berbagai macam material lapisan perkerasan jalan akan mempercepat terjadinya kerusakan jalan. Kegagalan *subgrade* (*subgrade failure*) sering banyak dijumpai pada pembangunan maupun rehabilitasi jalan, stabilisasi tanah pada *subgrade* adalah untuk memperbaiki bahan-bahan lokal jalan yang tersedia dengan memberikan bahan tambahan yang sesuai, semen pada umumnya akan dapat mengurangi bahkan akan menghilangkan masalah-masalah yang ada. Untuk pondasi jalan yang menggunakan stabilisasi tanah-semen di Indonesia sudah banyak dilakukan.

Atas dasar itu, guna memperoleh pendekatan penanganan pada kegagalan *subgrade* (*subgrade failure*) yang terjadi khususnya pada ruas-ruas jalan di

kabupaten Indramayu, dengan menggunakan stabilisasi tanah-semen dan penambahan *spent catalyst*, sampai sejauh mana pengaruhnya terhadap kembang susut dan daya dukungnya.

Sehubungan dengan harga semen yang sangat mahal dan pembangunan nasional dewasa ini menganut paradigma baru selain bertujuan untuk meningkatkan kesejahteraan masyarakat juga ditujukan untuk meningkatkan kualitas lingkungan. Pembangunan jangka panjang Indonesia dimasa mendatang masih akan difokuskan pada sektor industri dan pertanian. Kegiatan pembangunan ini disamping menghasilkan berbagai produk dan jasa, juga akan menghasilkan limbah yang diantaranya berupa limbah berbahaya dan beracun (limbah B₃). Penanganan limbah ini harus khusus dan diatur oleh negara dalam Peraturan Pemerintah nomor : 19 Tahun 1994, dan sekarang baru direvisi dengan diberlakukannya Peraturan Pemerintah Nomor : 85 Tahun 1999 tentang pengelolaan limbah berbahaya dan beracun. Dalam peraturan tersebut pemanfaatan limbah B₃ merupakan salah satu kegiatan dalam rangkaian kegiatan pengelolaan limbah bahan berbahaya dan beracun. Proses pemanfaatan dapat dilakukan dengan cara perolehan kembali (*recovery*), pemanfaatan kembali (*reuse*) dan daur ulang (*recycle*), pemanfaatan ini disamping akan mengurangi limbah bahan berbahaya dan beracun, baik dari segi kuantitas maupun kualitas juga akan mengoptimalkan penggunaan sumber daya alam. Namun pemanfaatan suatu limbah B₃ harus didahului suatu penelitian yang mencakup berbagai aspek seperti aspek keamanan bagi manusia dan lingkungan serta secara ekonomi efisien.

Salah satu implementasi prinsip keefisienan dalam pembangunan yang berkelanjutan adalah penggunaan bahan yang dapat di-*reycle*, di-*recovery*, dan di-*reuse*. Pemanfaatan limbah dalam konstruksi merupakan salah satu wujud nyata implementasi dari keefisienan tersebut. Namun hasil pemanfaatan tersebut haruslah memenuhi standar yang telah ditetapkan. Dalam penelitian ini dicoba memanfaatkan bahan tambahan lain pada stabilisasi tanah-semen dengan *spent catalyst*. *Spent catalyst* adalah merupakan limbah dari UP. VI PERTAMINA Balongan Indramayu yang menurut informasi *fresh catalyst*-nya berasal dari USA

dengan merk *grase davison*, dimana kuantitas *spent caytalyt (spent catalyst RCC)* diproduksi cukup besar (20ton/hari), mengandung silika dan zat-zat lain yang dapat menimbulkan pencemaran lingkungan jika tidak ditangani dengan baik, dan menurut PT. PERTAMINA limbah ini diperoleh secara gratis apabila limbah ini mau dimanfaatkan untuk keperluan pembangunan.

Dari pemikiran itu, kiranya penulis menganggap perlu untuk melakukan penelitian pada penyusunan tesis ini dengan judul “ Pengaruh penambahan *spent catalyst* pada stabilisasi tanah-semen terhadap kembang susut dan daya dukung tanah sebagai *subgrade* jalan “ yang pada intinya hasil dari penelitian tersebut diharapkan dapat memberikan masukan yang bermanfaat pada ilmu rekayasa jalan raya serta memberikan sumbangsih pemikiran ke pemerintah kabupaten Indramayu khususnya pada Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga selaku pengelola jalan.

1.2. Perumusan Masalah

Permasalahan tanah *subgrade* di wilayah kabupaten Indramayu secara umum maupun yang teridentifikasi pada penelitian beberapa ruas jalan antara lain adalah adanya kerusakan jalan berupa retak memanjang, lendutan dan gesernya badan jalan yang berakibat terhadap rusaknya lapisan permukaan. Kerusakan permukaan aspal, lendutan dan gesernya badan jalan umumnya terjadi pada musim hujan, sedang kerusakan retak memanjang terjadi pada musim kemarau.

Penanganan yang telah dilakukan antara lain dengan membuat dinding penahan untuk mengatasi *sliding* / geser dan mengganti memperbaiki material *base* dan *sub base*, ini ternyata tidak bertahan lama.

Berdasarkan permasalahan tersebut diatas, maka untuk mengatasinya dapat dirumuskan sebagai berikut :

1. Diperlukan penelitian yang lebih mendalam tentang sifat – sifat fisik dan mekanis tanah dilokasi tersebut guna mencari solusi perbaikannya.

2. Diperlukan penelitian tentang stabilisasi tanah dengan cara memperbaiki daya dukung, yaitu dengan mencampur tanah asli dengan bahan adiktif (*Portland Cement 2 % + Spent Catalyst*)

1.3. Tujuan Penelitian

Dengan semakin majunya ilmu pengetahuan di era sekarang ini telah banyak sekali dilakukan penelitian yang berhubungan dengan jalan raya. Hal itu dilakukan untuk mencari pemecahan/solusi yang berhubungan dengan pola penanganan jalan, sehingga dalam mengambil suatu keputusan terhadap penanganan jalan tidak terlalu menyimpang jauh.

Penulis berinisiatif melakukan penelitian ini dengan maksud untuk mengetahui sampai seberapa besar pengaruh penambahan *spent catalyst* pada stabilisasi tanah-semen terhadap kembang susut dan daya dukung tanah ekspansif sebagai *subgrade* perkerasan konstruksi jalan. Adapun tujuan dari penelitian ini yaitu dapat memperoleh suatu pendekatan rekayasa dalam mengatasi permasalahan jalan yang kondisinya seperti kasus yang diangkat dalam penelitian ini, selain daripada itu untuk memberikan penambahan wawasan dan pengetahuan tentang ilmu rekayasa jalan mengenai kegagalan *subgrade*.

Sedangkan untuk mengukur penambahan *spent catalyst* pada stabilisasi tanah-semen, yaitu menggunakan nilai prosentase kadar semen 2% yang didapat (*Ingles dan Metealf, 1972*).

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian stabilisasi tanah-semen dengan bahan *spent catalyst* diharapkan dapat memberikan manfaat terhadap alternatif bahan campuran stabilisasi tanah-semen untuk bahan perkerasan jalan yang mungkin dapat lebih menguntungkan dari segi konstruksi maupun dari segi biaya. Selain itu juga manfaat penelitian ini sebagai contoh pemanfaatan limbah B₃ yang aman dan memenuhi kaidah *ekotoksikologi*, serta menjadi bahan masukan kepada pemerintah untuk *delisting*

spent catalyst pada Peraturan Pemerintah nomor : 85 Tahun 1999. Pemanfaatan *spent catalyst* yang mencapai 20 ton/hari tentunya akan mengurangi beban bahkan akan menghilangkan biaya pengelolaan *spent catalyst* UP.VI PERTAMINA yang mengeluarkan tidak sedikit biaya, dan mungkin sebaliknya mendatangkan manfaat yang berarti (khususnya pada pembangunan maupun rehabilitasi ruas-ruas jalan di Kabupaten Indramayu).

1.5. Batasan Masalah

Dari penelitian ini diharapkan dapat mengetahui campuran kadar semen 2% terhadap pengaruh penambahan *spent catalyst* yang ideal dengan menggunakan bahan tanah dasar (*subgrade*).

Adapun ruang lingkup penelitian meliputi antara lain:

- Pengujian laboratorium untuk menentukan sifat fisik tanah (*index properties*) sebelum dan sesudah dicampur, ini dilakukan di laboratorium Dinas PU Bina Marga Kabupaten Indramayu Jalan Pahlawan nomor : 62 Indramayu.
- Sample tanah diambil dari tanah dasar (*subgrade*) yang ada di kabupaten Indramayu, sedang penggunaan *spent catalyst* RCC diambil dari limbah UP. VI PERTAMINA Balongan Kabupaten Indramayu.
- Variasi campuran tanah-semen dan *spent catalyst* dengan menggunakan prosentase 2% semen terhadap berat kering tanah, selanjutnya penambahan prosentase *spent catalyst* 2%, 4%, 6 % dan 8% terhadap berat kering tanah.
- Pengujian yang dilakukan, dibatasi dengan pengujian batas *Atterberg*, pemadatan (*density*), kuat tekan bebas (UCS), *California Bearing Ratio (CBR)*, potensi pengembangan dari tanah ekspansif (*swelling potential test*).

1.6. Hipotesis

Stabilisasi tanah ekspansif, antara tanah-semen 2% dengan penambahan *spent catalyst RCC* dapat meningkatkan daya dukung tanah, dan dapat memperkecil kembang susut (*swelling*), serta peningkatan nilai CBR.

1.7. Lokasi Penelitian

Lokasi pengambilan sampel tanah untuk penelitian adalah pada Ruas Jalan Ampera Kota Jatibarang, Ruas Jalan Pahlawan Kota Indramayu dan Ruas Jalan Jatibarang – Kadipaten pada daerah perbatasan dengan Kabupaten Majalengka.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Stabilisasi Tanah

Stabilisasi tanah adalah upaya rekayasa untuk memperbaiki mutu tanah yang tidak baik dan meningkatkan mutu dari tanah yang sebetulnya sudah tergolong baik. Tujuan dari stabilisasi tanah yaitu untuk meningkatkan kemampuan daya dukung tanah dalam menahan serta meningkatkan stabilitas tanah.

Pada umumnya ada dua cara stabilisasi tanah, yaitu dengan cara mekanis dan cara kimiawi. Stabilisasi tanah secara mekanis bertujuan untuk mendapatkan tanah yang bergradasi baik (*well graded*) sedemikian rupa sehingga dapat memenuhi spesifikasi yang diinginkan. Pada prinsipnya stabilisasi tanah secara mekanis dengan penambahan kekuatan dan daya dukung terhadap tanah yang ada dengan mengatur gradasi dari butir tanah yang bersangkutan dengan meningkatkan kepadatannya. Menambah dan mencampur tanah yang ada (*natural soil*) dengan jenis tanah yang lain sehingga mempunyai gradasi baru yang lebih baik. Yang perlu diperhatikan dalam stabilisasi tanah secara mekanis adalah gradasi butir tanah yang memiliki daya ikat (*binder soil*) dan kadar air.

Stabilisasi secara kimiawi dapat dilakukan dengan penambahan bahan *additive*, di Indonesia stabilisasi secara kimiawi dilakukan pada tanah-tanah kohesif (tanah liat) karena tanah liat tersebut secara ekonomis dipakai *stabilizing agent*.

Stabilisasi dapat dilakukan berupa tindakan-tindakan sebagai berikut:

- Perbaikan Secara dinamis yaitu pemadatan tanah dengan alat pemadat
- gradasi dengan cara menambah tanah pada fraksi tertentu yang dianggap kurang sehingga tercapai suatu gradasi yang rapat. Fraksi yang kurang biasanya adalah fraksi yang berbutir kasar, cara yang dilakukan adalah mencampur tanah dengan fraksi butir kasar seperti pasir dan kerikil atau pasir saja
- Stabilisasi kimiawi dengan menambahkan bahan kimia tertentu sehingga terjadi reaksi kimia. Bahan yang biasanya digunakan antara lain *portland cement*, kapur tohor dan bahan kimia lainnya. Stabilisasi ini dilakukan dengan dua cara yaitu mencampur tanah dengan bahan

kimia kemudian diaduk dan dipadatkan, cara kedua adalah memasukan bahan kimia kedalam tanah (*grouting*).

- Pembongkaran dan penggantian tanah jelek. Pada tanah yang mengandung bahan organik akan terjadi pembusukan apabila terkena beban akan mengalami penurunan yang tidak sama. Perbaikan dilakukan dengan mengganti tanah dengan tanah yang berkualitas baik, misalnya dengan tanah yang memiliki CBR yang sesuai.

Untuk tanah yang mempunyai sifat yang tidak sesuai terhadap rencana teknis atau pada tanah lempung, yang mempunyai perilaku yang kurang menguntungkan konstruksi sipil karena daya dukung yang sangat rendah, tanah tersebut dapat dilakukan stabilisasi atau diperbaiki dengan beberapa cara, yang sering dilakukan antara lain:

- Perbaikan permukaan tanah dengan menggunakan drainase.
- Perpindahan yaitu dengan mengganti lapisan tanah yang tidak menguntungkan atau jelek.
- Timbunan imbalan (*counter weight fill*), misal untuk bangunan tanggul dimaksudkan untuk mengimbangi sisi tanggul supaya stabil, bilamana tidak diperoleh faktor keamanan yang diperlukan terhadap longsor selama penimbunan dilaksanakan.
- Memberikan pembebanan perlahan-lahan diterapkan bilamana kekuatan geser tanah pondasi tidak besar dan cenderung akan runtuh jika timbunan dilaksanakan dengan cepat, tetapi berakibat pekerjaan bertambah lama.

2.1.1. Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Cara *Removal dan Replacement*

Metode ini dilakukan dengan cara mencampur tanah ekspansif dengan tanah non ekspansif, diharapkan dengan mencampur kedua jenis tanah ini dapat memperbaiki sifat dari tanah ekspansif. Tinggi dari timbunan tanah non ekspansif harus tepat agar didapat kekutan yang diinginkan. Tidak ada petunjuk yang tepat,

berapa tinggi timbunan tersebut. Menurut Chen (1988) merekomendasikan 1 meter sampai dengan 1,30 meter.

Keuntungan dari metode ini adalah:

- Tanah non ekspansif yang dicampurkan mempunyai sifat density dan daya dukung lebih besar, sehingga dapat memperbaiki tanah ekspansif yang mempunyai nilai density rendah.
- Biaya dari metode ini lebih ekonomis dari metode stabilisasi tanah ekspansif lainnya, karena metode ini tidak membutuhkan peralatan konstruksi yang mahal.

Kerugian dari metode ini adalah ketebalan dari tanah ekspansif yang telah dicampur dengan tanah non ekspansif akan menjadi lebih tebal sehingga memungkinkan tidak sesuai dengan ketebalan yang telah ditentukan.

2.1.2. Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Cara *Remolding* dan *Compaction*

Swelling potensial dari tanah ekspansif dapat diperbaiki dengan cara merubah nilai *density* tanah tersebut (Holtz,1959). Metode ini menunjukkan bahwa pemadatan pada nilai *density* yang rendah dan pada kadar air dibawah kadar optimum yang terlihat pada test *Standart Proctor* dapat mengakibatkan lebih sedikit *swelling potensial* dari pemadatan pada nilai *density* yang tinggi dan kadar air yang lebih rendah.

2.1.3. Stabilisasi tanah Ekspansif Dengan Cara *Chemical Admixtures*

a. Stabilisasi Tanah Dengan Kapur

Stabilisasi tanah dengan kapur telah banyak digunakan pada proyek-proyek jalan dibanyak negara. Untuk hasil yang optimum kapur yang digunakan biasanya antara 3% sampai dengan 7%. Thomson (1968) menemukan bahwa dengan kadar kapur antara 5% sampai dengan 7% akan menghasilkan kekuatan yang lebih besar dari kadar kapur 3%.**

b. Stabilisasi Tanah Dengan Semen

Hasil yang didapat dengan stabilisasi tanah dengan semen hampir sama stabilisasi tanah dengan kapur. Menurut Chen (1988) dengan menambahkan semen pada tanah akan dapat meningkatkan *shrinkage limit* dan *shear strength*.

c. Stabilisasi Tanah Dengan *Fly ash*.

Fly ash dapat juga dipergunakan sebagai *stabilizing agents* karena apabila dicampur dengan tanah akan terjadi reaksi *pozzolonic*. Pada tanah lunak kapur yang akan dicampur *fly ash* dengan perbandingan satu banding dua terbukti dapat meningkatkan daya dukung tanah.

2.2. Daya Dukung Tanah

Tanah yang akan dibangun suatu konstruksi di atasnya, diharuskan mempunyai nilai daya dukung tanah yang besar. Hal ini dimaksudkan agar kekuatan tanah tidak terlampaui oleh beban yang ada di atasnya. Apabila kekuatan tanah terlampaui maka penurunan yang berlebihan akan berakibat terjadinya kerusakan struktur yang ada di atasnya.

Untuk tanah lempung pembuatan konstruksi di atasnya akan selalu menimbulkan tegangan pori. Biasanya waktu yang diperlukan untuk penyusutan tegangan pori jauh lebih lama daripada waktu yang diperlukan untuk mendirikan konstruksi di atas lapisan lempung tersebut. Ini berarti kekuatan geser tanah lempung tidak akan banyak mengalami perubahan selama masa pembangunan konstruksi tersebut.

Nilai daya dukung tanah diperoleh dari hasil pengujian CBR (*California Bearing Ratio*), baik dari pengujian lapangan maupun hasil pengujian laboratorium. Untuk lapisan tanah dasar asli nilai CBR didapat dari uji lapangan dengan alat DCP (*Dynamic Cone Penetrometer*) atau dengan alat sondir. Dapat juga dilakukan pengujian di laboratorium dengan cara pengambilan contoh tanah dengan silinder (*mold*)

Daya dukung tanah asli (lempung lunak) dibawah timbunan dapat dianalisa dengan rumus Terzaghi (1943).

$$q_{ult} = q' + q''$$

Keterangan :

q' = porsi daya dukung yang diasumsikan tanpa berat tanah pondasi

q'' = porsi daya dukung dari berat tanah pondasi.

2.3. Bahan-bahan Yang Digunakan

2.3.1. Tanah

Tanah didefinisikan sebagai material yang terdiri dari agregat (butiran) material-material yang tidak tersedimentasi (terikat secara kimia) satu sama lain dan dari bahan-bahan organik yang telah melapuk (berpartikel padat) disertai dengan zat cair dan gas yang mengisi ruangan-ruangan kosong diantara partikel-partikel padat tersebut. Partikel tanah berukuran sangat beragam dengan variasi yang cukup besar.

Ada beberapa sistem dalam pengklasifikasian tanah, klasifikasi tanah dimaksudkan untuk menentukan jenis tanah sehingga diperoleh gambaran sepintas tentang jenis tanah. Sebagaimana diketahui tanah terbentuk akibat perubahan cuaca, keadaan medan dan adanya tumbuh-tumbuhan selama kurun waktu yang cukup lama. Sehingga untuk mendeskripsikan tanah dibutuhkan pengetahuan tentang sifat-sifat asli tanah, formasi batuanya, ukuran butirnya, warna, tekstur dan konsistensi dari tanah yang bersangkutan.

Dalam pandangan teknik sipil, tanah adalah himpunan mineral, bahan organik, dan endapan-endapan yang relatif lepas (*loose*), yang terletak diatas batuan dasar (*bedrock*). Ikatan antara butiran yang relatif lemah dapat disebabkan oleh karbonat, zat organik, atau oksida-oksida yang mengendap diantara partikel-partikel. Ruang diantara partikel-partikel dapat berisi air, udara ataupun keduanya. Proses pelapukan batuan atau proses geologi lainnya yang terjadi di dekat permukaan bumi membentuk tanah. Pembentukan tanah dari batuan

induknya, dapat berupa proses fisik maupun kimia. Proses pembentukan tanah secara fisik yang mengubah batuan menjadi partikel-partikel yang lebih kecil, terjadi akibat pengaruh erosi, angin, air, es, manusia, atau hancurnya partikel tanah akibat perubahan suhu atau cuaca. Partikel-partikel mungkin berbentuk bulat, bergerigi maupun bentuk-bentuk diantaranya. Umumnya, pelapukan akibat proses kimia dapat terjadi oleh pengaruh oksigen, karbondioksida, air (terutama yang mengandung asam atau alkali) dan proses-proses kimia yang lain. Jika hasil pelapukan masih berada di tempat asalnya, maka tanah ini disebut *tanah residual (residual soil)* dan apabila tanah berpindah tempatnya, disebut tanah terangkut (*transported soil*).

Istilah pasir, lempung, lanau atau lumpur digunakan untuk menggambarkan ukuran partikel pada batas ukuran butiran yang telah ditentukan. Akan tetapi, istilah yang sama juga digunakan untuk menggambarkan sifat tanah yang khusus. Sebagai contoh, lempung adalah jenis tanah yang bersifat kohesif dan plastis, sedang pasir digambarkan sebagai tanah yang tidak kohesif dan tidak plastis.

Kebanyakan jenis tanah terdiri dari banyak campuran atau lebih dari satu macam ukuran partikel. Tanah lempung belum tentu terdiri dari partikel lempung saja, akan tetapi dapat bercampur butir-butiran ukuran lanau maupun pasir dan mungkin juga terdapat campuran bahan organik. Ukuran partikel tanah dapat bervariasi dari lebih besar 100 mm sampai dengan lebih kecil dari 0,001 mm. Gambar 2.1 menunjukkan batas interval ukuran butiran lempung, lanau, pasir dan kerikil menurut USCS (*Unified Soil Classification system*). ASTM (*American Society for Testing Material*), MIT dan *International Nomenclature*.

	1,7 mm	0,38	0,075
Unified Class System	Sedang	Halus	Butiran halus (lanau dan lempung)
	Pasir		

	2,0 mm		0,420			0,075		0,005		0,001	
ASTM	pasir sedang		Pasir halus			lanau		lempung		lempung koloidal	
	2,0 mm		0,6	0,2		0,06		0,006	0,002	0,0006	
			0,0002 mm								
MIT nomenclature	kasar		sedang	halus		ksr	sedang	halus	kasar	sedang	Halus
	Pasir					lanau			Lempung		
	2,0 mm	1,0	0,5	0,2	0,1	0,05	0,02	0,006	0,002	0,0006	0,0002
International nomenclature	sangat kasar	kasar	Sdg	halus	Kasar	halus	ksr	halus	kasar	hls	sangat hls
	pasir				M _o		lanau		Lempung		

Gambar 2.1. Klasifikasi Butiran Tanah Menurut *Unified Soil Classification*

System, ASTM, MIT, dan International Nomenclature

Guna menunjang pengkajian dan penelitian terhadap “Pengaruh Penambahan *Spent Catalyst* RCC Pada Stabilisasi Tanah-Semen Terhadap Kembang Susut dan Daya Dukung Tanah Ekspansif Sebagai *Subgrade* Jalan“, maka dibutuhkan pengetahuan serta pemahaman yang baik tentang sifat-sifat tanah. Sifat-sifat tanah berdasarkan teori yang ada terdiri dari sifat fisik (*index properties*) dan sifat keteknikan (*engineering properties*), pemahaman terhadap kedua sifat ini sangatlah penting untuk diketahui sebagai dasar dalam mengambil suatu keputusan yang berkaitan dengan perkerasan pondasi (jalan, jembatan, bendung, bendungan dan yang lainnya).

Sifat fisik dan sifat keteknikan tanah, lebih ditentukan oleh jenis dari klasifikasi tanah itu sendiri. Pengklasifikasian tanah dimaksudkan untuk mempermudah pengelompokan berbagai jenis tanah ke dalam kelompok tanah yang sesuai dengan sifat teknik dan karakteristiknya. Tanah sebagai *subgrade* yang berhubungan dengan kestabilan maupun daya dukungnya, faktor yang terpenting untuk ditinjau yaitu sifat-sifat dari tanahnya, hal itu diantaranya adalah jenis butiran dan tingkat gradasinya.

Cara USCS (*Unified Soil Classification System*) adalah sistem yang diusulkan oleh Prof. Arthur Cassagrande, USCS ini didasarkan pada sifat tekstur

tanah. Pengelompokan tanah sistem ini menempatkan tanah dalam 3 kelompok, tanah berbutir kasar, tanah berbutir halus dan tanah organis.

Tanah berbutir kasar adalah tanah yang mempunyai prosentase lolos saringan nomor 200 < 50%. Tanah ini dibagi dalam simbol-simbol tertentu sebanyak 15 buah, diantaranya yaitu:

- Simbol Komponen

- Kerikil	<i>G</i>	<i>(Gravel)</i>
- Pasir	<i>S</i>	<i>(Sand)</i>
- Lanau	<i>M</i>	<i>(Mo)</i>
- Lempung	<i>C</i>	<i>(Clay)</i>
- Organik	<i>O</i>	<i>(Organic)</i>
- Humus	<i>Pt</i>	<i>(Peat)</i>

- Simbol Gradasi

- Bergradasi baik	<i>W</i>	<i>(Well Graded)</i>
- Bergradasi Buruk	<i>P</i>	<i>(Poorly graded)</i>

- Simbol Batas Cair

- Tinggi	<i>H</i>	<i>(High)</i>
- Rendah	<i>L</i>	<i>(Low)</i>

2.3.1.1. Tanah Berbutir Kasar

Tanah berbutir kasar dibagi lagi atas:

- Krikil dan tanah kerikil (G)
- Pasir dan tanah kepasiran (S)

Yang termasuk tanah kerikil adalah tanah yang mempunyai persentase lolos saringan nomor 4 > 50% termasuk kelompok pasir. Baik pasir maupun kerikil dibagi lagi menjadi 4 Kelompok

Kelompok GW dan SW: tanah kerikil dan kepasiran yang bergradasi baik dengan butiran halus yang sedikit atau tanpa butiran halus yang non plastis (lolos saringan nomor 200 < 5%). Syarat yang harus dipenuhi:

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}} > 4$$

$$C_c = \frac{(D_{30})^2}{D_{10} \times D_{60}} ; \quad (\text{antara 1-3})$$

Kelompok GP dan SP: tanah kerikilan dan kepasiran yang bergradasi buruk dengan butiran halus sedikit yang non plastis (tidak memenuhi persyaratan C_u dan C_c).

Kelompok GM dan SM: tanah kerikil atau pasir kelanauan (lolos saringan nomor 200 > 12%) dengan plastis rendah atau non plastis. Batas cair dan indeks terletak dibawah garis A. Dalam kelompok ini bisa termasuk baik yang bergradasi baik maupun yang bergradasi buruk. GM dan SM masing-masing dibagi lagi dalam sub kelompok dengan penambahan huruf d dan ; jika batas cair < 25% dan indeks plastisitas < 5 dan untuk sebaliknya. Jadi simbol khusus misalnya adalah GMd, Gmu, SMd dan Smu.

Kelompok GC dan SC: tanah kerikilan atau kepasiran dengan butiran halus (lolos saringan nomor 200 < 12%) lebih bersifat lempung dengan plastisitas rendah sampai tinggi. Batas cair dan indeks plastisitas tanah ini terletak diatas garis A dalam grafik plastisitas.

2.3.1.2. Tanah Berbutir Halus

Tanah berbutir halus dibagi dalam lanau (M) yang berasal dari bahasa Swedia. Mo/Myala dan lempung (C) yang didasarkan pada batas cair dan indeks plastisitasnya. Juga tanah organis (O) termasuk dalam kelompok ini.

Lanau adalah tanah berbutir halus yang mempunyai batas cair dan indeks plastisitas terletak dibawah garis A dan lempung berada diatas garis A. Lempung organis adalah pengecualian dari peraturan diatas karena batas cair dan indeks plastisitasnya berada dibawah garis A. Lanau, lempung dan tanah organis dibagi

lagi menjadi batas cair yang rendah (L) dan tinggi (H). Garis pembagi antara batas cair yang rendah dan tinggi ditentukan pada angka 50.

- Kelompok ML dan MH adalah tanah yang diklasifikasikan sebagai lanau pasir, lanau lempung atau lanau organik dengan plastisitas relatif rendah. Juga termasuk tanah jenis butiran lepas, bubuk batu, tanah yang mengandung mika juga beberapa jenis lempung *kaolin* dan *illite*.
- Kelompok CH dan CL terutama adalah lempung organik. Kelompok CH adalah lempung dengan plastisitas sedang sampai tinggi mencakup lempung gemuk, *bentonite* dan lempung gunung api tertentu. Lempung dengan plastisitas rendah yang diklasifikasikan CL biasanya adalah lempung kurus, lempung pasiran atau lempung lanau.
- Kelompok OL dan OH adalah tanah yang ditunjukkan sifat-sifatnya dengan adanya bahan organik. Lempung dan lanau organik termasuk dalam kelompok ini dan mereka mempunyai plastisitas pada kelompok ML dan MH

2.3.1.3. Tanah Lempung Ekspansif

Mineral lempung adalah merupakan hasil dari pelapukan tanah akibat reaksi kimia yang menghasilkan susunan kelompok partikel berukuran koloid dengan diameter butiran lebih kecil dari 0,002 mm. Partikel lempung berbentuk seperti lembaran yang mempunyai permukaan khusus, sehingga lempung mempunyai sifat sangat dipengaruhi oleh gaya-gaya permukaan. Terdapat 15 macam mineral yang diklasifikasikan sebagai mineral lempung (*Kerr, 1959*). Diantaranya terdiri dari kelompok-kelompok: *montmorillonite*, *illite*, *kaolinite* dan *polygorskite* Terdapat pula kelompok yang lain, misalnya: *chlorite*, *vermiculite*, dan *halloysite*.(1)

Beberapa pendapat para peneliti mengenai definisi daripada tanah lempung yaitu antara lain:

- Das(1995), mengatakan bahwa tanah lempung merupakan tanah dengan ukuran mikrokonis sampai dengan sub mikrokonis yang berasal

dari pelapukan unsur-unsur kimiawi penyusun batuan. Tanah lempung sangat keras dalam keadaan kering dan bersifat plastis pada kadar air sedang. Pada keadaan air lebih tinggi lempung bersifat lengket (*kohesi*) dan sangat lunak.

- Grim(1992), mendefinisikan tanah lempung sebagai tanah yang terdiri dari partikel-partikel tertentu yang menghasilkan sifat plastis apabila dalam kondisi basah.

(1) Mekanika Tanah I Hary Christady Hardiyatmo hal 20 GADJAH MADA UNIVERSITY PRESS Juli 2002

- Bowles(1986), mendefinisikan tanah lempung sebagai deposit yang mempunyai partikel yang berukuran lebih kecil atau sama dengan 0,002 mm dalam jumlah lebih dari 50%.
- Hardiatmo(1992), mengatakan sifat-sifat yang dimiliki dari tanah lempung yaitu antara lain ukuran butiran-butiran halus $> 0,002$ mm, *permeabilitas* rendah, kenaikan air kapiler tinggi, bersifat sangat *kohesif*, kadar kembang susut yang tinggi dan proses konsolidasi lambat.

Lempung terdiri dari partikel yang berbentuk lempengan pipih dan merupakan partikel-partikel dari mika, mineral lempung dan mineral lainnya. Faktor utama yang digunakan untuk mengontrol ukuran, bentuk, sifat fisik, sifat kimia dan partikel tanah, menurut Mitchell, J.K (1976), adalah mineralogi. Sifat fisik (*index properties*) dan sifat mekanis (*engineering properties*) tanah lempung dikendalikan oleh mineral yang terkandung di tanah tersebut. Mineral tersebut terutama terdiri dari aluminium silikat yang terdiri dari silikat *tetrahedral* dan aluminium *octahedral*. Mineral-mineral ini terutama terdiri dari kristalin dimana atom-atom yang membentuknya dalam suatu pola geometri tertentu. Setiap unit *tetrahedral* terdiri dari 4 atom oksigen mengelilingi satu atom *silicon*, sedangkan unit *octahedral* terdiri dari 6 atom oksigen yang mengelilingi satu atom *silicon*.

Pengidentifikasi tanah ekspansif pada awal penyelidikan tanah, diperlukan untuk melakukan metode pengujian yang tepat di laboratorium. Klasifikasi yang didasarkan atas *index properties* tanah seperti kandungan

lempung dan plastisitas, yang umum dilaksanakan dalam praktek untuk pengidentifikasian tanah ekspansif.

Ada beberapa metode yang biasanya digunakan untuk pengidentifikasian tanah lempung yaitu:

a. Uji Klasifikasi Teknik

Hasil pengujian *index properties* dapat digunakan untuk mengidentifikasi tanah ekspansif. Dari harga index plastisitas dan sifat perubahan volume tanah yang berhubungan dengan jumlah partikel yang lebih kecil dari 0,001 mm, yaitu yang sifatnya tergantung dari gaya permukaan dan bukan gaya gravitasi, Skempton (1953) mengemukakan bahwa dari parameter aktifitas (A_c) sebagai berikut:

$$\text{Aktifitas (A)} = \frac{\text{Indeks Plastisitas}}{C - 10}$$

C = Persentase fraksi lempung < 0,002

Untuk nilai $A > 1,25$ digolongkan aktif dan sifatnya ekspansif, nilai $1,25 < A < 0,75$ digolongkan normal, sedangkan nilai $A < 0,75$ digolongkan tidak aktif. Tabel 2.1. menunjukkan hubungan antara aktifitas dan kandungan mineral tanah lempung. Lempung ekspansif dapat juga digolongkan berdasarkan kadar *colloid* (Tabel 2.2.), berdasarkan lolos saringan No. 200 dan batas cair (Tabel 2.3.), dan berdasarkan batas susut (Tabel 2.4.).

Tabel 2.1. Hubungan Aktifitas dan Kandungan Mineral

Mineral	Aktifitas
Kaolinite	0,33 – 0,46
Illite	0,99
Montmorillonite (C_a)	1,5
Montmorillonite (N_a)	7,2

Sumber : Skempton (1953)

Tabel 2.2. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Kadar *Colloid*

Data Index Properties	% Total	Degree
-----------------------	---------	--------

Colloid (<0,00 mm)	Liquid Limit (%)	Standart Penetration	Volume Change	Of Ekspansion
> 28	> 35	< 11	> 30	Very High
20-13	25-41	7-12	20-30	High
13-23	15-28	10-16	10-20	Medium
< 15	< 28	> 15	< 10	Low

Sumber : Holtz dan Gibbs (1956)

Tabel 2.3. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan % Lolos Saringan No.200 dan Batas Cair

Laboratory and Field Data			% Total Volume Change	Degree Of Ekspansion
Persen Passing No.200	Liquid Limit (%)	Standart Penetration		
> 95	> 65	> 30	> 10	Very High
60-95	40-60	20-30	3-10	High
30-60	30-40	10-20	1-5	Medium
< 30	< 30	< 20	< 1	Low

Sumber : Chen (1965) dalam Chen (1988)

Tabel 2.4. Klasifikasi Tanah Ekspansif Berdasarkan Batas Susut

Linier Shrinkage	SL (%)	Probable Swell	Degree Of Ekspansion
< 5	>12	< 0.5	Non Critical
5 - 8	10 – 12	0.5 -1.5	Marginal
> 8	< 12	< 1.5	Critical

Sumber : Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

b. Uji Mineralogi

Didalam uji mineralogi ada beberapa cara yang yang biasa dipergunakan, yaitu antara lain:

1. Dipfraksi Sinar X (*X-Ray Difraction*)

Merupakan metoda yang paling terkenal dan paling sering dipergunakan untuk menentukan perbandingan dari berbagai mineral yang terdapat pada lempung, ini dilakukan dengan cara membandingkan intensitas dari garis difraksi berbagai mineral terhadap garis bahan standar.

2. Analisa Kimia

Analisa ini digunakan sebagai pelengkap dari metoda sinar X.

3. Mikroskop Elektron (*Elektron Microscope Resolution*)

Kegunaan dari metode ini adalah untuk menentukan komposisi mineral tekstur dan struktur mineral.

4. Dye Absorption

Bahan celup dan reagen lainnya akan menimbulkan warna tertentu jika diserap lempung, sehingga dapat juga dipergunakan untuk identifikasi lempung.

c. Uji Terhadap Batas-batas *Atterberg*

1. Kriteria Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

Kriteria ini menggunakan persen dari tanah lempung karena menurut Altmeyer beberapa laboratorium mekanika tanah tidak menyertakan analisa hidrometer. Dalam menggolongkan tanah ekspansif menggunakan *linier shrinkage* dan *shrinkage limit* (SL) atau lihat Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan Linier *Shrinkage* dan *Shrinkage Limit*

<i>Linier Shrinkage</i>	<i>SL (%)</i>	<i>Probable Swell</i>	<i>Degree Of Ekspansion</i>
< 5	> 12	< 0.5	<i>Non Critical</i>
5 - 8	10 - 12	0.5 - 1.5	<i>Marginal</i>
> 8	< 12	< 1.5	<i>Critical</i>

Sumber : Altmeyer (1955) dalam Altmeyer (1995)

2. Kriteria Raman (1967)

Kriteria Raman ini menggolongkan batas-batas Atterberg pada tanah ekspansif dengan menggunakan dua parameter yaitu PI (*Plasticity Index*) dan SL (*Shrinkage Limit*) (lihat Tabel 2.6.)

Tabel 2.6. Kriteria Tanah Ekspansif Berdasarkan PI dan SI

<i>Plasticity Index</i> (%)	<i>Shrinkage Index</i> (%)	<i>Degree Of Ekspansion</i>
< 12	< 15	Low
12-23	15-30	Medium
23-30	30-40	High
> 30	> 40	Very High

Sumber : Raman (1967)

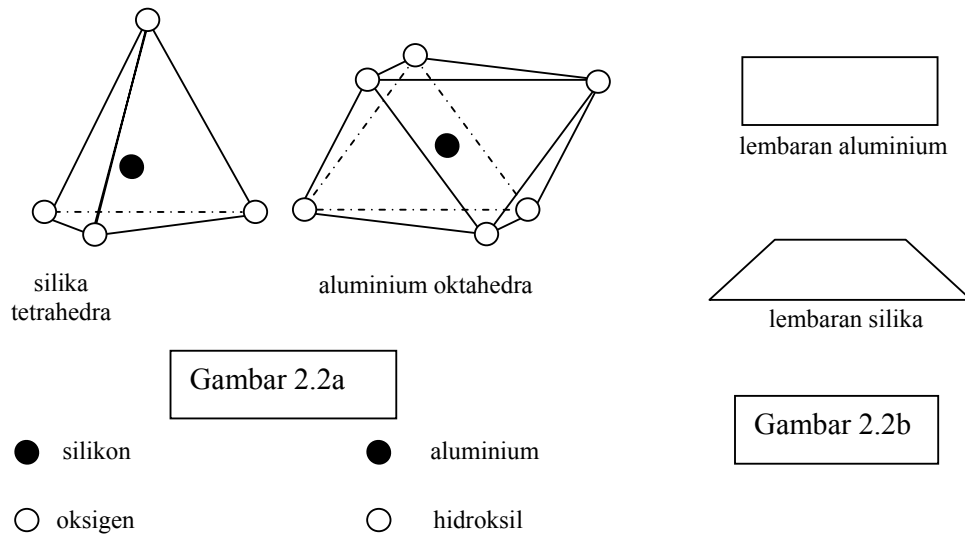
3. Kriteria Chen (1988)

Pada kriteria Chen nilai *swelling potential* pada tanah ekspansif hanya didasarkan pada parameter PI (*Plasticity Indeks*) saja (lihat tabel 2.7.)

Tabel 2.7. Kriteria Pengembangan Berdasarkan PI

Plasticity Indeks (%)	Swelling Potensial
0-15	Low
10-35	Medium
20 - 55	High
> 55	Very High

Sumber : Pusat Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan (2000)



Gambar.2.2. Mineral-mineral Lempung

Susunan kebanyakan tanah lempung terdiri dari silika *tetrahedra* dan aluminium *oktahedra* (Gambar 2.2a). Silika dan aluminium secara parsial dapat digantikan oleh elemen yang lain dalam kesatuannya, keadaan ini dikenal sebagai *substitusi isomorf*. Kombinasi susunan dari kesatuan dalam bentuk susunan lempeng simbol diperlihatkan dalam (Gambar 2.2b). Berbagai macam lempung terbentuk oleh kombinasi tumpukan dari susunan lempeng dasarnya dengan bentuk yang berbeda-beda.

Kaolinite merupakan mineral dari kelompok *kaolin*, terdiri dari susunan satu lembar silika *tetrahedra* dengan satu lembar aluminium *oktahedra*, dengan satuan susunan setebal $7,2 \text{ \AA}$ ($1 \text{ angstrom (A}^\circ) = 10^{-10} \text{ m}$) (Gambar 2.3). Kedua lembar terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembar silika dan satu lapisan lembar *oktahedra* membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembar silika dan aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Kedua lembar terikat bersama-sama, sedemikian hingga ujung dari lembar silika dan satu lapisan lembar *oktahedra* membentuk suatu lapisan tunggal. Dalam kombinasi lembar silika aluminium, keduanya terikat oleh ikatan hidrogen. Pada keadaan tertentu, partikel *kaolinite* mungkin lebih dari 100 tumpukan yang sukar dipisahkan. Karena itu, mineral ini stabil dan air tidak dapat

masuk diantara lempengan (air dapat menimbulkan kembang susut pada sel satuannya).

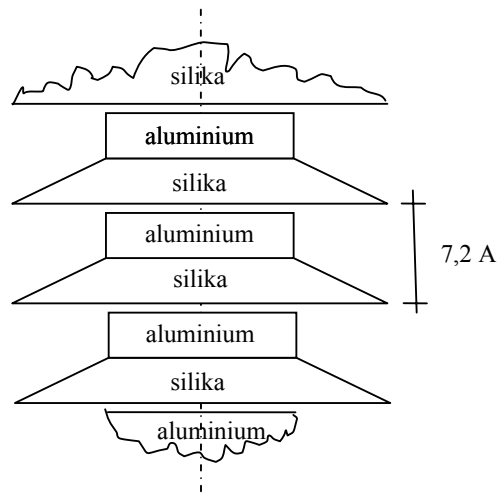
Halloysite hampir sama dengan *kaolinite*, tetapi kesatuan yang berurutan lebih acak ikatannya dan dapat dipisahkan oleh lapisan tunggal molekul air. Jika lapisan tunggal air menghilang oleh karena proses penguapan, mineral ini akan berkelakuan lain. Maka, sifat tanah berbutir halus yang mengandung *halloysite* akan berubah secara tajam jika tanah dipanasi sampai menghilangkan lapisan tunggal molekul airnya. Sifat khusus lain adalah bentuk partikelnya menyerupai silinder-silinder memanjang, tidak seperti *kaolinite* yang berbentuk pelat-pelat.

Montmorillonite, disebut juga *smectite*, adalah mineral yang dibentuk oleh dua lembar silika dan satu lembar aluminium (*gibbsite*) (Gambar 2.4). Lembaran oktahedra terletak diantara dua lembar silika dengan ujung tetrahedra tercampur dengan hidroksil dari lembaran oktahedra untuk membentuk satu lapisan aluminium oleh magsenium. Karena adanya gaya ikatan *Van der Waals* yang lemah diantara ujung lembaran silika dan terdapat kekuatan muatan negatif dalam lembaran oktahedra, air dan ion-ion yang berpindah-pindah dapat masuk dan memisahkan lapisannya, jadi kristal *montmorillonite* sangat kecil tapi waktu tertentu mempunyai gaya tarik yang kuat terhadap air. Tanah-tanah yang mengandung *montmorillonite* sangat mudah mengembang oleh tambahan kadar air. Tekanan pengembangan yang dihasilkan dapat merusak struktur ringan dan perkerasan jalan raya.

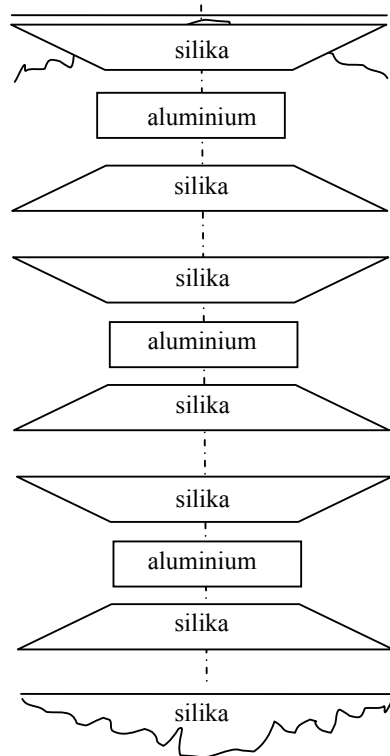
Illite adalah bentuk mineral lempung yang terdiri dari mineral-mineral kelompok *illite*. Bentuk susunan dasarnya terdiri dari sebuah lembaran aluminium *oktahedra* yang terikat diantara dua lembar silika tetrahedra. Dalam lembaran *oktahedra*, terdapat subsitusi parsial aluminium oleh magnesium dan besi, dan dalam lembaran *tetrahedra* terdapat pula substitusi silikon oleh aluminium (Gambar. 2.5). lembaran-lembaran terikat bersama-sama oleh ikatan lemah ion-ion kalium (K^+). Susunan *illite* tidak mudah mengembang oleh air diantara lembaran-lembarannya.

Ditinjau dari mineral pembentuk butirannya, tanah lempung dibagi menjadi dua kelompok; yaitu lempung non ekspansif dan lempung ekspansif.

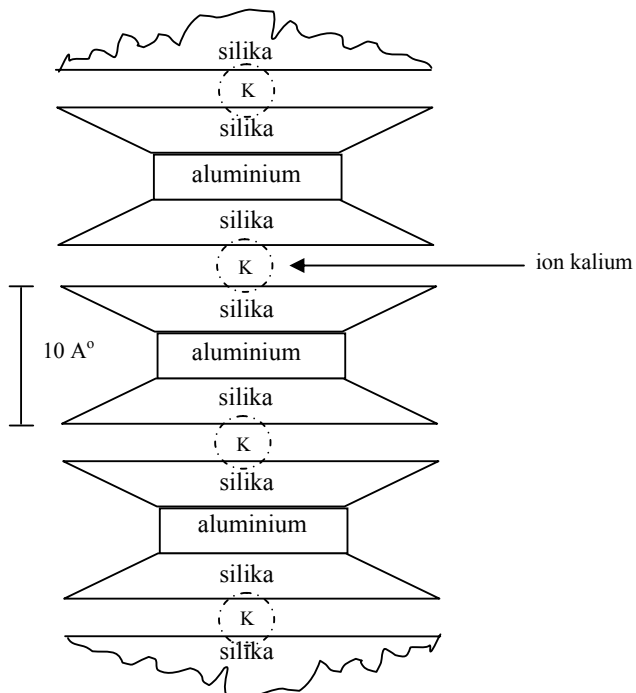
Lempung non ekspansif yaitu lempung yang butirannya terbentuk dari mineral non ekspansif, sedangkan lempung ekspansif adalah lempung yang butirannya terbentuk oleh mineral ekspansif.



Gambar 2.3. Diagram Skematik Struktur *Kaolinite*



Gambar 2.4. Diagram Skematik Struktur *Montmorillonite*



Gambar 2.5. Diagram Skematik Struktur *Illite*

Berdasarkan sistem klasifikasi tanah lempung yaitu tanah yang semua butirannya mempunyai ukuran 2 mikron. Tanah lempung tersebut dapat diklasifikasikan menjadi beberapa jenis tergantung dari beberapa komposisi serta mineral pembentuk butirannya

2.3.1.4. Tanah Organik Tinggi

Tanah ini dibagi lagi tetapi diklasifikasikan dalam satu kelompok Pt (*peat*). Biasanya mereka sangat mudah ditekan dan tidak mempunyai sifat sebagai bahan bangunan yang diinginkan. Tanah khusus dari kelompok ini adalah “*peat*”

”, humus, tanah lumpur dengan tekstur organis yang tinggi. Komponen umum dari tanah ini adalah partikel-partikel daun, rumput, dahan atau bahan-bahan yang regas lainnya. Kadang-kadang titik potong dari antara kadar air dan PI tepat pada garis A dalam hal ini diperlukan dua lambang. Untuk $LL = 50$ dan $PI = 22$, tanah diklasifikasikan sebagai CH-MH dan jika $LL = 50$ dan $PI < 22$ maka tanah ML-MH atau OL-OH tergantung dari kadar organis yang ada. Untuk lebih mudahnya klasifikasi tanah menurut USCS dapat dilihat pada Tabel 2.8.

Berbagai jenis tanah dengan pengecualian tanah dengan kandungan organik tinggi dapat distabilisasikan dengan semen. Tanah granular, pasir dan lanau dengan gradasi butiran yang bagus memerlukan sedikit semen untuk mengeras. Tanah-tanah ini mudah dihancurkan, mudah diproses dibawah berbagai kondisi cuaca. Tanah plastis yang kohesif dan lempung berat memerlukan kandungan semen lebih tinggi dan mungkin sulit dihancurkan dan dicampur dengan semen secara efisien. Pada lempung berat demikian hanya mungkin distabilisasikan dengan semen dibawah kondisi laboratorium. Dalam kebiasaan, tanah lempung dengan batas cair lebih besar dari 50 sangat jarang langsung distabilisasikan dengan semen. Sering terjadi dalam proses stabilisasi tanah lempung untuk merubah karakteristik tanah dengan menambah (2-3)% kapur atau semen sebagai awal pengikatan (*Purpurizion*). Maksud dari perlakuan awal adalah untuk mengurangi plastisitas dan mengembalikan tanah menjadi lebih mudah dikerjakan (Ingles dan Metcalf, 1972).

Tabel 2.8. Klasifikasi Tanah Cara USCS

PEMBAGIAN UTAMA		SIMBOL	NAMA JENIS TANAH		
1	2	3	4		
<p>TANAH BERBUTIR KASAR</p> <p>Lebih dari setengah materialnya lolos saringan nomor 200</p>	KERIKIL	Kerikil bersih (tanpa atau sedikit mengandung bahan halus)	GW	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi baik tanpa atau dengan sedikit bahan halus	
		Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih kasar dari saringan nomor 4	Kerikil dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	GP	Kerikil, kerikil campur pasir bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus
			PASIR	Pasir bersih (tanpa atau	GM
					GC
				SW	Pasir, pasir kerikil bergradasi buruk, baik tanpa atau dengan sedikit bahan

	Lebih dari setengah fraksi kasarnya lebih halus dari saringan nomor 4	sedikit mengandung bahan halus)		halus.
SP			Pasir, pasir kerikilan bergradasi buruk tanpa atau dengan sedikit bahan halus	
SM		Pasir lanauan, pasir campur lanau		
		Pasir dengan bahan halus (banyak mengandung bahan halus)	SC	Pasir kelempungan, pasir campur lempung
TANAH BERBUTIR HALUS Lebih dari setengah materialnya lebih halus dari saringan nomor 200	LEMPUNG DAN LANAU	Batas cair kurang dari 50	ML	Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau kelempungan atau lanau kelempungan sedikit plastis.
			CL	Lanau organik dengan plastisitas rendah sampai sedang, lempung kerikilan, lempung pasir, lempung lanauan, lempung humus
			OL	Lempung organik dan lempung lanauan organik dengan plastisitas rendah
		Batas cair lebih dari 50	MH	Lempung organik, tanah pasir halus atau tanah lanauan mengandung mika atau diatome lanau elastis
			CH	Lempung anorganik dengan plastisitas tinggi, lempung ekspansif
			OH	Lempung organik dengan plastisitas sedang sampai tinggi, lanau organik
			Pt	Gambut dan tanah organik lainnya

2.3.2. Semen

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 *hidroulic cement*.

Istilah semen di Indonesia atau didunia perdagangan yang dimaksud adalah sebagai *portland cement* (PC). *Portland cement* merupakan pengikat anorganis yang juga termasuk bahan hidraulic yang dapat mengeras dengan adanya air.

Semen *portland* didefinisikan sebagai suatu hasil produksi yang terdiri dari sebagian besar kalsium silikat yang didapat dari pemanasan hingga meleburnya campuran homogen, bahan yang utamanya berisikan kapur (C_aO) dan silikat (S_iO_2) dengan sejumlah kecil alumunia (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3), (Sherwood, 1993). Persyaratan komposisi kimia semen portland secara lengkap harus berpedoman dengan *ASTM Designation C 150-92*, seperti yang terlihat pada Tabel 2.9.

Distribusi ukuran butir semen portland adalah antara 0,5-100 mikron, campuran tanah dengan semen umumnya berkisar antara (4-15)% dari berat tanah. Campuran tanah-semen akan mengakibatkan kenaikan kekuatan dengan periode

waktu kekuatan perawatan yang relatif singkat sehingga untuk melanjutkan konstruksi tidak harus menunggu lama. Hal ini menguntungkan jika pelaksanaan pekerjaan menunjukkan waktu yang kritis. Oleh karena itu waktu pelaksanaan stabilisasi tanah-semen tidak boleh melebihi waktu proses pengerasan (pengikatan) PC yaitu kurang lebih 2 (dua) jam, sebab tanah bisa pecah akibat pemadatan.

Tabel 2.9. Standar ASTM Pada Stabilisasi Tanah Dengan Campuran 1992

JENIS SEMEN PORTLAND	I Dan IA	II Dan IIA	III Dan IIIA	IV	V
Silicon Dioxide (SiO ₂), min, %	-	20,2	-	-	-
Aluminium Oxide (Al ₂ O ₃), max, %	-	6,0	-	-	-
Ferric Oxide (Fe ₂ O ₃), max, %	-	6,0	-	6,5	-
Magnesium Oxide (MgO), max, %	6,0	6,0	6,0	6,0	6,0
Sulfur Trioxide (SO ₃), max, %	-	-	-	-	-
When (C ₃ A) is 8 % less	3,0	3,0	3,5	2,3	2,3
When (C ₃ A) is more than 8 %	3,5	NA*	4,5	NA*	NA*
Loss in ignition, max, 8 %	3,0	3,0	3,0	2,5	3,0
Insoluble residue, max %	0,75	0,75	0,75	0,75	0,75
Tricalcium Silicate (C ₃ S), max, %	-	-	-	35	-
Dicalcium Silicate (C ₂ S), max, %	-	-	-	40	-
Tricalcium Aluminate (C ₃ A), max, %	-	8,0	15,0	7,0	5,0
Tetracalcium Aluminate tambah dua kali Tricalcium Aluminate {C ₄ AF+2(C ₃ A)} atau Solid Solution (C ₄ AF+C ₂ F), a applicable, max, %	-	-	-	-	25,0

Catatan : NA = Tidak bisa diterangkan (*not applicable*)

2.3.3. Spent Catalyst

Spent catalyst adalah merupakan limbah dari penyulingan minyak tanah yang ada di Kabupaten Indramayu Jawa Barat, mempunyai sifat *Pozzolanik* dan terutama terdiri dari oksidasi silica, alumunia, ferro dan lain-lain. Berdasarkan hasil pengujian laboratorium Kimia Pusat dan Pengembangan Geologi, Jalan Diponegoro Nomor : 57 Bandung, unsur kimia yang terdapat dalam *spent catalyst* ditunjukkan pada Tabel 2.10.

Tabel 2.10. Hasil Pengujian Susunan Mineral *Spent Catalyst* RCC

No.	Parameter Mineral	Kadar (%)
1	SiO ₂	47,13
2	AL ₂ O ₃	45,34
3	Fe ₂ O ₃	0,61
4	CaO	0,16

5	MgO	0,26
6	Na ₂ O	0,45
7	K ₂ O	0,15
8	TiO ₂	0,70
9	MnO	0,02
10	H ₂ O	0,56
11	LOI/HD	4,29

Lembaga Penelitian UNPAD kerja sama dengan PERTAMINA, Tahun 2000 halaman 3-22

Berdasarkan penelitian *Michael W. Grutzeck dan Feng Naiqian*, dengan pengurangan antara (10-4)% semen *portland* oleh mineral *zeolth* (yang merupakan bahan pozolan alam yang mempunyai karakteristik yang mendekati *spent catalyst* RCC) dengan kehalusan/ukuran butir rata-rata 60 mikron, terhadap beton mutu tinggi dapat menaikkan kekuatan tekan antara (10-15)% dengan tanpa mengurangi karakteristik lainya dari beton tersebut. Suatu bahan bersifat *pozzolanic*, salah satunya apabila mengandung jumlah SiO₂+Al₂O₃+Fe₂O₃ minimum 70 % (ASTM C.618).

Mekanisme proses terjadinya peningkatan kekuatan beton oleh adanya bahan bersifat *pozolan* adalah sebagai berikut:

Terjadinya proses hidrasi antara semen dengan air



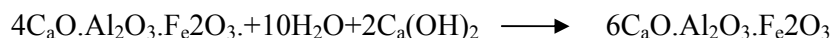
H)₂

Trikalsium Silikat Kapur Bebas



2C_aO.2S_iO₂.3H₂O+3C_a(OH)₂

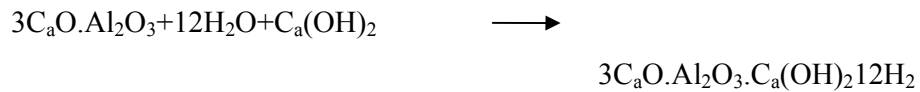
Dikalsium Silikat Kapur Bebas



12H₂O

Tetra Kalsium Alumino Ferite

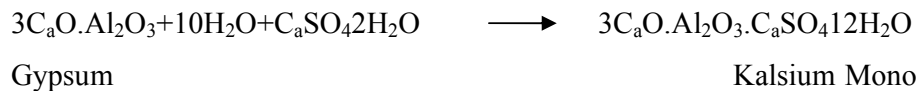
Kalsium Alumino Hidrat



O

Trikalsium Aluminat
Hidrat

Tetra Kalsium Aluminat

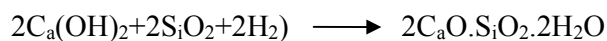


Gypsum

Kalsium Mono

Sulfoaluminat

- Dari persamaan reaksi tersebut diatas, terlihat adanya $C_a(OH)_2$ bebas
- Dengan adanya *spent catalyst* dalam beton semen portland, $C_a(OH)_2$ bebas akan diikat oleh silikat yang terkandung didalamnya, dengan reaksi sebagai berikut:



Reaksi Pozzoland

Dengan reaksi tersebut campuran beton menjadi lebih padat (*impermeable*) dan lebih kuat serta tahan sulfat.(2)

2.3.4. Air

Air yang digunakan dalam proses stabilisasi tanah semen dan *spent catalyst*, harus bersih dan tidak mengandung asam, alkali, bahan organik, minyak, sulfat dan klorida. Air diperlukan untuk hidrasi, untuk memudahkan pengerjaan dan memfasilitasi pepadatan, umumnya air yang dapat diminum akan memuaskan (Metcalf, 19770). Sesuai SNI 03-3438-1994, persyaratan air untuk stabilisasi dengan semen adalah seperti dijelaskan dalam Tabel 2.11. sebagai berikut:

Tabel 2.11. Persyaratan Air Untuk Stabilisasi Dengan Semen

No.	Jenis Pengujian	Nilai Yang Diijinkan	Metode Pengujian
1	PH	4,5 - 8,5	SNI M03-1990-F

2	Bahan Organik	Maks.2000ppm	AASHTO T26-79
3	Minyak	< 2% of cement	SNI M68-1990-03
4	Ulfat, Na ₂ SO ₄	< 10000 ppm	SNI 06-2426-1990
5	Klorida, NaCl	< 20000 ppm	SNI 06-2431-1991

(2) Laporan Lembaga Penelitian UNPAD Bandung Implementasi dan Sertifikasi Pemanfaatan Katalis Bekas RCC Sebagai Filler Beton Aspal dan Mineral admixture Beton Struktur dan non Struktur Tahun 2000.

2.4. Interaksi Dan Sifat-Sifat Campuran Tanah Semen

Ketika semen ditambahkan pada tanah maka akan terjadi reaksi, proses reaksi yang terjadi yaitu proses reaksi primer dan sekunder.

Proses reaksi primer terdiri dari hidrolisis dan hidrasi semen yang oleh karenanya butiran semen membentuk jaringan-jaringan yang kuat untuk mengikat butiran mineral yang berdekatan. Sedang proses reaksi sekunder terdiri reaksi antara butiran tanah dan kalsium hidroksida yang dibebaskan selama hidrasi semen (Kreb & Walker,1971).

Umumnya ada dua istilah yang muncul dalam stabilisasi tanah dengan semen, yaitu modifikasi dan sementasi. Modifikasi meliputi penambahan sejumlah kecil semen (sekitar 0,5% sampai 3% dari berat tanah) untuk mengurangi plastisitas, mengendalikan pengembangan, memperbaiki plastisitas, memperbaiki sifat kekuatan tanpa banyak mengeras atau tanpa peningkatan yang berarti kuat tekan atau tarik dalam keadaan ini derajat sementasi sangat kecil, sekalipun demikian sifat bahan telah diperbaiki dengan cara ini. Bila kuat tekan atau tarik tanah dengan semen mengalami peningkatan yang berarti, ini biasanya disebut sebagai bahan yang tersementasi dan istilah sementasi digunakan. Tidak ada batasan yang jelas antara modifikasi dan sementasi, tetapi NAASRA 1986 mengusulkan bahwa nilai 7 hari, kuat tekan bebas yaitu $0,8 \text{ N/mm}^2$ ($\approx 8,15 \text{ kg/Cm}^2$) dapat menjadi batasan antara keduanya (Sherwood,1993).

Ketika semen berada didalam tanah granular, sementasi sepertinya menyerupai beton kecuali bahwa pasta semen tidak mengisi rongga butiran tanah, melainkan butiran semen kebanyakan mengalami sementasi pada titik kontak. Oleh karenanya, perolehan kekutan tidak hanya tergantung pada jumlah semen.

Juga semakin padat gradasi bahan granular akan memerlukan sedikit semen dan makin efektif distabilisasi daripada bahan yang bergradasi seragam.

Jumlah semen yang diperlukan akan lebih besar pada tanah berbutir halus daripada tanah granular, karena permukaan butiran yang diliputi lebih luas untuk terjadinya sementasi pada titik kontak. Oleh karena itu terdapat perubahan yang berarti pada sifat-sifat tanah. Pada umumnya, kekuatan naik secara linier bersama jumlah semen, tetapi dengan nilai yang berbeda untuk jenis tanah yang berbeda.

2.5. Penelitian Yang Pernah Dilakukan Sebelumnya

Penelitian-penelitian tentang stabilisasi tanah–semen telah banyak dilakukan sebelumnya baik dengan atau tanpa penambahan zat-zat *additive* lainnya. Seperti yang dilakukan oleh:

- **Ferguson,1983; Indraratna, et.al, 1995; Naik and Signh, 1997;** menggunakan stabilisasi tanah-semen yang dicampur *additive* lain berupa *fly ash*, *fly ash* digunakan sebagai pengganti semen. Stabilisasi dengan *fly ash* menggunakan *Cementing agent* yang digunakan relatif sangat tinggi (> 15% tanah asli).
- Anastasia, 1991; dari hasil penelitian pada tanah lempung Bandung yang distabilisasi dengan semen, kadar semen yang digunakan 4%-10% didapat hasil:
 - Dapat menurunkan batas cair rata-rata 30%-40% dan menaikkan batas plastis rata-rata 15%-20% sehingga memberikan penurunan indeks plastis cukup berarti.
 - Semen dapat meningkatkan kekuatan kompresif/kuat tekan tergantung dari jumlah semen yang diberikan dan didapat semen optimum pada kadar 6% dengan kekuatan ultimate sebesar 0,278 kg/cm². Semen dapat menurunkan sensitivitas tanah rata-rata sebesar 50%-70%.

- Yosua, 2000; stabilisasi tanah-semen di Barito Utara sebagai lapis pondasi dengan perbandingan tanah dengan semen 100:0, 97:3, 94:6, 91:9, 88:12, dari keempat kombinasi campuran tanah-semen. Uji batas *atterberg* pada campuran semen yang rendah hanya memberikan sedikit perbaikan dan tidak dapat mencapai persyaratan untuk lapis pondasi bawah maupun untuk lapis pondasi atas. Ini mengisyaratkan bahwa semen tidak dapat berlaku sebagai *modifier (cement modified soil)*. Sifat kekuatan tanah dengan semen dari uji UCS dan CBR memperlihatkan kenaikan yang berarti, seiring dinaikannya jumlah semen dalam tanah. Didapat kombinasi 94:6 (tanah:semen,% terhadap berat) memberikan lapis pondasi bawah yang memenuhi dan ekonomis; dimana didapat nilai UCS 7 hari pemeraman $23,190 \text{ kg/cm}^2$ ($> 22 \text{ kg/cm}^2$), CBR 3 hari permanen 4 hari rendam 167,54 % ($>80\%$).

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilakukan pada tanah *subgrade* yang berlokasi di jalan Ampera kota Jatibarang kabupaten Indramayu, kondisi pada ruas jalan ini mengalami kerusakan yang sangat berat. Pemerintah kabupaten Indramayu dalam hal ini dinas Pekerjaan Umum Bina Marga telah melakukan beberapa perbaikan namun upaya itu selalu gagal, karena setelah dilakukan perbaikan dalam waktu yang relatif singkat (dibawah satu tahun) kerusakan terjadi lagi. Oleh karena itu, *subgrade* pada ruas jalan ini dijadikan *study* penelitian pada tesis ini.

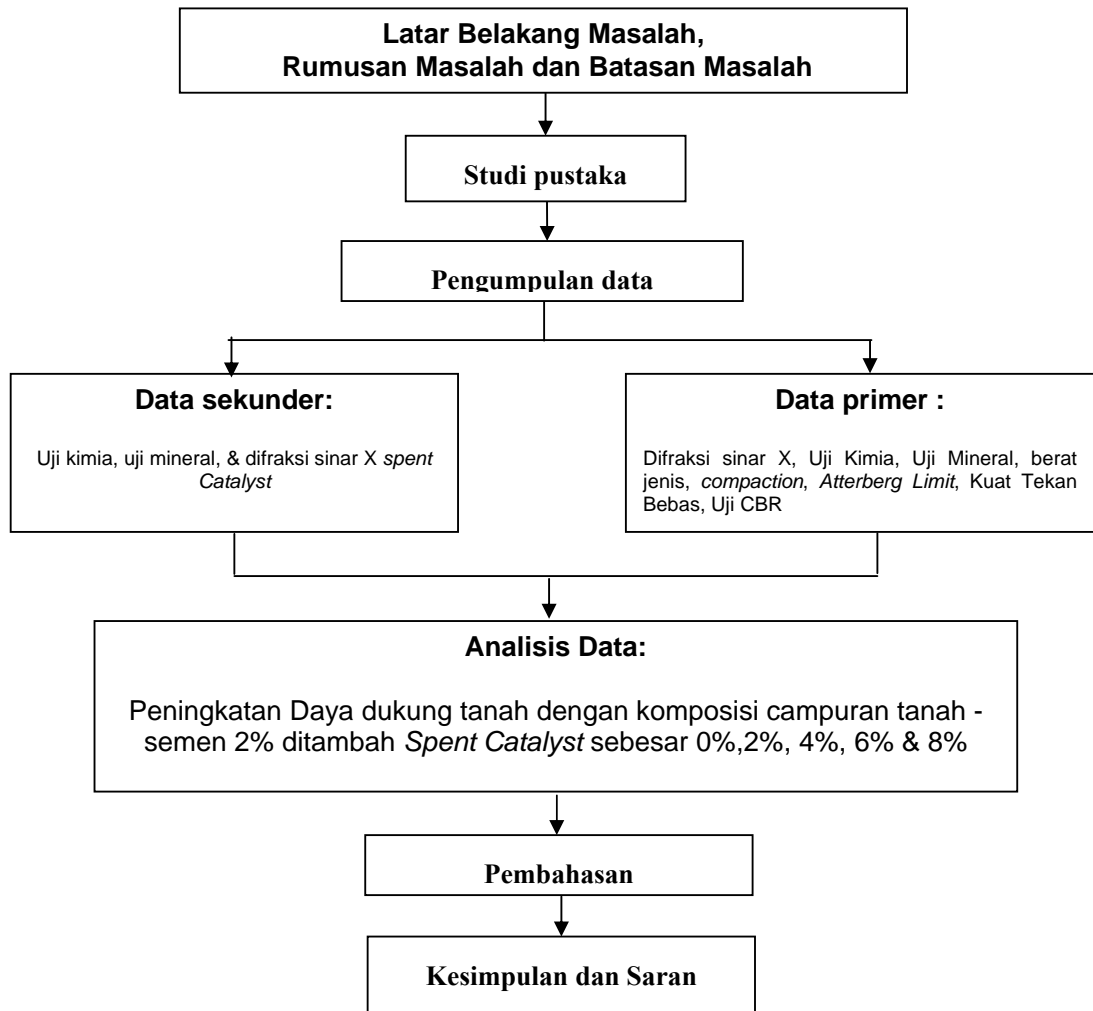
Dari metode penanganan terhadap perbaikan jalan oleh Dinas Pekerjaan Umum kabupaten Indramayu setelah dilakukan perumusan masalah, maka

disimpulkan bahwa adanya kemungkinan lemahnya pada *subgrade* jalan. Berdasarkan hal tersebut maka melalui penelitian ini dicoba untuk melakukan stabilisasi tanah subgrade dengan campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst*, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini yaitu pengambilan tanah *subgrade* pada sisi perkereasan jalan, selanjutnya tanah tersebut dilakukan pengujian mineralogi dan komposisi kimia tanah dengan cara difraksi sinar X di Pusat Penelitian Balai Besar Keramik Bandung, selanjutnya kita melakukan uji sifat fisik dan sifat mekanik dari tanah tersebut di laboratorium Dinas Pekerjaan Umum Bina Marga kabupaten Indramayu. Sedang untuk *spent catalyst* mengambil dari hasil laporan penelitian Unpad Bandung yang bekerjasama dengan Pertamina UP.VI Balongan Indramayu, data yang diambil yaitu kandungan komposisi mineral dan kimia dari *spent catalyst* itu sendiri. Adapun untuk percobaan pengujian campuran, *spent catalyst* diambil dari tempat penimbunan yang berada di UP. VI Balongan Indramayu.

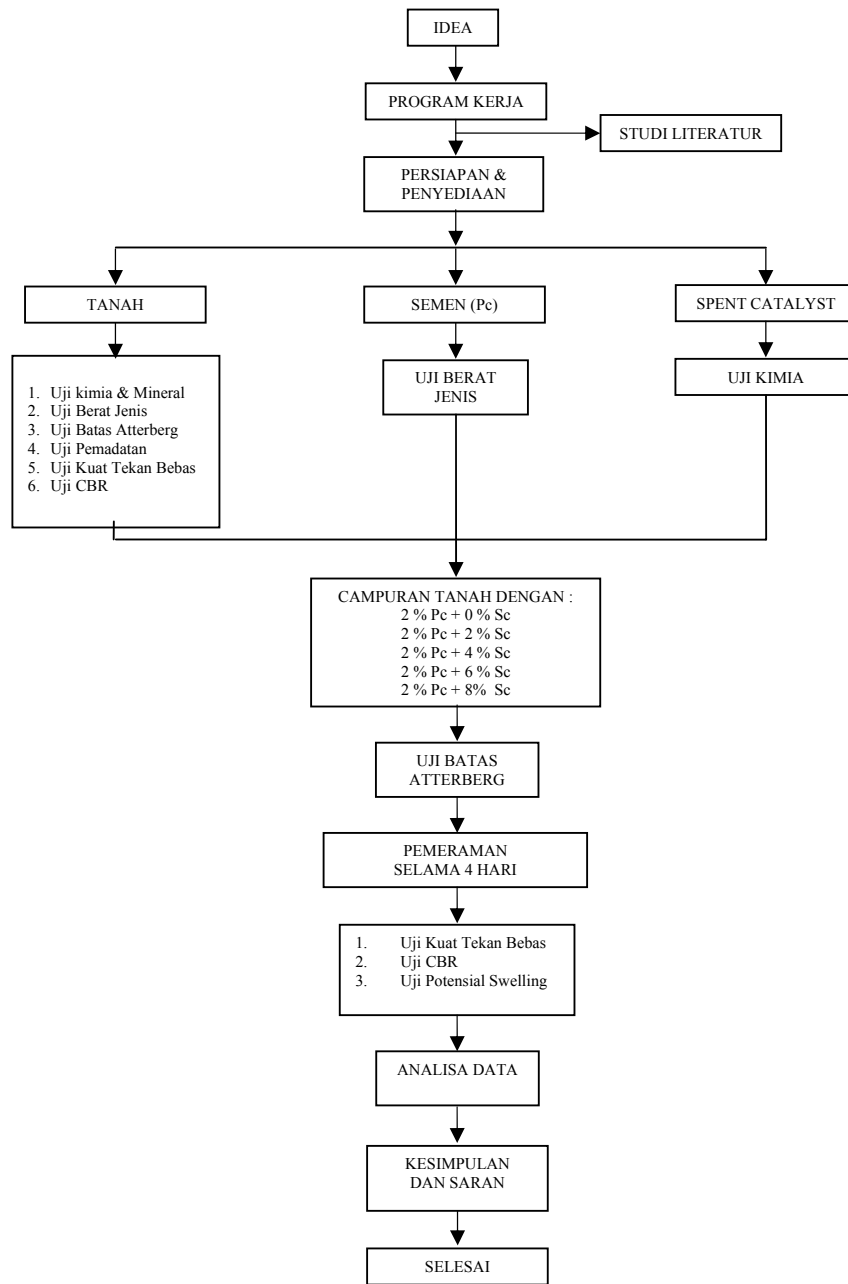
Setelah dilakukan pengumpulan bahan dan data sekunder, selanjutnya dilakukan pengujian percobaan pada tanah asli, tanah asli dengan semen 2% dan penambahan *spent catalyst* secara berangsur-angsur 2%,4%,6% hingga 8%.

Pengujian yang dilakukan yaitu pengujian terhadap batas-batas *Atterberg* , analisa saringan, uji hidrometer, kuat tekan bebas, berat jenis, kadar air optimum, pengujian CBR(*California Bearing Ratio*), *swelling potential* dan batas susut. Dari hasil pengujian tersebut, selanjutnya dilakukan pembahasan yang berkaitan dengan pengaruh penambahan *spent catalyst* terhadap campuran tanah semen 2%.

Tahapan penelitian yang akan dilakukan adalah berdasarkan alur pikir di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alur Pikir



Gambar. 3.2. Diagram Alir

Penelitian ini dilakukan pada tanah ekspansif natural (tanpa campuran bahan *stabilizing agents*) dan tanah ekspansif yang telah diberi *stabilizing agents*

yang pada penelitian ini adalah semen dan *spent catalyst* dengan beberapa variasi persen dari *stabilizing agents*.

Tahapan penelitian meliputi pekerjaan persiapan, pekerjaan uji laboratorium dan analisis terhadap hasil pengujian laboratorium. Skema program penelitian dapat dilihat dalam Diagram Alir Penelitian dalam Gambar 3.2.

3.2 Pekerjaan Persiapan

Persiapan penelitian yang dilakukan terdiri dari:

- Pengadaan literatur yang berkaitan dengan lempung ekspansif dan stabilisasi tanah dengan semen dan *spent catalyst*.
- Pengambilan contoh tanah

Dari tiga 3(tiga) lokasi pengambilan tanah, kita pastikan satu lokasi tanah saja yang diambil untuk sampel penelitian, lokasi pengambilan contoh tanah adalah di jalan Ampera kota Jatibarang, diambil masing-masing 3 sampel pada kedalaman 75 Cm, 100 Cm dan 150 Cm. Contoh tanah diambil dalam keadaan *disturbed* (terganggu).

- Pengadaan semen

Semen yang digunakan untuk penelitian ini adalah semen Portland yang sesuai dengan ASTM C 150-92 yaitu semen tipe I dengan merk semen Tiga Roda.

- Pengambilan bahan *Spent Catalyst RCC UP VI PERTAMINA Balongan Spent Catalyst*, yaitu merupakan limbah dari pengolahan minyak tanah pada Unit Pengolahan IV Balongan Indramayu Jawa Barat.

3.3 Pengujian di Laboratorium

Pengujian yang dilakukan di laboratorium meliputi uji pendahuluan meliputi uji sifat fisik tanah dan sifat mekanis tanah, dan uji kombinasi campuran tanah, semen, dan *Spent Catalyst*.

3.3.1 Uji Pendahuluan

Uji Pendahuluan meliputi uji sifat kimia tanah, identifikasi mineral tanah, komposisi kimia tanah serta sifat fisik dan mekanis tanah asli, yaitu untuk mengidentifikasi jenis tanah yang digunakan tergolong ekspansif atau tidak.

Penentuan komposisi kimia tanah dan *spent catalyst* dilakukan di Balai Besar Penelitian dan Pengembangan Industri Keramik Jalan Ahmad Yani no.392 Bandung. Berdasarkan komposisi kimia dan mineral, dilakukan uji rasional untuk mengetahui besar kandungan masing-masing mineral dan komposisi kimia yang ada. Hasil pengujian ini adalah sebagai pendukung dalam menganalisa/mengkaji yang berkaitan dengan penelitian ini.

3.3.2 Uji Sifat Fisik Tanah

Setelah dilakukan uji kimia untuk mengidentifikasi tanah ekspansif dilakukan juga serangkaian uji fisik.

Uji Fisik yang dilakukan meliputi:

a. Uji Berat Jenis

Pengujian berat jenis untuk butiran tanah lebih halus dari saringan nomor 4 menyesuaikan pada ASTM D 854 dengan bantuan piknometer. Berat jenis didefinisikan sebagai rasio massa diudara dari suatu volume material pada temperatur tertentu terhadap massa dari volume yang sama air suling pada temperatur tertentu.

Dalam penelitian ini, berat jenis diuji pada tanah asli dan pada tanah yang telah dicampur dengan semen dan *spent catalyst*.

Adapun rumus berat jenis tanah (G_s) adalah:

$$G_s = \frac{W_2 - W_1}{(W_4 - W_1) - (W_3 - W_2)}$$

Keterangan:

W_1 = berat piknometer (gram)

W_2 = berat piknometer + tanah kering (gram)

W_3 = berat piknometer + tanah + air (gram)

W_4 = berat piknometer + air (gram)

b. Uji Batas-batas *Atterberg*

Pengujian batas Atterberg dilakukan mengacu pada ASTM D 4318. Metode- metode pengujian ini meliputi penentuan dari batas cair, batas plastis dan batas susut. Pengujian ini dilakukan pada tanah asli dan pada tanah yang telah dicampur dengan semen dan *spent catalyst*.

Batas cair ditentukan dengan melakukan percobaan pada sampel yang ditebarkan pada mangkuk perunggu dan dibagi dua dengan *grooving tool* (alat pencelah). Sampel kemudian dibiarkan jatuh bersama dari guncangan yang disebabkan jatuhnya mangkok berulang kali pada peralatan standart. Diperlukan tiga kali atau lebih coba-coba yang dilakukan sepanjang rentang kadar air dan data yang diplot untuk membuat hubungan sehingga batas cair didapat.

Batas plastis ditentukan dengan menekan dan menggulung suatu porsi kecil tanah plastis sedemikian menyerupai benang dengan \emptyset 3 mm. Contoh tanah yang tepat pada \emptyset 3 mm. Mulai menunjukkan tanah dalam keadaan batas plastis. Kemudian contoh tanah tersebut diperiksa kadar airnya. Jika batangan belum mencapai \emptyset 3 mm sudah menunjukkan retak maka tanah tersebut terlalu kering dan percobaan harus diulang dengan menambahkan kadar airnya dan sebaliknya jika batangan sudah mencapai \emptyset 3 mm dan belum menunjukkan retak maka tanah terlalu basah. Indeks plastisitas (PI) dihitung dengan selisih antara batas cair (LL) dan batas plastis (PL).

Adapun rumus untuk batas plastis adalah:

$$\text{Batas Plastis} = \frac{b - c}{c - a}$$

Keterangan :

a = berat cawan kosong

b = berat cawan + batangan sampel tanah

c = berat cawan + batangan sampel tanah

kering

Batas susut dapat didefinisikan sebagai kadar air terkecil dimana tanah dapat menjadi jenuh sempurna.

Adapun rumus untuk batas susut adalah :

$$\text{Batas Susut} = w - \frac{V_1 - V_2}{W} \times 100\%$$

Keterangan :

w = kadar air tanah basah

V_1 = volume tanah basah

V_2 = volume tanah kering

W = berat tanah kering

3.3.3 Uji Sifat Mekanis Tanah

a. Uji Pemadatan Standar

Uji pemadatan ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D 698. Pengujian ini dilakukan untuk menentukan hubungan antara kadar air dan kepadatan tanah dengan cara memadatkan sampel dalam cetakan silinder berukuran tertentu dengan menggunakan alat penumbuk 2,5 kg dan tinggi jatuh 30 cm.

Adapun perhitungan untuk tes pemadatan ini adalah :

$$\text{Berat isi Basah } (\gamma) = \frac{B_2 - B_1}{(V)}$$

Keterangan:

B_1 = berat mold

B_2 = berat mold + tanah; V = volume mold

$$\text{Berat Isi Kering } (\gamma_d) = \frac{\gamma \times 100}{(100 + w)}$$

Keterangan :

w = kadar air setelah pemadatan

b. Uji Kuat Tekan Bebas

Pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada ASTM D 2166.

Uji kuat tekan bebas ini adalah untuk mengetahui kuat tekan sampel tanah berbentuk silinder yang bebas bagian sampingnya, pecah dalam uji tekan sederhana menggunakan aplikasi *strain controlled* suatu beban axial. Pengujian kuat tekan ini dilakukan pada tanah asli dan juga pada tanah yang sudah diberi campuran semen dan *spent catalyst*. Namun untuk tanah yang sudah diberi campuran semen dan *spent catalyst*, pengujian dilaksanakan pada waktu peram 4 hari, dan 7 hari. Pembacaan tegangan pada pengujian kuat tekan bebas ini dibatasi sampai regangan 20%.

Adapun perhitungan untuk uji kuat tekan bebas adalah :

$$\text{Regangan axial : } \varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

Keterangan :

ε = regangan axial

ΔL = perubahan panjang

L_0 = Panjang contoh awal

$$\text{Luas penampang rata-rata: } A = \frac{A_o}{1 - \varepsilon}$$

Keterangan :

A_o = Luas penampang awal

$$\text{Beban / luas : } \pi \cdot r^2 = \frac{P}{A}$$

c. Pengujian CBR dan *Swelling Potential*

Pemeriksaan CBR (*California Bearing Ratio*) laboratorium mengacu pada AASHTO T-193-74 dan ASTM-1883-73, dimaksudkan untuk menentukan nilai CBR tanah yang dipadatkan di laboratorium pada kadar air tertentu. CBR ialah perbandingan antara beban penetrasi suatu bahan standar dengan kedalaman dengan kecepatan penetrasi tertentu.

Pengujian *swelling potential* ini dilaksanakan mengacu pada ASTM D 4546 atau yang disebut juga *konstan volume test*. Nilai *swelling* yaitu prosentase pengembangan benda uji karena bertambahnya kadar air akibat pemeraman.

3.3.4 Uji Kombinasi Campuran

Pada penelitian ini tanah asli akan dicampur dengan *stabilizing agent* yang dalam hal ini adalah semen dan *spent catalyst*. Campuran tanah dengan semen ini akan dicampur dengan beberapa komposisi jumlah semen dan *spent catalyst* yang berbeda-beda.

Perhitungan komposisi dari campuran tanah dengan semen (PC) dan *spent catalyst* (SC) dapat dilihat pada uraian dibawah ini.

Apabila tanah yang akan digunakan untuk sampel percobaan seberat 1000 gram, maka jumlah semen dan *spent catalyst* yang harus ditambahkan adalah sebagai berikut :

- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 2% SC

$$\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$$

$$\text{Berat } \textit{spent catalyst} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$$

- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 4% SC

$$\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$$

$$\text{Berat } \textit{spent catalyst} = 4\% \times 1000 \text{ gr} = 40 \text{ gr}$$

- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 6% SC

$$\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$$

$$\text{Berat } \textit{spent catalyst} = 6\% \times 1000 \text{ gr} = 60 \text{ gr}$$

- Untuk campuran dengan 2% PC ditambah 8% SC

$$\text{Berat semen} = 2\% \times 1000 \text{ gr} = 20 \text{ gr}$$

$$\text{Berat } \textit{spent catalyst} = 8\% \times 1000 \text{ gr} = 80 \text{ gr}$$

Pencampuran tanah dengan semen dan *spent catalyst* dilakukan dengan prosedur sebagai berikut:

1. Tanah ditumbuk dengan palu karet dan disaring dengan saringan No.40 kemudian periksa kadar air (w) dan simpan dalam kantong plastik yang tertutup rapat.
2. Menghitung berat kering tanah (w_s) dengan persamaan

$$w_s = \frac{W_{wet}}{1 - w}$$

Menghitung dan menimbang jumlah semen dan *spent catalyst* yang dibutuhkan sesuai dengan jumlah perhitungan prosentase perbandingan campuran.

3. Campur tanah dengan semen dan *spent catalyst* sampai teraduk dengan rata.

3.3.5 Perhitungan Jumlah Sampel Yang Diperlukan Untuk Program Pengujian

Jumlah sampel yang diperlukan untuk masing-masing pengujian yang dilaksanakan:

1. Difraksi sinar X: 1 sampel
2. Mineralogi tanah lempung : 1 sampel
3. Komposisi kimia tanah : 1 sampel
4. Pengujian berat jenis : 6 sampel
5. Pengujian pemadatan 6 sampel
6. Pengujian batas *Atterberg*

- 3.2.1.
- Tanah asli : 1 sampel
 - Campuran tanah dengan semen dan *spent catalyst*, seperti dirinci dalam Tabel 3.1

Tabel 3.1. Jumlah sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Spent Catalyst* (SC) Untuk Pengujian Batas *Atterberg*

Campuran Tanah Dengan	Jumlah sampel Untuk Pengujian Batas <i>Atterberg</i>
2% PC + 0% SC	1 sampel
2% PC + 2% SC	1 sampel
2% PC + 4% SC	1 sampel
2% PC + 6% SC	1 sampel
2% PC + 8% SC	1 sampel
Jumlah	5 sampel

Total sampel untuk pengujian batas *Atterberg*: $1 + 5 = 6$ sampel

7. Pengujian Kuat Tekan Bebas
 - Tanah asli : 1 sampel
 - Campuran tanah dengan semen dan *spent catalyst*, seperti dirinci dalam Tabel 3.2

Tabel 3.2. Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Spent Catalyst* (SC) Untuk Pengujian Kuat Tekan Bebas

Campuran Tanah Dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian Kuat Tekan Bebas	
	Waktu Peram 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 0% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 2% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 4% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 6% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 8% SC	1 sampel	1 sampel
Jumlah	5 sampel	5 sampel

Total sampel untuk pengujian Kuat Tekan Bebas : 1 + 5 + 5 = 11 sampel

8. Pengujian *Swelling Potential*

- Tanah asli : 1 sampel
- Campuran tanah dengan semen dan *spent catalyst*, seperti dirinci dalam

Tabel 3.3 Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan

Spent Catalyst (SC) Untuk Pengujian *Swelling*

Potential

Campuran Tanah Dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian <i>Swelling Potential</i>	
	Waktu Peram 4 hari	Waktu Peram 7 hari
2% PC + 0% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 2% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 4% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 6% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 8 % SC	1 sampel	1 sampel
Jumlah	5 sampel	5 sampel

Total sampel untuk pengujian *Swelling Potential*: 1 + 5 + 5 = 11 sampel

9. Pengujian *California Bearing Ratio (CBR)*

- Pengujian Tanah Asli: 1 sampel

- Campuran tanah dengan semen dan *spent catalyst*, seperti dirinci dalam tabel 3.4

Tabel 3.4. Jumlah Sampel Campuran Tanah Dengan Semen (PC) Dan *Spent Catalyst* (SC) Untuk Pengujian *California Bearing Ratio* (CBR)

Campuran Tanah Dengan	Jumlah Sampel Untuk Pengujian <i>California Bearing Ratio</i> (CBR)	
	Waktu Peram	Waktu Peram
	4 hari	7 hari
2%PC + 0% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 2% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 4% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 6% SC	1 sampel	1 sampel
2% PC + 8% SC	1 sampel	1 sampel
Jumlah	5 sampel	5 sampel

Total sampel untuk pengujian *California Bearing Ratio* (CBR):

$$1 + 5 + 5 = 11 \text{ sampel}$$

Tabel.3.5 Jumlah Sampel, Metoda Pengujian dan Laboratorium Pelaksana

No.	Jenis Pengjian	Jumlah Sampel	Metoda Pengujian	Laboratorium
1.	Defraksi Sinar X	1	X-RD	Balai B.P. & P. Industri Keramik, Bandung
2.	Mineralogi Kimia Lempung	1		Balai B.P. & P. Industri Keramik, Bandung
3.	Komposisi Kimia tanah	1	SNI 15/0449/89	Balai B.P. & P. Industri Keramik, Bandung
4.	Berat Jenis	6	ASTM D 4318	Laboratorium DPU Bina Marga Indramayu
5.	Pemadatan	6	ASTM D 698	Laboratorium DPU Bina Marga Indramayu
6.	Batas <i>Atterberg</i>	6	ASTM D 4318	Laboratorium DPU Bina Marga Indramayu
7.	Kuat Tekan Bebas	11	ASTM D 2166	Laboratorium DPU Bina Marga

				Indramayu
8.	<i>Swelling Potential</i>	11	ASTM D 4546	Laboratorium DPU Bina Marga Indramayu
9.	<i>California Bearing Ratio (CBR)</i>	11	ASTM-D-668-78 1883-94 SNI-1744-1989-F	Laboratorium DPU Bina Marga Indramayu

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Penelitian

Setelah dilakukan pengamatan terhadap tanah hasil galian dari masing-masing lokasi dan kedalaman, yang diambil untuk penelitian ini yaitu tanah pada kedalaman (125-150)Cm yang terletak di jalan Ampera kota Jatibarang kabupaten Indramayu. Contoh tanah diambil dalam keadaan terganggu(*disturbed*), dengan bentuk bongkahan-bongkahan tanah. Adapun *spent catalyst* diambil dari tempat penimbunan limbah UP.VI. PERTAMINA Balongan Indramayu dalam keadaan sudah terbungkus plastik, dan dalam kondisi kering.

Hasil penelitian ini secara detail dapat dilihat pada lampiran, adapun secara garis besarnya adalah sebagai berikut:

4.1.1. Karakteristik Tanah Asli

Berdasarkan pengamatan secara visual menunjukkan bahwa tanah tersebut berwarna coklat muda keabu-abuan, dan adanya sisa-sisa organis. Sedang menurut hasil pengujian dan penelitian laboratorium mengenai karakteristik tanah meliputi batas-batas *Atterberg*, klasifikasi butiran, kerapatan maksimum, kadar air optimum, berat jenis, CBR dan nilai kembang susut (*swelling*) seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1. Karakteristik Tanah Asli

PEMERIKSAAN	NILAI
--------------------	--------------

Berat Jenis	2,381 gr/cm ³
Batas Batas Cair	34,35 %
Batas Plastis	20,60 %
Indeks Plastis	13,90 %
Pasir	2,28 %
Lanau/Lempung (lolos saringan # 200)	95,36 %
Lempung (fraksi < 0,002mm)	50,00 %
Kerapatan Kering Maksimum (MDD)	1,360 gr/cm ³
Kadar Air Optimum (OMC)	28,00 %
CBR <i>soaked</i>	6,00 %
<i>Swelling Potential</i>	3,20 %
Batas Susut (<i>Shrinkage Limit</i>)	20,21 %

Dari Tabel 4.1 diatas terlihat bahwa tanah asli tidak memiliki karakteristik tanah ekspansif, ini terbukti dengan nilai indek plastisitas 13,90% yang lebih kecil dari 35% dan jumlah fraksi lempung (< 0,002mm) yang cukup besar yaitu sejumlah 50,00 %.

Kandungan mineralogi tanah yang dihasilkan dari pengujian difraksi sinar X secara lengkap seperti ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2. Kandungan Mineralogi Tanah Asli

Mineral	Kadar (%)
Montmorillonite	6,41
Halloysite	60,20
Calcite	-
Alpha Quartz	20,48
Feldspar	12,91

Dari hasil pengujian kandungan mineralogi pada Tabel 4.2 didapat unsur paling besar adalah *halloysite*, berturut-turut *alpha quartz*, *feldspar* dan *montmorillonite*.

Hasil pengujian komposisi kimia tanah yang mempunyai berat dominan adalah seperti terlihat pada 4.3 sebagai berikut :

Tabel 4.3. Komposisi Kimia Tanah Asli

Komponen	Kadar (%)
S _i O ₂	57,57

Al ₂ O ₃	22,08
Fe ₂ O ₃	2,42
CaO	0,75
MgO	2,18
Na ₂ O	0,37
K ₂ O	0,38
MnO	-
TiO ₂	0,31
P ₂ O ₅	-
H ₂ O	-
Hilang Pijar	13,94

Kandungan komposisi kimia paling besar berdasarkan hasil pengujian pada Tabel 4.3. adalah SiO₂, kemudian berturut-turut Al₂O₃ dan bahan tambahan lainnya (HP).

Pengujian analisa distribusi butir dilakukan dengan percobaan analisa saringan dan percobaan analisa *Hydrometer*.

Hasil percobaan analisa saringan seperti yang terlihat pada Tabel 4.4 yang menunjukkan bahwa 95,36 % butiran lolos saringan no.200 dan hanya 2,28 % tertahan saringan no.200.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Analisis Saringan Tanah Asli

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	P e r s e n t a s e		Persentase Lewat Terhadap Seluruh Contoh
			Tertahan	Lewat	
10	-	-	-	100,00	100,00
20	-	-	-	100,00	100,00
40	-	-	-	100,00	100,00
80	0,49	0,49	0,98	99,02	99,02
100	0,23	0,72	1,44	98,56	97,59
200	0,42	1,14	2,28	97,72	95,36

Sedangkan hasil percobaan analisa *Hydrometer* seperti terlihat pada Tabel

4.5

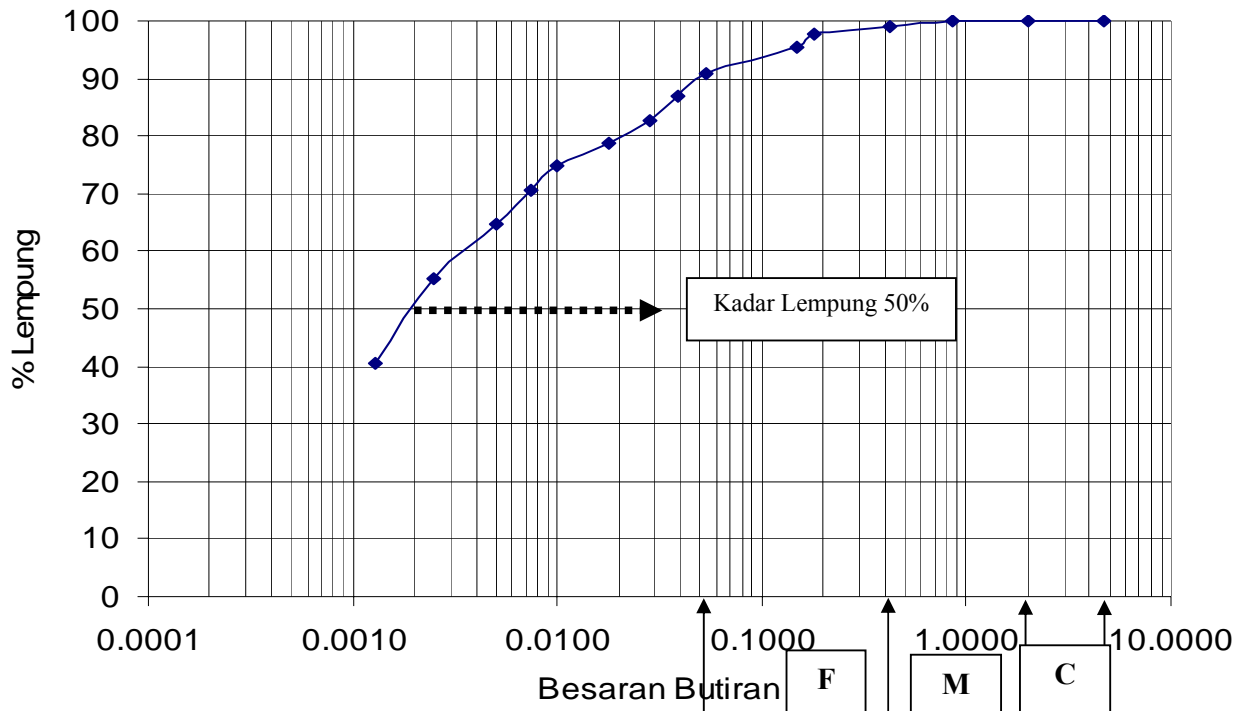
Tabel 4.5 Hasil Pengujian *Hydrometer* Tanah Asli

Pukul	Suhu T° C	Pembacaan Hidrometer R _h	Diameter D	(koreksi suhu) (k)	Pembacaan Terkoreksi R _h + k	Kalibrasi a	Persentase Mengendap	Persentase Mengendap Terhadap Seluruh Contoh
10 : 00								
10:00:30	30,00	43	0,0540	2,00	45,00	1,01	90,90	90,90
10 : 01	30,00	41	0,0385	2,00	43,00	1,01	86,86	86,86
10 : 02	30,00	39	0,0280	2,00	41,00	1,01	82,82	82,82
10 : 05	30,00	37	0,0180	2,00	39,00	1,01	78,78	78,78
10 : 15	30,00	35	0,0100	2,00	37,00	1,01	74,74	74,74
10 : 30	30,00	33	0,0075	2,00	35,00	1,01	70,70	70,70
11 : 00	30,00	30	0,0050	2,00	32,00	1,01	64,64	64,64
14 : 00	31,00	25	0,0025	2,40	27,40	1,01	66,42	66,42
10 : 00	30,00	18	0,0013	2,00	20,00	1,01	40,40	40,40

Dari kedua hasil percobaan tersebut (analisa saringan dan analisa *hydrometer*) digambarkan dalam satu grafik pada kertas *logaritmis* seperti terlihat pada Gambar 4.1, dan dari gambar tersebut menunjukkan bahwa kadar lempung sebesar 50%.

GRAFIK PEMBAGIAN BUTIR

Clay	Silt	Sand	G
------	------	------	---



Gambar 4.1. Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah Asli

4.1.2. *Spent Catalyst*

Hasil pengujian bahan stabilisasi *spent catalyst* adalah seperti ditunjukkan pada Tabel 4.6 sebagai berikut:

Tabel 4.6. Hasil Pengujian Susunan Kimia *spent catalyst* RCC

No.	Parameter Mineral	Kadar (%)
1	SiO ₂	47,13
2	Al ₂ O ₃	45,34
3	Fe ₂ O ₃	0,61
4	CaO	0,16
5	MgO	0,26
6	Na ₂ O	0,45
7	K ₂ O	0,15
8	TiO ₂	0,70
9	MnO	0,02
10	H ₂ O	0,56
11	LOI/HD	4,29

Lembaga Penelitian UNPAD kerja sama dengan PERTAMINA, Tahun 2000

4.1.3 Hasil Pengujian Sifat Fisik Dan Teknik Campuran Tanah +2%PC + Berbagai Variasi Campuran *Spent Catalyst*

Beberapa pengujian dilakukan terhadap campuran tanah semen 2% dengan *spent catalyst* dengan berbagai variasi campuran. Pengujian tersebut meliputi pengujian sifat-sifat teknis berupa pengujian pemadatan, *California Bearing Ratio*, *Unconfined Compressive Strength* dan *swelling potential*. Pengujian sifat-sifat fisik meliputi pengujian berat jenis (Gs), pengujian batas-batas *Atterberg* dan analisa distribusi butir.

Variasi campuran antara tanah +2%semen dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Campuran tanah dengan 2% semen
2. Campuran tanah dengan 2% semen +2% *spent catalyst*
3. Campuran tanah dengan 2% semen +4% *spent catalyst*
4. Campuran tanah dengan 2% semen +6% *spent catalyst*
5. Campuran tanah dengan 2% semen +8% *spent catalyst*

Hasil pengujian masing-masing variasi campuran tersebut dapat diuraikan sebagai berikut:

4.1.3.1 Pengujian Sifat-sifat Fisik Campuran

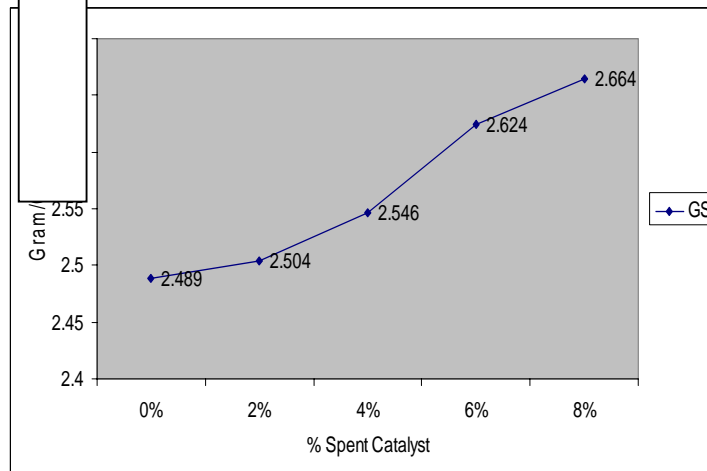
Pengujian dari sifat-sifat fisik campuran, meliputi pengujian *specific gravity* (Gs), analisa distribusi butir, dan batas-batas *atterberg* dengan hasil seperti ditunjukkan pada Lampiran A sampai Lampiran B dengan ringkasanya seperti pada Table 4.7 sebagai berikut:

Tabel 4.7. Karakteristik Tanah Dalam Beberapa Campuran

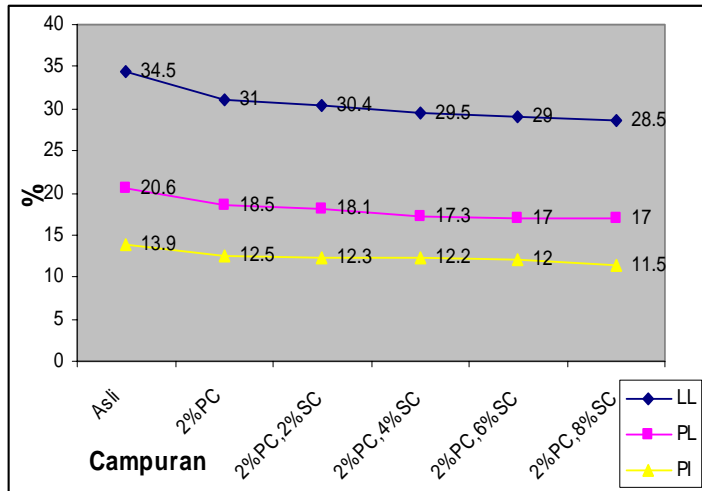
Uraian	Tanah Asli	Tanah +2%PC	Tanah +2%PC+2%SC	Tanah +2%PC+4%SC	Tanah +2%PC+6SC	Tnah +2% PC+8%SC
Berat Jenis (Gs)	2,381	2,489	2,504	2,546	2,624	2,664
Batas Cair	34,50	31,00	30,40	29,50	29,00	28,50
Batas Plastis	20,60	18,50	18,10	17,30	17,00	17,00
Indek Plastis (IP)	13,90	12,50	12,30	12,20	12,00	11,50
Batas Susut	20,21	17,15	16,37	15,60	14,95	13,34
% Lempung	50,00	39,00	33,50	30,00	30,00	27,00

Dari Tabel 4.7 diatas dapat terlihat bahwa:

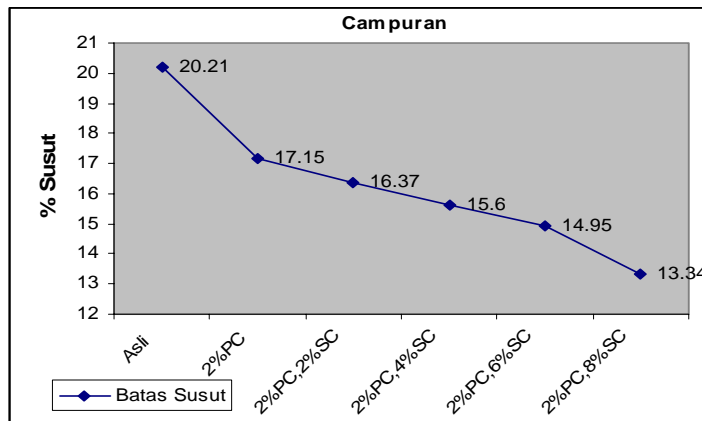
- Batas cair cenderung menurun dengan semakin meningkatnya prosentase campuran *spent catalyst* dari 34,50% menjadi 28,50%
- Batas plastis cenderung menurun dengan semakin meningkatnya prosentase campuran *spent catalyst* dari 20,60% menjadi 17,00%
- Indeks plastisitas cenderung menurun dengan semakin meningkatnya prosentase *spent catalyst* dari 13,90% menjadi 11,50%
- Sebaliknya berat jenis meningkat dengan meningkatnya prosentase campuran *spent catalyst* dari 2,381gram/cm³ menjadi 2,664 gram/cm³
- Kompaksi lempung menurun deari 50% menjadi 27%



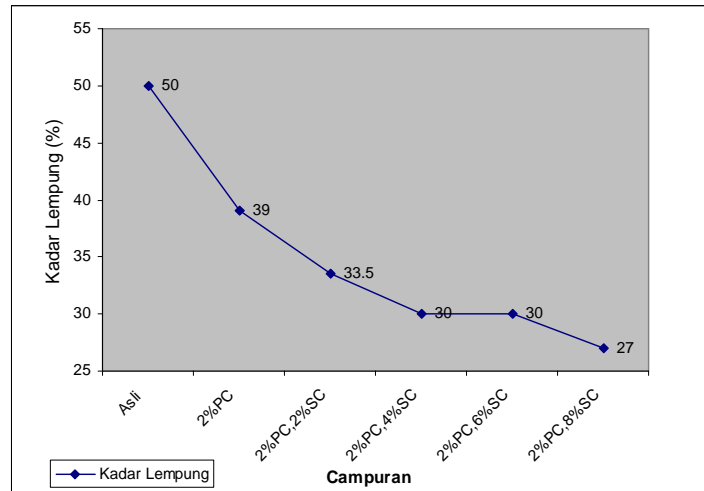
Gambar 4.2. *Specific Gravity* (GS) Hasil Campuran Tanah + 2% PC + Beberapa Kosentrasi Campuran *Spent Catalyst*



Gambar 4.3 Hubungan Antara Batas Cair(LL), Batas Plastis(PL) dan Indeks Plastis(PI) Dalam Beberapa Kosentrasi Campuran



Gambar 4.4. Batas Susut (*Shrinkage Limit*) (%) Dalam Beberapa Konsentrasi Bahan Stabilisasi



Gambar 4.5. Kadar Lempung Dalam Beberapa Kosentrasi Campuran

Dari hasil uji analisa saringan, pengujian *hydrometer* dan batas-batas *atteberg*, maka dapat dihitung nilai aktifitas tanahnya. Untuk menghitung besarnya nilai aktifitas menurut Skempton (1953) sebagai berikut:

$$\text{Aktifitas (A)} = \frac{\text{IndeksPlastisitas}}{C - 10}$$

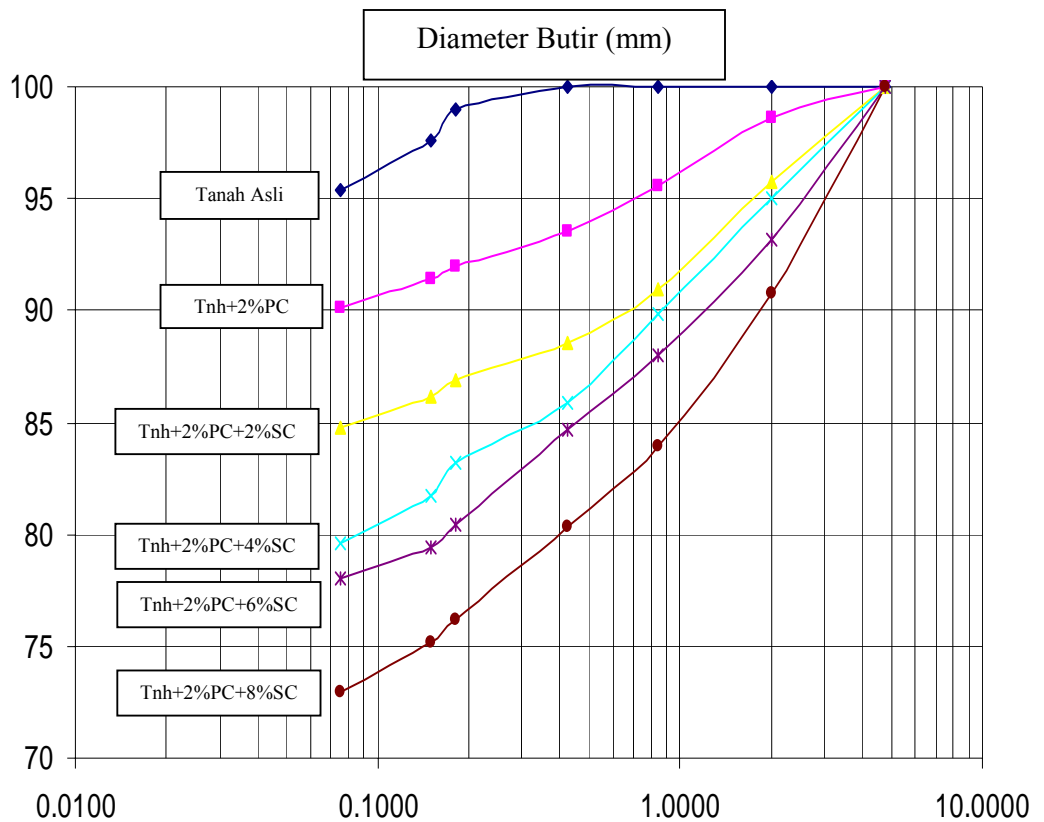
C = Persentase fraksi lempung < 0,002

$$= \frac{13,90}{50 - 10} = 0,3475$$

Jadi nilai aktifitas tanah asli sebesar 0,3475

Tabel 4.8. Hasil Pengujian Analisa Saringan Tanah dan Campuran

N0 Saringan	Diameter (mm)	% Lolos Tanah Asli	% Lolos Tanah +2%PC	% Lolos Tanah +2%PC+2%SC	% Lolos Tanah +2%PC+4%SC	% Lolos Tanah +2%PC+6%SC	% Lolos Tnh +2% PC+8%SC
4	4,750	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00	100,00
10	2,000	100,00	98,60	95,75	95,00	93,15	90,75
20	0,850	100,00	95,54	90,96	89,87	88,03	83,94
40	0,425	100,00	93,57	88,57	85,88	84,67	80,31
80	0,180	99,02	91,99	86,85	83,22	80,39	76,16
100	0,150	97,59	91,40	86,18	81,70	79,46	75,16
200	0,075	95,36	90,14	84,74	79,61	78,06	72,96



Gambar 4.6. Kurva Distribusi Ukuran Butir Tanah dan Campuran

Tabel 4.8 menunjukkan hasil percobaan analisa saringan untuk tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* dari 2% sampai 8% tanpa percobaan *hydrometer* yang hasilnya digambarkan pada Gambar 4.6, dari gambar tersebut terlihat bahwa distribusi butiran yang tertahan saringan no.10 sampai saringan no. 200 mengalami peningkatan, ini menunjukkan adanya pengikatan oleh semen maupun *spent catalyst* terhadap partikel-partikel halus menjadi lebih besar.

4.1.3.2 Pengujian Sifat-sifat Teknis Campuran

Pengujian dari sifat-sifat teknis tanah meliputi pengujian pemadatan, CBR (*California Bearing Ratio*), *swelling* dan UCS (*Unconfined Compressive*

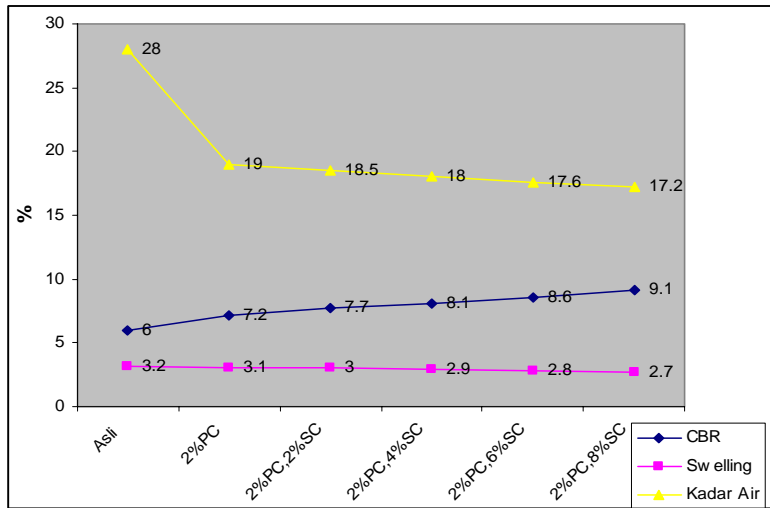
Strength) dengan hasil seperti ditunjukkan pada Lampiran D sampai F atau dalam Tabel 4.9 sebagai berikut:

Tabel 4.9. Hasil Pengujian Sifat Teknis Tanah Dan Campuran

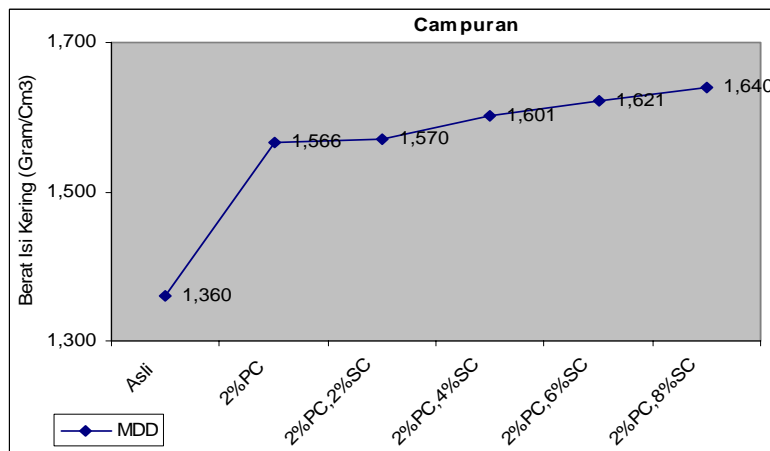
Uraian	Tanah Asli	Tanah +2%PC	Tanah +2%PC+2%SC	Tanah +2%PC+4%SC	Tanah +2%PC+6SC	Tnah +2% PC+8%SC
Kadar Air (OMC) %	28,00	19,00	18,50	18,00	17,60	17,20
Kepadatan (MDD) gr/cm ³	1,360	1,566	1,570	1,601	1,621	1,640
CBR <i>Unsoaked</i> (%)	6,00	7,20	7,70	8,10	8,60	9,10
<i>Swelling Potential</i> (%)	3,20	3,10	3,00	2,90	2,80	2,70
UCS (kg/cm ²)	0,195	0,199	0,210	0,216	0,222	0,237

Dari Tabel 4.9, hasil pengujian sifat-sifat teknis terhadap tanah campuran terlihat bahwa:

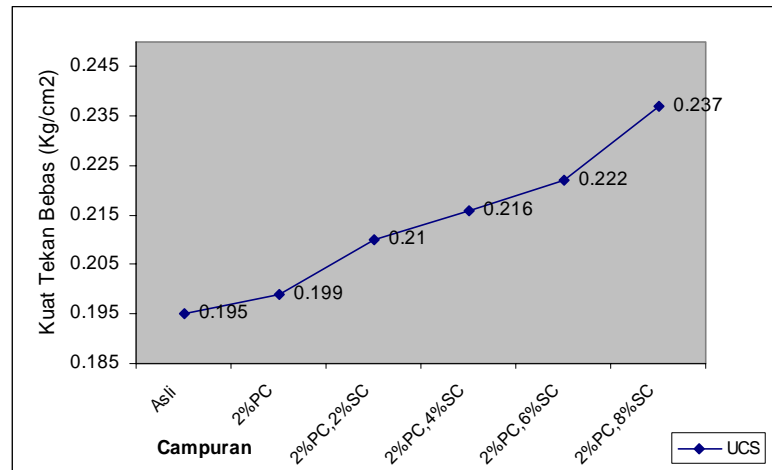
- a. Harga CBR naik dengan penambahan campuran semen dan *spent catalyst* dari semula 6,00% menjadi 9,10%.
- b. *Swelling Potential* mengalami penurunan dari 3,20% menjadi 2,70%
- c. Harga UCS juga mengalami kenaikan dari 0,195 kg/cm² menjadi 0,237 kg/cm²
- d. Kadar air(OMC) mengalami penurunan dari 28,00% menjadi 17,20% dan nilai kepadatan kering mengalami kenaikan dari 1,360 gram/cm³ menjadi 1,640 gram/cm³
- e. Kepadatan kering (MDD) mengalami kenaikan dari 1,360% menjadi 1,640%



Gambar 4.7. Hubungan Kadar Air, *Swelling Potensial* dan CBR Terhadap Beberapa Kosentrasi Campuran



Gambar 4.8. Berat Isi Kering Terhadap Beberapa Konsentrasi Campuran



Gambar 4.9. Nilai *Unconfined Compressive Strength* Terhadap Beberapa Konsentrasi Campuran

4.2. Pembahasan

4.2.1. Material Dasar

Kondisi jalan pada lokasi penelitian mengalami rusak yang parah, kerusakan yang terjadi berupa terbentuknya gelombang di permukaan jalan disertai penurunan secara parsial pada beberapa bagian ruas jalan serta terangkatnya bahu jalan akibat terjadinya penurunan pada perkerasan tersebut. Upaya perbaikan yang dilakukan selama ini dengan memperbaiki lapisan pondasi bawah, pondasi atas dan permukaan. Hal ini masih belum dapat mengatasi permasalahan, karena dalam kurun waktu yang tidak terlalu lama setelah dilakukan perbaikan kerusakan terjadi lagi, kejadian tersebut merupakan sumber petunjuk bahwa kerusakan yang terjadi adalah bukan terletak pada lapisan perkerasan, melainkan pada lapisan tanah dibawah stuktur jalan, yang biasa disebut kegagalan subgrade(*subgrade failure*).

Pada penelitian ini material dasar yang diambil yaitu hasil galian dari ruas jalan yang mengalami kegagalan *subgrade*. Melalui pengujian yang dilakukan dilaboratorium terhadap tanah tersebut, diperoleh sebagaimana yang tercantum pada Tabel 4.1 sampai Tabel 4.9, yang menggambarkan kondisi tanah asli. Kondisi yang tergambarkan melalui Tabel 4.1 sampai Tabel 4.9 meliputi karakteristik tanah, komposisi mineral dan komposisi kimia yang terkandung

didalamnya. Ditinjau terhadap distribusi butiran berdasarkan pengujian analisa saringan dan pengujian hidrometer diperoleh 95,36 % lolos saringan no.200 dan 50,00% adalah merupakan kadar lempung (fraksi < 0,002mm) dengan PI (Indeks Plastis) 13,90% dan LL(Liquid Limit) sebesar 34,50%.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa tanah memiliki indeks plastisitas kurang dari 35% dengan batas cair kurang dari 50,00%, menurut MIT dan ASTM tanah tergolong lempung kasar dan lempung koloidal sampai dengan lempung, sedang menurut USCS tanah tergolong tanah berbutir halus yang merupakan lempung dan lanau, ini menunjukkan bahwa tanah ini adalah jenis ML (Lanau organik dan pasir sangat halus, tepung batu, pasir halus kelanauan atau kelempungan atau lanau kelempungan sedikit plastis), CL (lanau organik dengan plastisitas rendah sampai sedang yang berupa lempung kerikilan, lempung kepasiran, lempung kelanauan dan lempung humus) dan OL (lempung organik dan lempung lanauan organik), menurut Chen(1988) dengan indeks plastis 13,90% menunjukkan bahwa potensi pengembangan(*swelling potential*) tergolong sedang sampai rendah, menurut Altmeyer (1995) dan Raman (1967); termasuk tanah ekspansif tidak kritis dan sedang. Dari beberapa standar klasifikasi tanah, dapat disimpulkan bahwa jenis tanah asli adalah tanah lempung ekspansif sedang dengan potensi pengembangan(*swelling potential*) rendah sampai sedang. Dan menurut Skempton(1953), nilai aktifitas(Ac) yang dihitung berdasarkan nilai PI dan besarnya fraksi lempung diperoleh 0,3475, ini tergolong tanah tidak aktif dengan potensi pengembangan rendah, karena nilai $Ac = 0,3475 < 0,75$ dan termasuk jenis tanah *kaolinite* yang kandungan mineralnya merupakan *halloysite*(60,20%), *alphaquartz*(20,48%), *feldspar*(12,91%) dan *montmorillonite*(6,41%) dengan komposisi kimianya didominasi oleh SiO_2 (57,57%) dan Al_2O_3 (22,08%).

Tabel 4.10 merupakan gambaran hasil identifikasi tanah asli melalui pengujian batas-batas *atterberg* yang diperbandingkan terhadap teori yang ada maupun hasil dari beberapa penelitian, dan dari tabel tersebut dapat terlihat karakteristik maupun klasifikasinya.

Dari identifikasi sifat-sifat tanah asli dan analisis sifat-sifatnya, sebenarnya tanah tersebut dapat dijadikan sebagai *subgrade*, namun masih mengkhawatirkan. Hal ini terlihat bahwa kandungan lempung cukup besar(50%), nilai CBR(6%) dan nilai *shrinkage limit* (20,21%). Melalui penelitian ini dicoba mencari alternatif perbaikan tanah sebagai *subgrade* dengan cara pemberian penambah semen 2% dan *spent catalyst*.

Tabel 4.10 Hasil Identifikasi Tanah Asli

No.	Teori/Penelitian	Batasan	Hasil Percobaan	Kesimpulan
1.	Skempton (1953)	$Ac < 0,75$ $Ac=PI/(C-10)$	$Ac = 0,3475$	Tanah tidak aktif dengan potensi pengembangan rendah
2.	Altmeyer (1995)	$SL > 12 \%$	$SL = 20,21\%$	Potensi pengembangan tidak kritis/rendah
3.	Chen (1988)	$PI = (0-15)\%$	$PI = 13,90 \%$	Potensi pengembangan rendah
4.	Raman (1962)	$PI = (12-23)\%$ $SI < 15 \%$	$PI = 13,90\%$	Potensi pengembangan rendah sampai sedang
5.	USCS	$LL < 50 \%$ $PI < 42 \%$ $PI=0,73(LL-20)$	$LL = 34,35\%$ $PI = 13,90 \%$ $PI = 10,475\%$	Klasifikasi ML,CL dan OL (adalah lempung dan lanau organik dengan sedikit plastis sampai plastisitas rendah)
6.	Atterberg	$PI > 17 \%$	$PI = 13,90 \%$	Lempung dengan plastisitas rendah

4.2.2. Karakteristik Campuran Tanah Semen 2% dan *Spent Catalyst*

Pada penelitian ini telah dilakukan percobaan pengaruh campuran tanah semen 2% dengan penambahan prosentase *spent catalyst* (2%-8%), dari hasil percobaan pengujian terlihat adanya perubahan, untuk lebih jelasnya dapat terlihat pada Tabel.4.11 sebagai berikut.

Tabel 4.11. Hubungan Hasil Pengujian Tanah, Tanah +2%PC dan Tanah + 2% PC +8%SC

Uraian	Tanah Asli	2%PC	2%PC+8%SC	Selisih	Keterangan
Berat Jenis(Gs) (Gram/Cm ³)	2,381	2,489	2,664	0,283	naik
Batas-batas <i>Atterberg</i>					
- Batas Cair(LL) (%)	34,50	31,00	28,50	6,00	turun
- Batas Plastis(PL) (%)	20,60	18,50	17,00	3,60	turun
- Indeks Plastis(PI) (%)	13,90	12,50	11,50	2,40	turun
Kuat Tekan Bebas (UCS) (kg/cm ²)	0,195	0,199	0,237	0,042	naik
Kepadatan Kering γ_d (gram/cm ³)	1,360	1,570	1,640	0,28	naik
Nilai CBR (%)	6,00	7,20	9,10	3,10	naik
Kadar Air (%)	28,00	19,00	17,20	10,8	turun
<i>Swelling Potential</i> (%)	3,20	3,00	2,70	0,50	turun
Kadar Lempung(%)	50,00	39,00	27,00	23,00	turun
Ac(aktipitas)	0,3475	0,4310	0,6765	0,3290	naik

Dari Tabel.4.11 dapat terlihat bahwa yang mengalami kenaikan yaitu hasil pengujian berat jenis(Gs), kuat tekan bebas(UCS), kepadatan kering(γ_d), nilai *California Bearing Ratio*(CBR) dan nilai aktifitas(Ac), ini berarti campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8% adanya perubahan dan berpengaruh terhadap nilai-nilai daya dukung tanah, namun tidak terlalu signifikan. Dan kalau dilihat terhadap nilai aktifitasnya dari campuran tersebut mengalami kenaikan, ini berarti partikel-partikel halus yang terkandung pada tanah asli terakumulasi terhadap reaksi hidrolis dan hidrasi, yang merupakan reaksi primer dari campuran semen maupun *spent catalyst* (Kreb dan Walker,1971). Hal itu akan membuat peluang terjadinya rongga-rongga pada campuran yang mengakibatkan masuknya air pada tanah campuran, sehingga tekanan air pada tanah menjadi lebih tinggi dan berakibat akan meningkatnya aktifitas dari tanah campuran tersebut.

Sedang untuk nilai batas-batas *atterberg*(LL,PL dan PI),kadar air,*swelling potensial* dan kadar lempung nilainya menurun, ini artinya adanya pengaruh

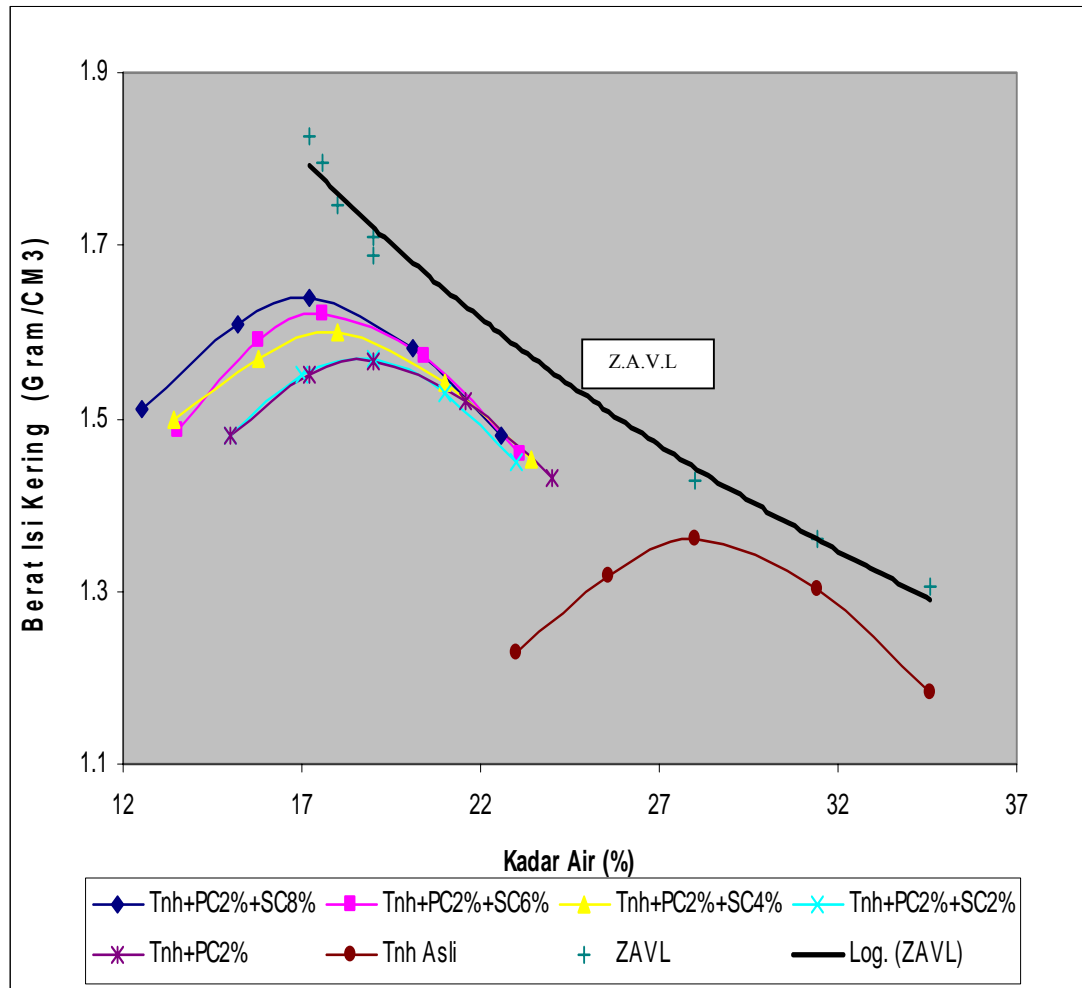
terhadap penambahan campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8%. Dengan menurunnya hasil pengujian tersebut berarti adanya peningkatan terhadap stabilitas tanah sekaligus potensi pengembangan menjadi lebih kecil.

Dari hasil pengujian terhadap sifat-sifat fisik(*index properties*) dan sifat-sifat keteknikan(*engineering properties*) tanah campuran semen 2% dan *spent catalyst* mengalami perubahan, namun tren dari beberapa pengujian yang terlihat dari gambar hasil pengujian, bahwa perubahan yang paling signifikan ketika pada saat pencampuran dengan semen 2%, sedang perubahan dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8% pengaruhnya sangat kecil(tidak signifikan). Dengan demikian bahwa *spent catalyst* tidak mempunyai sifat pengikatan secara hidrolis terhadap tanah, melainkan hanya sebagai bahan pengisi saja.

Tabel 4.12 Perbandingan Pengaruh Antara Semen dengan *Spent Catalyst*

Uraian	Selisih dengan Semen(PC) 2%	Selisih dengan <i>Spent Catalyst</i> (SC) 8%/4	Perbandingan	Keterangan
Berat Jenis (Gram/Cm ³)	0,108	0,044	1 : 2,45	Semen yang paling mempengaruhi
Batas-batas <i>atterberg</i>				
- Batas Cair(LL) (%)	3,500	0,625	1 : 5,60	
- Batas Plastis(PL)(%)	2,100	0,375	1 : 5,60	
- Indeks Plastis(PI)(%)	1,400	0,250	1 : 5,60	
Kuat Tekan Bebas (UCS) (kg/cm ²)	0,004	0,0095	1 : 0,421	<i>Spent catalyst</i> yang mempengaruhi
Kepadatan Kering γ_d (gram/cm ³)	0,210	0,0175	1 : 12	Semen yang paling mempengaruhi
Nilai CBR (%)	1,200	0,475	1 : 2,526	
Kadar Air (%)	1,000	0,450	1 : 2,222	

Swelling Potential(%)	0,200	0,075	1 : 2,667	
Ac(aktifitas)	0,0835	0,061	1 : 1,369	
Kadar Lempung(%)	11,00	3,000	1 : 3667	



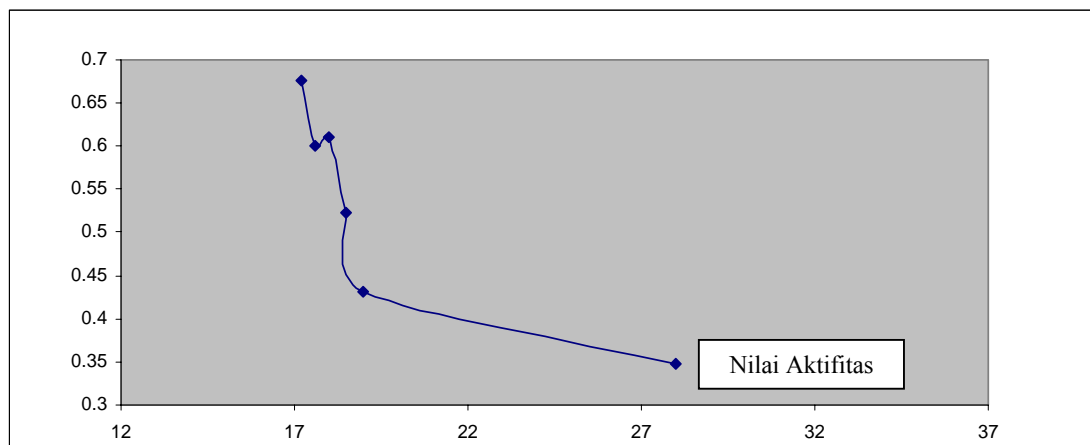
Gambar 4.10. Hubungan Kadar Air Optimum Dengan Kepadatan Kering Maksimum

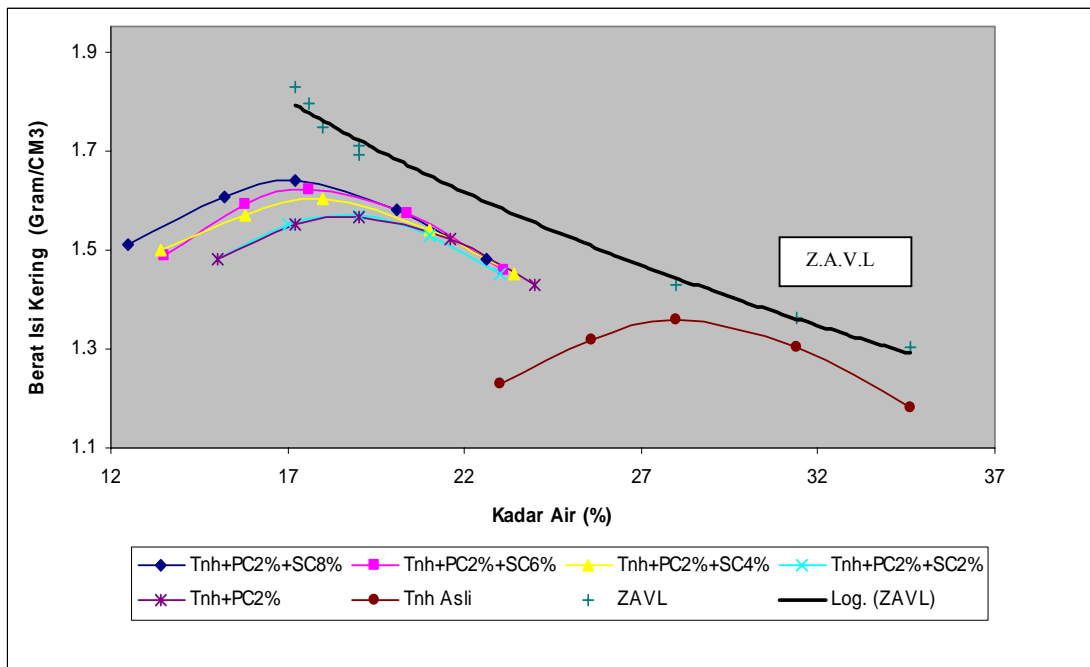
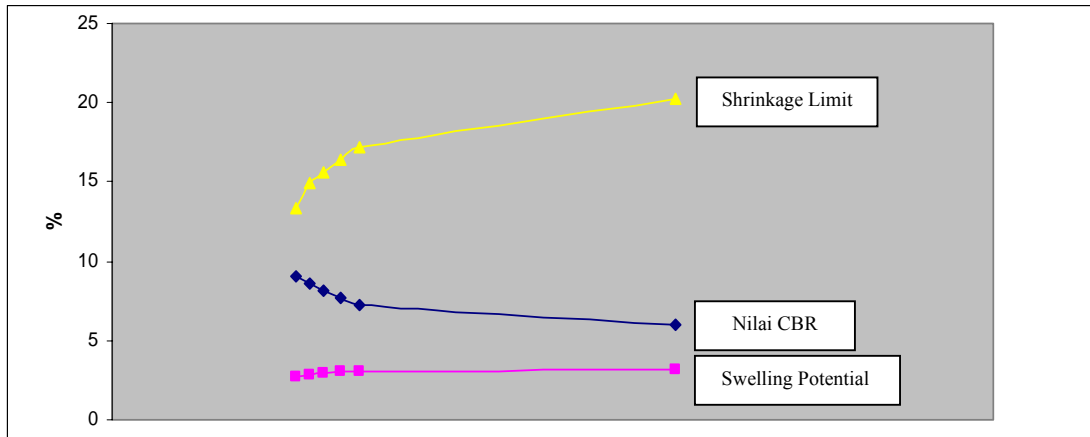
Berdasarkan Gambar 4.10 dan Tabel 4.12, nilai kepadatan kering maksimum mengalami kenaikan dari 1,360 gram/cm³ menjadi 1,640 gram/cm³, dari grafik dan tabel tersebut terlihat kenaikan yang ekstrim ketika pada saat pencampuran tanah dengan semen 2%, kenaikannya yaitu sebesar 0,21%, sedang pada kondisi campuran tanah semen 2% sampai dengan penambahan *spent*

catalyst 8% hanya mengalami penambahan kenaikan sebesar 0,07 gram/cm³, dengan demikian pada campuran ini yang paling dominan mempengaruhi kenaikan ketika penambahan semen 2%, perbandingan pengaruh antara penambahan semen dan *spent catalyst* terhadap tanah asli adalah 1:12, tetapi menurut hasil percobaan kuat tekan bebas (*Unconfined Compressive Strength*) bahwa yang paling mempengaruhi kenaikan adalah *spent catalyst* dengan perbandingan antara semen dengan *spent catalyst* (1:0,421), hal ini memperlihatkan bahwa campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai dengan 8% mempunyai kemampuan terhadap kuat tekan bebas (dalam artian campuran tanah semen 2% dengan *spent catalyst* sampai 8% menambah daya dukung), tetapi ketika kadar airnya bertambah maka keruntuhan terhadap benda uji terjadi. Hal ini menunjukkan bahwa *spent catalyst* kurang begitu membantu terhadap proses pengikatan campuran dengan tanah, walaupun digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah dalam keadaan kadar air yang terkendali (optimum), dalam artian bahwa *spent catalyst* tidak mempunyai sifat hidrolis dan hal ini kalau diperlihatkan dengan hasil pengujian susunan kimia antara tanah asli dengan *spent catalyst* unsur yang paling dominant yaitu S₂O₂ (tanah 57,57% dan *spent catalyst* 47,13%) dan Al₂O₃ (tanah 22,08% dan *spent catalyst* 45,34%), dengan demikian susunan kimianya antara tanah dan *spent catalyst* hampir sama.

Sedang berdasarkan Gambar 4.11 hubungan antara kepadatan kering maksimum, *swelling potential*, nilai CBR, *shrinkage limit* dan nilai aktifitas terhadap kadar air dengan campuran yang sama memperlihatkan kenaikan, hal ini menunjukkan bahwa campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* adanya pengaruh terhadap peningkatan daya dukung dengan catatan kadar air pada keadaan optimum terhadap masing-masing campuran. Adapun nilai *shrinkage limit* dan *swelling potential* mengalami penurunan, ini menunjukkan bahwa campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* pada keadaan kadar air dan prosentase campuran yang sama, menekan terjadinya *swelling* dan *shrinkage*. Namun yang paling besar pengaruhnya yaitu ketika

pencampuran tanah asli dengan semen 2%, dengan demikian penambahan *spent catalyst* hingga 8% pada campuran tanah semen 2% pengaruhnya tidak signifikan terhadap penambahan daya dukung dan *swelling potential* . Kalaupun terjadi peningkatan pada percobaan kuat tekan bebas,CBR,kepadatan kering maksimum dan *specific gravity* pada campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8%, bahwa *spent catalyst* hanya sebagai faktor pengisi rongga dari pengikatan tanah asli dengan semen 2% maupun *spent catalyst*. Dan menurut Anastia(1991) dari penelitiannya, bahwa penurunan LL(*liquid limit*) 30%-40% dan menaikkan PL(batas plastis) 15%-20%, ini dianggap pengaruh campuran cukup berarti dan dianggap signifikan, sedang berdasarkan hasil percobaan batas-batas *atterberg* pada campuran tanah semen 2% dan penambahan *spent catalyst* sampai 8% hanya menurunkan LL 6% dan PL 3,60%, hal ini berarti bahwa pengaruh penambahan *spent catalyst* sampai 8% terhadap campuran tanah semen 2% pengaruhnya tidak signifikan.





Gambar 4.11. Hubungan Kadar Air Optimum, Kepadatan Kering Maksimum, *Swelling Potential*, CBR, *Shrinkage Limit* dan Aktifitas

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan kajian yang digambarkan dalam tesis ini, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. *Sample* tanah yang diambil dari jalan Ampera kota Jatibarang wilayah kabupaten Indramayu, berdasarkan sistim USCS dan beberapa teori/penelitian bahwa tanah tergolong tanah berbutir halus(kadar lempung 50%) dengan nilai indeks plastisitas (PI) 13,90% yang merupakan lempung dan lanau, dan tergolong tanah ekspansif tidak kritis sampai sedang, dengan simbol ML,CL dan OL yang mempunyai potensi pengembangan (*swelling potential*) sedang sampai rendah dan tidak aktif ($A_c=0,3475 < 0,75$). Tanah ini merupakan jenis tanah *kaolinite* yang mempunyai kandungan mineralnya; *halloysite*(60,20%), *alphaquartz*(20,48%), *feldspar*(12,91%) dan *montmorillonite*(6,41%) dengan komposisi kimianya didominasi oleh S_iO_2 (57,57%) dan Al_2O_3 (22,08%), yang mempunyai nilai CBR(6,00%) dan nilai UCS(0,195 kg/cm²). Tanah tersebut sebetulnya masih dapat untuk dijadikan *subgrade*, tetapi mengingat nilai *shrinkage limit* masih cukup besar (20,21%) dan kadar lempung masih cukup besar maka tanah ini masih dikhawatirkan terhadap perubahan volume yang berakibat terjadinya retak memanjang pada jalan ketika musim kemarau dan ketika datang musim penghujan air akan mudah masuk ke pondasi jalan., hal itu akan mempercepat terjadinya kerusakan jalan.
2. Antara tanah dengan *spent catalyst*, mempunyai kandungan kimia yang hampir sama, diantaranya adalah unsur S_iO_2 (tanah 57,57% dan *spent catalyst* 47,13%) dan Al_2O_3 (tanah 22,08% dan *spent catalyst* 45,34%). Oleh karena itu tambahan campuran *spent catalyst* terhadap tanah semen 2% mengalami perubahan yang tidak signifikan, dan dari hasil pengujian bahwa semen yang lebih banyak mempengaruhi campuran terhadap perubahan sifat fisik dan sifat mekaniknya. Hanya pada hasil pengujian UCS, *spent catalyst* yang paling mempengaruhi (dengan perbandingan 1:0,421), ini menunjukkan bahwa *spent catalyst* mempunyai kemampuan terhadap kuat tekan bebas(dalam artian bahwa penambahan *spent catalyst* sampai 8%

terhadap campuran tanah semen 2% berpengaruh terhadap daya dukung).

3. Campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8%, 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 potential*) dari 3,20% menjadi 2,70% batas susut(*shrinkage limit*) dari 20,21% menjadi 13,34% nilai UCS dari 0,195 kg/cm² menjadi 0,237 kg/cm² nilai CBR dari 6,00% menjadi 9,10% dan berat isi kering dari 1,360 gram/cm³ menjadi 1,640 gram/cm³. Dari hasil analisa saringan dan uji hidrometer, kandungan lempung menurun yang semula 50% menjadi 27%
4. Perbandingan pengaruh yang paling signifikan antara semen dengan *spent catalyst* yaitu ketika pada percobaan kepadatan kering (γ_d) dengan perbandingan 1:12, ini berarti bahwa semen berperan sekali terhadap proses pemadatan dan bila dikaitkan dengan pengujian UCS dan pada pengujian ini bahwa *spent catalyst* yang paling mempengaruhi, hal ini menunjukkan bahwa partikel-partikel halus tanah yang terakumulasi oleh semen terisi oleh partikel-partikel *spent catalyst* atau sebaliknya, sehingga kerapatan dari benda uji lebih kompak dan padat, oleh karena itu akan menekan potensi pengembangan (*swelling potential*) dan daya dukung menjadi lebih baik.
5. Campuran tanah semen 2% dengan penambahan *spent catalyst* sampai 8%, menekan terjadinya potensi pengembangan (*swelling potential* = 0,50%), menaikkan nilai CBR(*california bearing ratio* = 3,10%), menekan batas susut (*shrinkage limit* = 6,87%), menaikkan kepadatan kering (γ_d = 0,28%), menaikkan daya dukung(UCS = 0,042kg/cm²). dan menurunkan indeks plastis (PI = 2,40%). Percobaan ini kalau ditinjau dengan hipotesis, maka adanya dugaan yang betul namun tingkat

dugaanya kurang begitu signifikan, sehingga perlu dilakukan pengujian lanjutan dengan variasi campuran yang lebih variatif.

5.2. Saran

1. Mengingat produksi limbah UP.VI Balongan Indramayu (*spent catalyst*) cukup besar(20 ton/hari) dan dianggap bermasalah oleh PERTAMINA, maka disarankan untuk dilakukan penelitian lanjutan dengan variasi campuran yang lebih bervariasi baik terhadap semen maupun *spent catalyst* sebagai media tambahan. Dan diharapkan dari hasil penelitian lanjutan ini dapat memanfaatkan limbah tersebut sebagai bahan stabilisasi tanah sebagai *subgrade* jalan, yang pada umumnya bahwa kondisi *subgrade* jalan di daerah ini sangat jelek.
2. Metode pengujian agar dilakukan dengan beberapa *sample* percobaan untuk menghindari factor kesalahan pada saat menganalisis hasil dari percobaan tersebut.
3. Pada percobaan ini pemeraman dilakukan pada keadaan setelah dilakukan pencampuran. Oleh karena itu, untuk percobaan dan penelitian lanjutan disarankan agar metode pemeraman dilakukan pada saat setelah benda uji dibuat.

DAFTAR PUSTAKA

1. AASTHO, 1978, *Method of Sampling and Testing*, Part II.
2. Anastasia, S.L, 1991, *Stabilisasi aTanah Semen dan bahan Kimia pada Tanah Lempung Bandung*, Master's thesis,ITB.
3. Asriwiyanti desiani, 1998, *Stabilisasi Lempung lunak Pulau Rumau (Sum-Sel) menggunakan Semen Dan Bahan Kimia*, Master's Thesis ITB.
4. ASTM,1992, *ASTM Stabilization With Admixture*, American Society For Testing And Materials, Second Edition.
5. Altameyer,W.T., 1995, *Discussion of Engineering Properties of Ekspansive Clays*, Proc.Am.Soc.Civil Eng.81 (Separate No.658) pp 17-19.
6. Alfonso Rico Rodriguez, Hermilo del Castillo dan Geoge F.Sowers, 1988, *Soil Mechanics in Highway Engineering*, TRANS TECH PUBLICATIONS D.3392 Clausthal-Zellerfeld Federal Republic of Germany.
7. Arikunto,S., 2002, *Prosedur Penelitian*, Penerbit Rineka Cipta Jakarta.
8. Bowles, J.E, 1986, Alih Bahasa Ir.Johan Kelana Putra Edisi Kedua, *Sifat-Sifat Fisis Dan Geoteknis Tanah*, Penerbit Erlangga Yogyakarta.
9. Bowles, J.E, 1979, *Physical and Geotechnical Properties of Soils*, Mc.Grawhill Book Company, New York.

10. Chen, F.H. (1975), *Foundation on Expansive Soils*, Elsevier Scientific Publishing Company, New York.
11. Chen, F.H., (1988), *Founddation on Expansive Soils*, American Elsevier Science Publ., New york.
12. Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B., 1995, *Mekanika Tanah Jilid 1*, Penerbit Erlangga.
13. Das, B.M., Noor, E. dan Mochtar, I.B., 1983, *Mekanika Tanah Jilid 2*, Penerbit Erlangga.
14. Das Braja.M., 1983, *Advanced Soil Mechanics*, Hemisphere Publishing Corporation.
15. Direktorat Jenderal Bina Marga, 1976, *Manual Pemeriksaan Bahan Jalan*.
16. Endang Widorowati Hartosukmo, 2004, *Stabilisasi Tanah Ekspansif Dengan Semen dan Fly Ash untuk Konstruksi Badan Jalan*, Tesis Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.
17. Erna Bekti Wijayanti, 2003, *Pengaruh Penggunaan Fly Ash Pada Stabilisasi Tanah Semen Untuk Lapis Perkerasan Konstruksi Jalan Dengan Meode Recycling*, Tesis Progran Pasca Sarjana Universitas Diponegoro Semarang.
18. Furguson G., 1983, *Use of Self Cementing Fly Ash a Soil Stabilisation Agent*, Proc Fly ash For Soil Improvements, ASCE Special Geotechnical Publication, No.36,pp. 1-14
19. G.Djatmiko Soedomo dan S.J.Edy Purnomo, 1997, *Mekanika Tanah*, Penerbit Kanisius Yogyakarta.
20. Grim,R.E., 1992, *Applied Clay Mineralogi*, Mc Graw Hill Book Company, New York.
21. Hary Christady Hardiyatmo, 2002, *Mekanika tanah I*, Penerbit Gadjah Mada University Press Yogyakarta.
22. Hary Christady Hardiyatmo, 2002, *Mekanika tanah II*, Penerbit Gadjah Mada University Press Yogyakarta.
23. HATTI, 2006, *Materi Pertemuan Ilmiah Tahunan*, HATTI Jakarta.
24. Hendarsin, SL., 1994, *Penuntun Praktis Geoteknik dan Mekanika Tanah*, Penerbit Nova Bandung.

25. Herzog, A, 1963, *A The Strenght of Clay Cement*, Proc. 4th A.N.Z. SMFE.Conf:p 23.
26. Holtz, W.G., and Gibbs, H.J., 1956, Engineering Properties of Expansive Clay Transactions, ASCE, Vol. 121 : pp 641-677.
27. Holtz, W.G., and Gibbs, H.J., 1959, *Expansive Clay-Properties and Problems*, Quart.Colorado School Mines 54: pp 89-117.
28. Holtz, R.D., and Kovacs, W.D., 1981, *An Introduction to Geotechnical Engineering*, Prentice Hall Civil Engineering and Engineering Mechanic Series.
29. Hardiyatmo, H.C.,1992, *Mekanika Tanah*, Gramedia Pustaka Umum, Jakarta.
30. Ingles, O.G. and Metcalf, J.B., 1972, *Soil Stabilization Principles and Practise*, Butterworths Pty Limited .
31. Indraratna, B., Balasubramaniam, A.S. and Khan, M.J., 1995, *Effect of Fly Ash with Lime and Cement on Behaviour of a Sofft Clay*, Quarterly Journal Engineering Geology, Vol 28,pp.131-142.
32. Jica (Japan International Cooperation Agency) dan departemen Pekerjaan Umum Badan Penelitian dan Pengembangan Pusat Penelitian dan Pengembangan Prasarana Transportasi, 2005, *Panduan Geoteknik Jalan*, Penerbit JICA dan DPU Bandung.
33. Krebs, R.D., and Walker, R.D., 1971, *Highway Materials*, Mc. Grow-Hill Inc,USA.
34. Kezdi, A., 1979, *Stabilized Earth Roads*, Elsevier Scientific Publizing Company, New York.
35. Lambe, T.W and Robert,W.(1969), *Soil Mechanics*, John Wiley and Sons, Inc, New York.Laporan Penelitian Universitas Padjadjaran Bandung, 2000, *Implementasi dan Sertifikasi Pemanfaatan Bekas RCC Sebagai Filler Beton Aspal dan Mineral Admixture Beton Struktur dan Non Struktur*.
36. Lembaga Penelitian UNPAD, (2000), *Laporan Perkembangan dan Sertifikasi Pemanfaatan Katalis Bekas RCC Sebagai Filler Beton Aspal dan Mineral Admioxture Beton Struktur dan non Struktur*. Kerja Sama dengan Pertamina UP.VI Balongan Indramayu.

37. Mitchell, J.K., 1976, *Fundamentals of Soil Behavior*, John Wiley and Sons. Inc, New York.
38. Maslov, N.N. (1992), *Basic Engineering Geology and Soil Mechanics*, Mir Publishers, Moscow
39. Muljadi, S. dan Junica, M.I., 1997, kembang Susut tanah Ekspansif Penyebab kerusakan Jalan, majalah Konstruksi Edisi Juli 1997.
40. Metcalf, J.B.,1977, *Principles and Application of Cement and Lime stabilitation*, ARR No.49.
41. Naik T.R. and Singh S.S., 1993, *A Guide To The StructuralDesign Of Bitumen-Surfaced Roads In Tropical and Sub-tropical Countries*, Transport Research Laboratory.
42. Penelitian dan Pengembangan Teknologi Prasarana Jalan (2000), Departemen Permukiman dan Pengembangan Wilayah, *Laporan Penelitian Perilaku Perubahan Tanah Ekspansif*.
43. Robert Wade Brown, 2000, *Practical Foundation Engineering Handbook*, Second Edition. Mc.Graw-Hill
44. Raman, V.,1967, *Identification of Ekspansive Soils From The Plastisity Index and Shrinkage Index Data*, India Eng, Calcutta: pp:17-22.
45. Rahardjo, P.P., 1997, *Masalah Tanah Ekspansif Dan Penanggulanganya*, Majalah Konstruksi Edisi Juli 1997.
46. Shirley L. Hendarsin, 2000, *Perencanaan Teknik Jalan Raya*. Penerbit Politeknik Negeri Bandung-Jurusan Teknik Sipil Bandung.
47. Seed, H.B., Wood Ward, R.J. and Lundgren, R.,1962, *Prediction of Swelling Potential of Compacted Clays*, Highway res. Board Bull:pp12-39.
48. Sherwood, P.T., 1993, *Soil Stabilization With Cement and Lime*, HMSO Publication Centre.
49. Skempton, 1953, *The Colloidal Activity of Clays Procceding 3 th International Conference of Soil mecanic and Fondation Engineering*, London, Vol 1 Page 57-61.
50. SNI 03-3438-1994, *Tata Cara Pembuatan Rencana Stabilisasi Tanah Dengan Semen Portland untuk Jalan*, DSN.

51. SNI 03-3440-1994, *Tata Cara pelaksanaan Stabilisasi tanah Dengan Semen Portland untuk Jalan*, DSN.
52. Holtz, R.D., and Gibbs, H.J., (1956), *Engineering Properties of Expansive Clay Transactions*, ASCE, Vol.121: pp 641-677.
53. Wijaya Seta, 2006, *Perilaku Stabilisasi Tanah Purwodadi Dengan Pasir Merapi untuk Subgrade*, Tesis Program Pasca Sarjana Magister Teknik Sipil Universitas Diponegoro Semarang.
54. Wesley, D., 1972, *Mekanika Tanah*, Badan Penerbit Pekerjaan Umum.
55. Yosua, 2000, *Stabilisasi Tanah Dai Barito Utara Dengan Semen Untuk Konstruksi Jalan*, Master's Thesis UNDIP.