

KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS ASPAL DAN BAHAN KIMIA

UNTUK PERKERASAN JALAN
BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH

Konsep dasar dari tanah adalah sebagai media untuk menopang beban yang diberikan oleh kendaraan yang melintas di atasnya. Tanah yang digunakan untuk perkerasan jalan harus memenuhi syarat-syarat tertentu, seperti kuat gesek, daya dukung, dan stabilitas. Dalam penelitian ini, akan dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui pengaruh penambahan aspal dan bahan kimia terhadap sifat mekanik tanah.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi sifat mekanik tanah, seperti jenis tanah, kandungan air, dan kandungan organik. Dalam penelitian ini, akan dilakukan uji laboratorium untuk mengetahui pengaruh penambahan aspal dan bahan kimia terhadap sifat mekanik tanah. Hasil dari penelitian ini akan digunakan untuk merencanakan perkerasan jalan yang lebih baik.

KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS ASPAL DAN BAHAN KIMIA

UNTUK PERKERASAN JALAN
BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH





KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS ASPAL DAN BAHAN KIMIA UNTUK PERKERASAN JALAN BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH

Silvester Fransisko
Nyoman Suaryana



INFORMATIKA
Bandung

**KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS ASPAL
DAN BAHAN KIMIA UNTUK PERKERASAN JALAN BERVOLUME
LALU LINTAS RENDAH**

Desember, 2011

Cetakan ke-1, 2011, (xvi + 56 halaman)

©Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-8758-75-8
Kode Kegiatan : 02-PPK3-01-150-11
Kode Publikasi : IRE-TR-052/ST/2011
Kata Kunci : Jalan Lalu Lintas Rendah, Stabilisasi Tanah

Penulis:

Silvester Fransisko, S.ST
Ir. Nyoman Suaryana, M. Sc.

Editor:

Dr. Ir. Sigfried, M.Sc.

Naskah ini disusun dengan sumber dana APBN Tahun 2011, pada paket pekerjaan Penyusunan Naskah Ilmiah Kajian Laboratorium Stabilisasi Tanah Berbasis Aspal dan Bahan Kimia untuk Perkerasan Jalan.

Pandangan yang disampaikan di dalam publikasi ini tidak menggambarkan pandangan dan kebijakan Kementerian Pekerjaan Umum, unsur pimpinan, maupun institusi pemerintah lainnya.

Kementerian Pekerjaan Umum tidak menjamin akurasi data yang disampaikan dalam publikasi ini, dan tanggung jawab atas data dan informasi seluruhnya dipegang oleh penulis.

Kementerian Pekerjaan Umum mendorong percetakan dan memperbanyak informasi secara eksklusif untuk perorangan dan pemanfaatan nonkomersil dengan pemberitahuan yang memadai kepada Kementerian Pekerjaan Umum. Pengguna dibatasi dalam menjual kembali, mendistribusikan atau pekerjaan kreatif turunan untuk tujuan komersil tanpa izin tertulis dari Kementerian Pekerjaan Umum.

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan

info@pusjatan.pu.go.id

TENTANG PUSLITBANG JALAN DAN JEMBATAN

Puslitbang Jalan dan Jembatan (Pusjatan) adalah institusi riset yang dikelola oleh Badan Litbang Kementerian Pekerjaan Umum Republik Indonesia. Lembaga ini mendukung Kementerian PU dalam menyelenggarakan jalan dengan memastikan keberlanjutan keahlian, pengembangan inovasi dan nilai – nilai baru dalam pengembangan infrastruktur.

Pusjatan memfokuskan kepada penyelenggara jalan di Indonesia, melalui penyelenggaraan litbang terapan untuk menghasilkan inovasi teknologi bidang jalan dan jembatan yang bermuara pada standar, pedoman, dan manual. Selain itu, Pusjatan mengemban misi untuk melakukan advis teknik, pendampingan teknologi, dan alih teknologi yang memungkinkan infrastruktur Indonesia menggunakan teknologi yang tepat guna.

KEANGGOTAAN TIM TEKNIS DAN SUBTIM TEKNIS

TIM TEKNIS:

1. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
2. Ir. Agus Bari Sailendra. MT
3. Ir. I. Gede Wayan Samsi Gunarta, M.Appl.Sc.

4. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
5. Prof (R) Ir. Lanneke Tristanto, APU
6. Ir. GJW Fernandez
7. Ir. Soedarmanto Darmonegoro
8. DR. Djoko Widayat, MSc.

SUBTIM TEKNIS:

1. Ir. Nyoman Suaryana, M.Sc.
2. Prof (R) Dr. Ir. M. Sjahdanulirwan, M.Sc.
3. Prof (R) Dr. Ir. Furqon Affandi, M.Sc.
4. Dr. Djoko Widayat, M.Sc.
5. Ir. Kurniadji, MT.
6. Dr. Ir. Siegfried, M.Sc.
7. Dr. Ir. Anwar Yamin, M.Sc.



Kata Pengantar

Pemanfaatan bahan lokal dan substandar untuk perkerasan jalan merupakan suatu upaya yang dilakukan untuk mengatasi keterbatasan bahan berkualitas tinggi sesuai persyaratan spesifikasi yang berlaku saat ini. Dengan pemanfaatan bahan lokal dan substandar, diharapkan pola pembangunan maupun pemeliharaan jalan bisa berjalan efektif dan efisien.

Beberapa metode dapat diterapkan terkait pemanfaatan bahan lokal dan substandar untuk perkerasan jalan, diantaranya adalah melakukan stabilisasi. Dengan perbaikan dan/atau penerapan desain dan spesifikasi yang sesuai, banyak bahan lokal dan substandar masih menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, terutama untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

Pada TA. 2011, penelitian teknologi stabilisasi tanah terutama mencakup penelitian laboratorium stabilisasi tanah berbasis aspal dan bahan kimia. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menunjang pembangunan jalan-jalan yang bervolume lalu lintas rendah.



Daftar Isi

Kata Pengantar	v
Daftar Isi	vii
Daftar Tabel.....	ix
Daftar Gambar.....	xi
Glosari	xiii
Abstrak	xv
1. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Perumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan dan Sasaran	2
1.4 Metodologi	3
1.5 Sistematika Bab	4
2. TEKNOLOGI STABILISASI TANAH.....	7
2.1 Gambaran Umum dan Permasalahan	7
2.2 Tipe Stabilisasi	9
2.3 Pemilihan Tipe Bahan Stabilisasi	11
2.4 Stabilisasi Tanah Berbasis Aspal.....	12
2.4.1 Mekanisme Stabilisasi.....	12
2.4.2 Tipe Tanah.....	13

2.4.3	Tipe Aspal.....	14
2.5	Stabilisasi Tanah Berbasis Bahan Kimia.....	16
2.5.1	Umum.....	16
2.5.2	Mekanisme Stabilisasi.....	18
2.5.3	Tipe dan Pemilihan Tipe Bahan Kimia.....	19
3.	KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS ASPAL	29
3.1	Uraian Umum Jenis dan Prosedur Pengujian	29
3.2	Hasil Pengujian dan Pembahasan	31
3.2.1	Sifat Fisik Contoh Tanah.....	31
3.2.2	Tipe dan Sifat Aspal.....	32
3.2.3	Campuran Tanah dan Aspal <i>Cutback</i>	33
3.2.4	Campuran Tanah dengan Aspal Emulsi.....	35
4.	KAJIAN LABORATORIUM STABILISASI TANAH BERBASIS BAHAN KIMIA.....	39
4.1	Uraian Umum Jenis dan Prosedur Pengujian	39
4.2	Hasil Pengujian	41
4.2.1	Sifat Fisik dan Karakteristik Contoh Tanah.....	41
4.2.2	Tipe Bahan Kimia.....	41
4.2.3	Sifat Plastisitas dan Karakteristik Campuran.....	42
4.3	Pembahasan	43
5.	PENUTUP	53
5.1	Kesimpulan	53
5.2	Saran.....	54
	DAFTAR PUSTAKA	55

Daftar Tabel

Tabel 2.1	Pemilihan tipe bahan stabilisasi	12
Tabel 2.2	Tipe aspal cair yang digunakan untuk stabilisasi tanah atau agregat.....	15
Tabel 2.3	Tipe dan penggunaan bahan kimia untuk stabilisasi tanah	20
Tabel 3.1	Sifat fisik contoh tanah.....	31
Tabel 3.2	Tipe dan sifat aspal <i>cutback</i>	32
Tabel 3.3	Tipe dan sifat aspal emulsi	32
Tabel 3.4	Kadar aspal optimum dan karakteristik stabilisasi contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal <i>cutback</i>	35
Tabel 3.5	Stabilitas Marshall dan modulus elastisitas	35
Tabel 3.8	Kadar aspal optimum dan karakteristik campuran contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal emulsi	38
Tabel 4.1	Sifat fisik dan karakteristik tanah	41
Tabel 4.2	Tipe dan komposisi bahan kimia	41
Tabel 4.3	Sifat plastisitas stabilisasi berbasis bahan kimia	42
Tabel 4.4	Nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia.....	42
Tabel 4.5	Nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia.....	43
Tabel 4.6	Peningkatan nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia	45
Tabel 4.7	Peningkatan nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia	47

Tabel 4.8	Pengaruh peningkatan <i>curing time</i> terhadap peningkatan nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia	48
Tabel 4.9	Pengaruh peningkatan <i>curing time</i> terhadap peningkatan nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia	50



Daftar Gambar

Gambar 1.1	Bagan alir penelitian.....	6
Gambar 2.1	Klasifikasi tanah atau agregat berdasarkan muatan listriknya	15
Gambar 2.2	Pemilihan tipe aspal emulsi.....	16
Gambar 3.1	Karakteristik campuran (stabilisasi) contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal <i>cutback</i>	34
Gambar 3.2	Karakteristik campuran (stabilisasi) contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal emulsi	37
Gambar 4.1	Pengaruh tipe dan jumlah bahan kimia terhadap sifat plastisitas tanah lempung	44
Gambar 4.2	Pengaruh bahan kimia <i>Enzymatic Emulsion</i> terhadap CBR	45
Gambar 4.3	Pengaruh bahan kimia <i>Synthetic Polymer Emulsion</i> terhadap CBR	45
Gambar 4.4	Pengaruh bahan kimia <i>Electrolyte Emulsion</i> terhadap CBR	46
Gambar 4.5	Pengaruh bahan kimia <i>Enzymatic Emulsion</i> terhadap UCS	47
Gambar 4.6	Pengaruh bahan kimia <i>Synthetic Polymer Emulsion</i> terhadap UCS	47
Gambar 4.7	Pengaruh bahan kimia <i>Electrolyte Emulsion</i> terhadap UCS	48
Gambar 4.8	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Enzymatic Emulsion</i>	49

Gambar 4.9	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	49
Gambar 4.10	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Electrolyte Emulsion</i>	49
Gambar 4.11	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Enzymatic Emulsion</i>	51
Gambar 4.12	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	51
Gambar 4.13	Pengaruh <i>curing time</i> terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia <i>Electrolyte Emulsion</i>	51



Glosari

Beberapa istilah penting terkait stabilisasi tanah berbasis aspal dan bahan kimia ini, sebagai berikut:

Aspal *cutback* - campuran antara aspal semen dan bahan pencair/pelarut dari hasil penyulingan minyak bumi. Berdasarkan tipe bahan pelarut dan kemudahan menguap bahan pelarut tersebut, tipe aspal *cutback* dibedakan atas:

- **RC (*rapid curing cutback*)** - aspal semen yang dilarutkan dengan bensin. Aspal *cutback* tipe ini paling cepat menguap.
- **MC (*medium curing cutback*)** - aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pelarut yang lebih kental, seperti minyak tanah.
- **SC (*slow curing cutback*)** - aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pelarut yang lebih kental lagi, seperti solar. Aspal *cutback* tipe ini paling lama menguap.

Aspal emulsi - campuran antara aspal semen, air dan bahan pengemulsi. Berdasarkan muatan listriknya, aspal emulsi ini terdiri dari aspal bermuatan listrik positif (kationik) dan aspal bermuatan listrik negatif (anionik), dan berdasarkan kecepatan pengikatan/pengerasannya, aspal emulsi ini dibedakan atas:

- **RS (*rapid setting*)** - aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat.

- **MS (*medium setting*)** - aspal emulsi dengan waktu penyikatan sedang.
- **SS (*slow setting*)** - aspal emulsi dengan waktu pengikatan paling lambat.

Bahan kimia - bahan dengan komposisi kimia tertentu, diproduksi khusus untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. FHWA mengklasifikasikan bahan kimia ini sebagai bahan kimia nontradisional.

Bahan perkerasan jalan - tanah atau agregat yang digunakan sebagai bahan untuk perkerasan jalan.

Bahan stabilisasi tanah – bahan yang digunakan untuk stabilisasi tanah atau agregat.

Jalan bervolume lalu lintas rendah – jalan dengan volume lalu lintas kurang dari 400 kendaraan/hari atau jumlah ESAL ≤ 1 Juta.

Stabilisasi berbasis aspal - stabilisasi tanah atau agregat menggunakan bahan berbasis aspal atau sering disebut stabilisasi aspal. Dalam naskah ilmiah ini, aspal yang dimaksudkan adalah aspal cair (aspal *cutback* dan aspal emulsi).

Stabilisasi berbasis bahan kimia - stabilisasi tanah menggunakan bahan kimia atau sering disebut stabilisasi kimia. Berbagai tipe bahan kimia dapat digunakan, secara umum dibagi menjadi 7 kategori, yaitu *chlorides*, *clay additives*, *electrolyte emulsions*, *enzymatic emulsions*, *lignosulfonates*, *synthetic polymer emulsions*, dan *tree resin emulsion*.

Stabilisasi tanah - proses pencampuran tanah dengan bahan stabilisasi, selanjutnya dipadatkan, untuk memperbaiki sifat dan kekuatan tanah tersebut sehingga dapat digunakan sebagai bahan untuk perkerasan jalan.

Abstrak

Kebutuhan bahan berkualitas tinggi untuk perkerasan jalan dari tahun ke tahun terus meningkat, sementara ketersediaan bahan tersebut semakin berkurang, bahkan untuk daerah-daerah tertentu ketersediaan bahan berkualitas tinggi sudah sangat terbatas atau mungkin tidak ada lagi, sehingga untuk pembangunan maupun pemeliharaan jalan, harus mendatangkan bahan berkualitas tinggi dari daerah lain. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi. Untuk kasus ini, pemanfaatan bahan lokal dan substandar sangat diperlukan.

Teknologi stabilisasi merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan agar bahan lokal dan substandar dapat dimanfaatkan sebagai bahan perkerasan jalan. Selain itu, perlu dilakukan tinjauan terhadap metode desain dan spesifikasi yang diterapkan, dalam arti bahwa metode desain dan spesifikasi yang diterapkan untuk jalan bervolume lalu lintas rendah seharusnya dibedakan dengan metode desain dan spesifikasi yang diterapkan untuk jalan bervolume lalu lintas sedang – tinggi. Hal tersebut dimaksudkan agar pola pembangunan maupun pemeliharaan jalan bisa lebih efektif dan efisien. Dengan perbaikan dan/atau penerapan desain dan spesifikasi yang sesuai, banyak bahan lokal dan substandar masih

menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, terutama untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

Terkait teknologi stabilisasi, beberapa tipe bahan stabilisasi telah dikenal umum, antara lain semen dan kapur. Sesuai kemajuan teknologi, stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia juga sudah mulai diterapkan, akan tetapi keberhasilannya masih sangat berfluktuasi. Hal tersebut mendorong Pusat Litbang Jalan dan Jembatan untuk melakukan penelitian atau kajian yang mendalam mengenai teknologi stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia.

Dalam naskah ilmiah ini, kajian mencakup studi literatur penerapan teknologi stabilisasi dan hasil penelitian laboratorium stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa keberhasilan teknologi stabilisasi ini sangat tergantung beberapa faktor, antara lain tipe tanah yang akan distabilisasi dan tipe bahan stabilisasi yang digunakan. Stabilisasi berbasis aspal lebih efektif untuk tipe tanah berbutir (nonkohesif), mampu menghasilkan stabilitas Marshall yang cukup tinggi dan diperkirakan dapat diterapkan untuk jalan bervolume lalu lintas sedang – tinggi; sedangkan untuk stabilisasi berbasis bahan kimia, khususnya tipe produk *Enzymatic Emulsion*, *Synthetic Polymer Emulsion* dan *Electrolyte Emusions*, umumnya lebih efektif untuk tipe tanah lempung, mampu meningkatkan nilai CBR tanah sekitar 90% – 150% dan meningkatkan nilai UCS sekitar 170% - 600% (setelah *curing time* 7 hari). Untuk tanah pasir lempungan, penggunaan tipe produk bahan kimia *Electrolyte Emusions* mampu meningkatkan nilai CBR tanah sekitar 50% – 75% dan meningkatkan nilai UCS sekitar 150% - 200% (setelah *curing time* 7 hari). Penggunaan tipe produk bahan kimia *Enzymatic Emulsion* dan *Electrolyte Emusions*, relatif tidak mampu meningkatkan nilai CBR dan UCS yang cukup signifikan, bahkan justru menurunkan nilai CBR tanah. Peningkatan *curing time* dari 7 hari menjadi 14 hari dan 28 hari relatif tidak mampu meningkatkan nilai CBR dan UCS secara cukup signifikan.

1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kebutuhan bahan berkualitas tinggi untuk perkerasan jalan dari tahun ke tahun terus meningkat sesuai meningkatnya pembangunan maupun pemeliharaan jalan, sementara ketersediaan bahan tersebut dari tahun ke tahun semakin berkurang, bahkan untuk daerah-daerah tertentu ketersediaan bahan berkualitas tinggi sudah sangat terbatas atau mungkin tidak ada lagi, sehingga untuk pembangunan maupun pemeliharaan jalan, harus mendatangkan bahan berkualitas tinggi dari daerah lain. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi.

Untuk mengatasi kendala keterbatasan bahan perkerasan jalan yang berkualitas tinggi, diperlukan upaya agar bahan lokal dan substandar dapat digunakan. Beberapa metode dapat diterapkan, diantaranya dengan melakukan stabilisasi. Saat ini, beberapa tipe bahan stabilisasi yang sudah dikenal umum adalah stabilisasi dengan semen dan kapur. Penggunaan kedua bahan tersebut untuk stabilisasi telah dilakukan cukup banyak di Indonesia. Dengan kemajuan teknologi saat ini, beberapa tipe bahan stabilisasi juga sudah mulai dipakai, antara lain bahan berbasis aspal dan bahan kimia.

Melihat pentingnya pemanfaatan bahan lokal dan substandar untuk mendukung efisiensi pembangunan jalan maka dirasa perlu untuk melakukan penelitian yang mendalam terkait pemanfaatan bahan lokal dan substandar tersebut, khususnya penelitian laboratorium stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menunjang pembangunan jalan-jalan yang bervolume lalu lintas rendah.

1.2 Perumusan Masalah

Pada daerah-daerah tertentu di Indonesia, ketersediaan bahan berkualitas sesuai persyaratan spesifikasi yang berlaku saat ini sangat terbatas dan bahkan mungkin tidak ada, sehingga untuk pembangunan maupun pemeliharaan jalan, harus mendatangkan bahan berkualitas dari daerah lain. Hal ini berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi. Teknologi stabilisasi merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kendala tersebut. Dengan stabilisasi, bahan atau agregat lokal dengan kualitas tidak memenuhi persyaratan spesifikasi, kemungkinan masih bisa digunakan, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

1.3 Tujuan dan Sasaran

Penelitian laboratorium ini bertujuan untuk mengetahui sejauh mana pengaruh stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia ini terhadap karakteristik tanah, dan sasaran yang ingin dicapai adalah tersedia teknologi stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia untuk pemanfaatan bahan lokal dan substandar sebagai bahan perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah.

1.4 Metodologi

Dalam penelitian ini, beberapa kegiatan telah dilakukan untuk mencapai sasaran sebagaimana telah ditetapkan. Pertama adalah melakukan kajian literatur terkait pemanfaatan bahan lokal dan substandar, dan teknologi stabilisasi tanah sebagai salah satu metode pemanfaatan bahan lokal dan substandar tersebut sebagai bahan perkerasan jalan, khususnya stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia. Selanjutnya, dilakukan survey lapangan dan pengambilan contoh tanah untuk pengujian sifat fisiknya di laboratorium. Pengujian sifat fisik tanah terutama dimaksudkan untuk menentukan tipe bahan stabilisasi yang sesuai diantara stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia.

Setelah ditentukan tipe bahan stabilisasi yang sesuai, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk menentukan sifat atau karakteristik campuran tanah dengan bahan stabilisasi. Jenis pengujian laboratorium yang dilakukan tergantung kriteria utama yang diperlukan. Untuk stabilisasi tanah berbasis aspal, pengujian yang dilakukan adalah stabilitas Marshall. Pengujian modulus elastisitas hanya dilakukan untuk campuran yang menghasilkan stabilitas Marshall maksimum. Pengujian modulus elastisitas ini diperlukan untuk mengantisipasi desain perkerasan dengan menggunakan metode mekanistik. Sedangkan untuk stabilisasi tanah berbasis bahan kimia, pengujian yang dilakukan adalah CBR dan UCS setelah melalui proses perawatan (*curing time*) 7 hari, 14 hari dan 28 hari. Khusus untuk contoh tanah yang sesuai untuk distabilisasi bahan kimia, sebelum digunakan bahan kimia, terlebih dahulu dilakukan pengujian karakteristik tanah, mencakup pengujian pemadatan, CBR dan UCS.

Hasil pengujian laboratorium selanjutnya dianalisis untuk menentukan pengaruh penggunaan aspal atau bahan kimia terhadap karakteristik tanah. Untuk stabilisasi berbasis aspal, analisis terutama mencakup pengaruh berbagai variasi persentase kadar aspal residual terhadap stabilitas Marshall dan ditentukan persentase kadar aspal residual yang

menghasilkan stabilitas Marshall maksimum, dinyatakan sebagai persentase kadar aspal residual optimum, dan ditentukan karakteristik campuran pada persentase kadar aspal residual optimum tersebut. Untuk stabilisasi berbasis bahan kimia, analisis mencakup pengaruh tipe dan jumlah bahan kimia yang digunakan, dan *curing time* terhadap nilai CBR dan UCS tanah, dalam arti bahwa apakah nilai CBR dan UCS tanah setelah digunakan bahan kimia, dan dengan *curing time* tertentu, mengalami peningkatan atau tidak jika dibandingkan dengan nilai CBR dan UCS tanah sebelum digunakan bahan kimia. Analisis pengaruh peningkatan *curing time* terhadap nilai CBR dan UCS campuran tanah dan bahan kimia dilakukan dengan membandingkan nilai CBR dan UCS setelah *curing time* 14 hari dan 28 hari terhadap nilai CBR dan UCS setelah *curing time* 7 hari. Bagan alir kegiatan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.1

1.5 Sistematika Bab

Naskah ilmiah ini terdiri dari 5 bab. Bab 1 – Uraian mengenai latar belakang penelitian dan informasi terkait pentingnya pemanfaatan bahan lokal dan substandar sebagai bahan perkerasan jalan, tujuan dan sasaran yang ingin dicapai dan langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai sasaran yang ditetapkan.

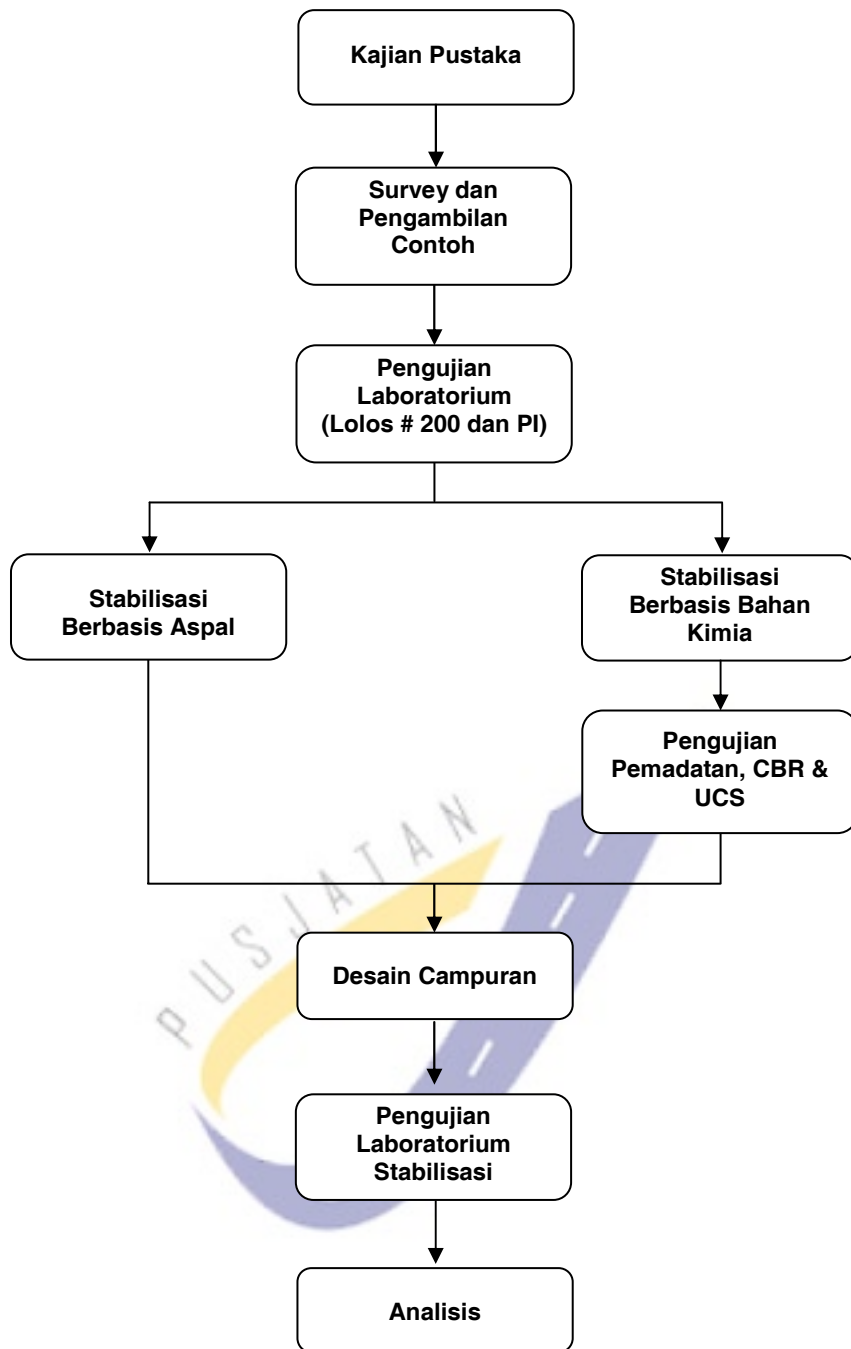
Bab 2 – Uraian umum mengenai masalah-masalah terkait kerusakan perkerasan jalan yang disebabkan karena penggunaan bahan yang tidak sesuai persyaratan spesifikasi (substandar) dan teknologi stabilisasi tanah sebagai salah satu metode pemanfaatan bahan lokal dan substandar sebagai bahan perkerasan jalan, mencakup tipe bahan stabilisasi, dan pemilihan tipe bahan stabilisasi yang sesuai. Uraian umum stabilisasi tanah berbasis aspal dan bahan kimia juga diuraikan dalam bab 2 ini.

Bab 3 – Penelitian atau kajian laboratorium stabilisasi tanah berbasis aspal, mencakup tipe tanah dan aspal yang digunakan, hasil pengujian laboratorium dan analisis sifat atau karakteristik campuran tanah dan aspal.

Bab 4 – Penelitian atau kajian laboratorium stabilisasi berbasis bahan kimia, mencakup tipe tanah dan bahan kimia yang digunakan, hasil pengujian laboratorium dan analisis pengaruh tipe dan jumlah bahan kimia, dan pengaruh *curing time* terhadap peningkatan nilai CBR dan UCS.

Bab 5 – Berisi kesimpulan hasil pengujian dan analisis pengaruh stabilisasi berbasis aspal atau bahan kimia terhadap sifat atau karakteristik tanah yang digunakan. Beberapa saran untuk kegiatan selanjutnya yang diperlukan juga diuraikan pada bab 5.





Gambar 1.1 Bagan alir penelitian

2

TEKNOLOGI STABILISASI TANAH

2.1 Gambaran Umum dan Permasalahan

Secara administratif, jalan dibedakan menjadi jalan nasional, jalan provinsi, dan jalan kabupaten/kota. Dibandingkan dengan jalan nasional dan jalan provinsi, jalan kabupaten umumnya dilalui oleh kendaraan dengan volume yang lebih rendah atau disebut jalan bervolume lalu lintas rendah. AASHTO (1993) mengklasifikasikan jalan bervolume lalu lintas rendah ini adalah jalan dengan volume lalu lintas kurang dari 400 kendaraan per hari atau jumlah ESAL ≤ 1 juta.

Indonesia sebagai suatu negara yang sedang berkembang, pembangunan jalan baru maupun pemeliharaan jalan yang sudah ada dari tahun ke tahun terus meningkat. Hal tersebut tentu setiap tahunnya akan membutuhkan ribuan dan bahkan jutaan ton bahan (tanah atau agregat) yang berkualitas tinggi sesuai spesifikasi. Sebagaimana diketahui bahwa untuk menghasilkan suatu konstruksi perkerasan yang berkualitas tinggi diperlukan bahan berkualitas tinggi. Banyak kasus kerusakan dini perkerasan jalan disebabkan karena bahan yang digunakan tidak memenuhi persyaratan spesifikasi (substandar). Permasalahannya adalah bahwa untuk daerah tertentu,

seperti di Kalimantan, Papua dan beberapa daerah lainnya, ketersediaan bahan berkualitas tinggi sesuai spesifikasi yang berlaku saat ini sangat terbatas dan bahkan mungkin tidak ada, sehingga harus mendatangkan bahan berkualitas dari daerah lain. Hal ini berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi. Penggunaan bahan berkualitas tinggi yang didatangkan dari daerah lain untuk perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah dirasa kurang efektif, dalam arti persyaratan kualitas bahan yang diperlukan tidak sebanding dengan jumlah lalu lintas yang akan diakomodasi. Untuk kasus ini, bahan lokal dan substandar masih memungkinkan untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah.

Metode yang dapat diterapkan untuk pemanfaatan bahan lokal dan substandar antara lain dengan melakukan stabilisasi dan/atau kajian terhadap metode desain struktural perkerasan jalan. Dengan perbaikan atau stabilisasi dan desain struktural yang sesuai, banyak bahan lokal yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi, misalkan ketidaksesuaian gradasi, sifat plastisitas, kekuatan, dsb., masih menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya jalan bervolume lalu lintas rendah (Arora, P.L., Crowther, L. and Akhter, G. (1986); Greening, P.A.K. and Rolt, J (1997); Cook, J.R. and Gourley, C.S. (2003)). Tanpa mengabaikan kinerja perkerasan yang akan dicapai, penggunaan bahan lokal sangat berperan terkait dengan penghematan biaya, pengelolaan sumber bahan dan lingkungan (UK *Departement for Development*, DFID).

Di India, dengan kondisi terain, iklim, curah hujan, lalu lintas dan ketersediaan bahan dengan kualitas yang sangat bervariasi, keseragaman metode desain atau persyaratan pelaksanaan konstruksi tidak dapat diterapkan. Metode desain dan teknologi yang diterapkan disesuaikan dengan kondisi masing-masing daerah (R.P. Indoria, 2009).

Terkait dengan stabilisasi tanah, beberapa tipe bahan stabilisasi yang sudah dikenal umum adalah semen dan kapur. Penggunaan kedua bahan tersebut

untuk stabilisasi telah dilakukan cukup banyak di Indonesia. Sesuai kemajuan teknologi stabilisasi, beberapa tipe bahan stabilisasi juga sudah mulai dipakai, diantaranya bahan berbasis aspal dan bahan kimia. Tingkat keberhasilan stabilisasi berbasis aspal dan bahan kimia ini masih sangat berfluktuasi.

2.2 Tipe Stabilisasi

Sebagaimana telah diuraikan sebelumnya, bahwa teknologi stabilisasi merupakan salah satu metode pemanfaatan bahan lokal dan substandar sebagai bahan perkerasan jalan. Teknologi stabilisasi ini adalah proses pencampuran bahan yang tersedia dengan bahan stabilisasi, selanjutnya dipadatkan pada kadar tertentu untuk mencapai kepadatan sesuai rencana. Tujuannya, antara lain mengurangi sifat plastisitas, memperbaiki gradasi, meningkatkan kekuatan dan daya dukung, mengurangi permeabilitas, mengurangi kompresibilitas, meningkatkan durabilitas, mengurangi erodibilitas, mengurangi perubahan volume akibat perubahan kadar air, dsb. Selain untuk pemanfaatan bahan lokal dan substandar, teknologi stabilisasi ini juga dapat meningkatkan fungsi atau kegunaan bahan dari lapisan dengan kualitas bahan yang lebih rendah menjadi lapisan bahan dengan kualitas lebih tinggi (misalkan dari *subgrade* menjadi *subbase/base*, atau dari *subbase* menjadi *base*), dan dapat mengurangi ketebalan lapis perkerasan.

Akan tetapi, keberhasilan teknologi stabilisasi ini masih sangat berfluktuasi, tergantung beberapa faktor, antara lain tipe tanah yang akan distabilisasi, tipe bahan stabilisasi, lalu lintas, iklim, cuaca, termasuk metode pelaksanaannya di lapangan.

Secara umum, teknologi stabilisasi dikelompokkan menjadi dua kategori, sebagai berikut:

- **Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*)** - Mencakup pencampuran dua atau lebih tipe material tanah, umumnya dimaksudkan untuk memperbaiki gradasi, memperbaiki kemampuan untuk mengalirkan air (*draining*), dan/atau pemadatan tanah. Penggunaan geosintetik/geokomposit/*fiber* untuk meningkatkan kekuatan juga termasuk stabilisasi mekanis. Dalam naskah ini, stabilisasi mekanis tidak diuraikan lebih lanjut.
- **Stabilisasi berbasis bahan kimia (*chemical stabilization*)** – Stabilisasi berbasis bahan kimia ini dikelompokkan lagi menjadi dua kategori berdasarkan tipe bahan kimia yang digunakan (Maureen A. Kestler, 2009), sebagai berikut:
 - Bahan kimia tradisional:
 - Semen Portland (Tipe I, II dan III)
 - Kapur (*quicklime*, CaO ; *hydrated lime*, Ca(OH)_2)
 - *Fly ash* (*fly ash*, *coal ash*, *bottom ash*)
 - Aspal (*asphalt cutback*, aspal emulsi)
 - Campuran dua atau lebih bahan kimia tradisional (*kapur-fly ash*, *kapur-semen-fly ash*, dsb)
 - Bahan kimia non tradisional:
 - *Chlorides* (*chlorides*, *salt*, *calcium chloride*, *magnesium chloride*, *sodium chloride*)
 - *Clay additives* (*clay additives*, *clay*, *filler*, *bentonite*, *montmorillonite*)
 - *Electrolyte emulsion* (*electrolyte stabilizers*, *ionic stabilizers*, *electrochemical stabilizer*, *acids*)
 - *Enzymatic emulsion* (*enzymatic emulsion*, *enzymes*)
 - *Lignosulfonates* (*lignosulfonates*, *lignin*, *lignin sulfate*, *lignin sulfides*)
 - *Synthetic-polymer emulsion* (*synthetic-polymer emulsions*, *polyvinyl acetate*, *vinyl acrylic*)

- *Tree-resin emulsion (tree-resin emulsions, tall-oil emulsions, pine-tar emulsions)*

Dalam naskah ilmiah ini, istilah stabilisasi berbasis bahan kimia yang dimaksudkan adalah stabilisasi tanah menggunakan bahan kimia nontradisional, sedangkan stabilisasi tanah dengan bahan kimia tradisional lebih dikenal dengan istilah yang sesuai tipe bahan stabilisasi yang digunakan. Misalkan: stabilisasi semen, stabilisasi kapur, stabilisasi aspal (stabilisasi berbasis aspal), dst.

2.3 Pemilihan Tipe Bahan Stabilisasi

Berbagai tipe bahan stabilisasi dapat digunakan, tergantung tipe tanah yang akan distabilisasi, lalu lintas, iklim, cuaca, termasuk metode pelaksanaannya di lapangan. Suatu tipe tanah dapat distabilisasi dengan satu atau lebih tipe bahan stabilisasi. Demikianpun untuk satu tipe bahan stabilisasi dapat dipakai untuk menstabilisasi satu atau lebih tipe tanah. Beberapa metode telah dikembangkan terkait pemilihan tipe bahan stabilisasi yang sesuai, antara lain *Austroad* (1998), lihat Tabel 2.1. Umumnya pemilihan tipe bahan stabilisasi ini berdasarkan sifat fisik (gradasi dan sifat plastisitas) tanah.

Iklim berpengaruh cukup signifikan terhadap pemilihan tipe bahan stabilisasi yang digunakan. Pada daerah basah dimana kadar air bahan perkerasan cukup tinggi, maka sangat penting untuk menjamin bahwa kekuatan basah bahan yang distabilisasi tetap tinggi (sesuai). Pada kondisi tersebut, tipe bahan stabilisasi yang bersifat semen (*cementitious*) umumnya lebih cocok, walaupun aspal dan campuran aspal/ semen juga dapat digunakan. Kapur lebih sesuai untuk tanah kohesif, khususnya apabila digunakan sebagai bahan untuk mengurangi kadar air awal tanah kohesif tersebut. Kapur juga dapat digunakan untuk tanah lanauan jika *pozzolan* ditambahkan untuk menghasilkan reaksi *cementing*. Menggunakan aspal emulsi pada daerah bercuaca kering-dingin membutuhkan semen atau

kapur untuk memfasilitasi keluarnya air dari aspal emulsi tersebut selama proses stabilisasi. Semen atau kapur juga dapat meningkatkan kekuatan bahan yang distabilisasi aspal emulsi.

Tabel 2.1 Pemilihan tipe bahan stabilisasi (Austroad, 1998)

	Lebih dari 25 % Lolos # 0,075 mm			Kurang dari 25 % Lolos # 0,075 mm		
Indeks Plastisitas	$PI \leq 10$	$10 \leq PI \leq 20$	$PI \geq 20$	$PI \leq 6$ ($PI \times p$) ≤ 60	$PI \leq 10$	$PI \geq 10$
Tipe Bahan Stabilisasi						
Semen dan Campuran Bahan Bersifat Semen						
Kapur						
Bitumen						
Bitumen dan Bitumen + Semen						
Granular						
Bahan Kimia						

Keterangan:

PI - Indeks plastisitas

p - Persen lolos # 0,075 mm

Cocok



Meragukan



Tidak cocok



2.4 Stabilisasi Tanah Berbasis Aspal

2.4.1 Mekanisme Stabilisasi

Stabilisasi tanah dengan aspal sangat berbeda dibandingkan dengan stabilisasi menggunakan semen atau kapur. Untuk stabilisasi tanah berbutir halus, mekanisme dasarnya adalah kedap air (*waterproofing*). Partikel atau

gumpalan partikel tanah diselimuti/ dilapisi aspal, dapat mencegah atau memperlambat penetrasi air (air menyebabkan penurunan kekuatan tanah), dan meningkatkan karakteristik durabilitas. Sedangkan untuk stabilisasi tanah non-kohefif, seperti pasir dan kerikil, dua mekanisme yang terjadi adalah kedap air dan adhesi.

- **Sifat kedap air** - Pada kasus ini, aspal menyelimuti tanah non-kohefif membentuk suatu membran yang dapat mencegah atau menghindari penetrasi air dan mengurangi kecenderungan tanah kehilangan kekuatan akibat adanya air.
- **Adhesi** - Partikel agregat atau tanah melekat pada aspal. Aspal bekerja sebagai bahan pengikat (*cementing*). Efek *cementing* ini meningkatkan kekuatan geser seiring dengan peningkatan kohesi.

2.4.2 Tipe Tanah

Stabilisasi berbasis aspal dapat dilakukan untuk berbagai tipe tanah. Akan tetapi ketika kemudahan pelaksanaan juga merupakan salah satu kriteria yang harus dipenuhi, stabilisasi berbasis aspal ini lebih efektif untuk tanah berbutir kasar (nonkehesif) dan digunakan terutama untuk lapis fondasi dan fondasi bawah.

Sesuai *Austroad* (1998), lihat Tabel 2.1, tipe tanah atau agregat yang sesuai untuk distabilisasi dengan aspal adalah tanah atau agregat yang mengandung material halus (lolos saringan 0,075 mm) kurang dari 25% dengan indeks plastisitas, $PI \leq 10$. Untuk tanah atau agregat dengan indeks plastisitas, $PI \leq 6$, indeks plastisitas dikalikan persentase bahan lolos saringan 0,075 mm ($PI \times p$) harus lebih kecil atau sama dengan 60. Tanah atau agregat dengan jumlah persentase bahan halus lebih dari 25% dan indeks plastistas, $PI = 10$ atau kurang, masih meragukan untuk distabilisasi dengan aspal.

2.4.3 Tipe Aspal

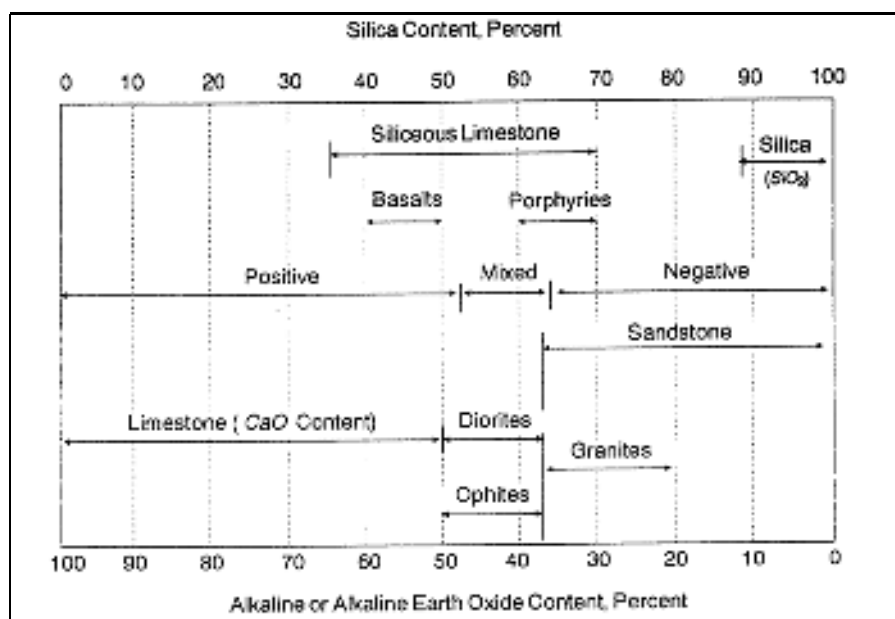
Berbagai tipe aspal dapat digunakan untuk stabilisasi tanah. Pemilihan tipe aspal yang sesuai sangat tergantung pada beberapa faktor, antara lain tipe tanah yang akan distabilisasi, metode konstruksi dan kondisi cuaca. Untuk mendapatkan campuran berkualitas tinggi dimana unit peralatan pencampur khusus (*asphalt mixing plant*, AMP) digunakan, aspal semen dapat digunakan. Akan tetapi, umumnya untuk stabilisasi berbasis aspal ini, aspal langsung ditebarkan pada permukaan tanah yang akan distabilisasi dan pemadatan dilakukan segera setelah pencampuran, maka tipe aspal yang sesuai adalah aspal cair (aspal *cutback* dan aspal emulsi). Aspal emulsi lebih disukai karena tidak menimbulkan polusi. Tabel 2.2 menunjukkan tipe aspal cair yang sesuai berdasarkan tipe gradasi tanah yang akan distabilisasi.

Baik aspal emulsi bermuatan listrik positif (*cationic*) maupun aspal emulsi bermuatan listrik negatif (*anionic*) dapat digunakan. Aspal emulsi bermuatan positif digunakan untuk tanah atau agregat berbasis silika dan aspal emulsi bermuatan negatif digunakan untuk tanah atau agregat berbasis karbonat, lihat Gambar 2.1 dan Gambar 2.2.

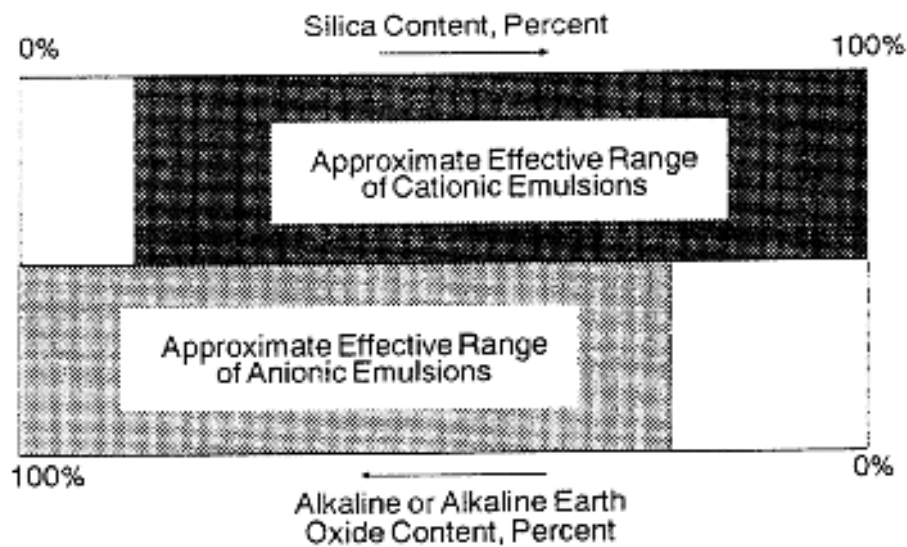
Iklim atau cuaca berpengaruh cukup signifikan terhadap pemilihan tipe aspal yang digunakan. Pada daerah kering-panas, digunakan tipe aspal *cutback* penguapan sedang sampai lambat (MC – SC), dan pada daerah yang lebih dingin, digunakan tipe aspal *cutback* penguapan sedang sampai cepat (MC – RC). Aspal emulsi lebih efektif pada daerah kering-panas.

**Tabel 2.2 Tipe aspal cair yang digunakan untuk stabilisasi tanah atau agregat
(The Army, The Navy, and The Air Force, 1994)**

Tipe Gradasi	Tipe dan Grade Aspal				
	Aspal <i>Cutback</i>			Aspal Emulsi	
	<i>Rapid Curing</i>	<i>Medium Curing</i>	<i>Slow Curing</i>	<i>Medium setting</i>	<i>Slow setting</i>
Gradasi terbuka	RC-250 RC-800	MC-3000		MS-2 CMS-2	
Gradasi baik dengan sedikit atau tanpa bahan lolos saringan 0,075 mm	RC-250 RC-800	MC-250 MC-800	SC-250 SC-800	MS-2 CMS-2	SS-1 CSS-1
Bahan lolos saringan 0,075 mm cukup tinggi		MC-250 MC-800	SC-250 SC-800	MS-2 CMS-2	SS-1 SS-01h CSS-1 CSS-1h



Gambar 2.1 Klasifikasi tanah atau agregat berdasarkan muatan listriknya



Gambar 2.2 Pemilihan tipe aspal emulsi

Tipe stabilisasi aspal yang paling sederhana adalah penggunaan aspal *cutback* untuk permukaan jalan kerikil tanpa pengikat (*unbound aggregate road*). Untuk tipe ini, digunakan SC-70, SC-250, MC-70 dan MC-250.

2.5 Stabilisasi Tanah Berbasis Bahan Kimia

2.5.1 Umum

Bahan stabilisasi berbasis bahan kimia (FHWA, 2005, menyebutnya sebagai bahan kimia nontradisional) telah banyak digunakan di berbagai negara di dunia. Di Australia, pengembangan bahan stabilisasi berbasis bahan kimia ini didasari pada isu mengenai debu yang berasal dari jalan akses (jalan tanpa penutup) yang menutupi tanaman dan mempengaruhi hasil panen para petani di negara tersebut. Penggunaan bahan pengikat berbasis bahan kimia merupakan solusi yang sederhana dan efektif untuk mengurangi debu pada jalan tanpa penutup dan meminimalisasi alur (*rutting*) pada permukaan jalan setelah terjadi hujan. Selain untuk mengatasi debu, bahan

stabilisasi berbasis kimia ini juga mempunyai kemampuan untuk meningkatkan kekuatan dan mengurangi permeabilitas.

Bahan stabilisasi berbasis bahan kimia ini bisa berbentuk serbuk/ tepung atau cair (dilarutkan dalam air) dan diaplikasikan ke bahan perkerasan dengan menggunakan peralatan yang sama seperti untuk kapur dan semen. Umumnya, bahan kimia sebagai *dust suppressant*, berbentuk cair dan diaplikasikan pada permukaan jalan tanpa penutup dengan cara disemprot (*sprayed*). Pencampurannya kadang-kadang menggunakan *motor grader* dan dipadatkan dengan alat pemadat ringan (George Vorobieff, 2004).

Penelitian terbatas yang bersifat independen telah dilakukan untuk beberapa tipe produk bahan kimia ini untuk membedakan produk mana yang menghasilkan peningkatan kinerja dan produk mana yang tidak atau hanya sebagian (Tingle and Santoni, 2003). Perbandingan atau pemilihan tipe produk yang sesuai dapat bersifat subyektif dan kadang-kadang sangat rumit. Hal tersebut disebabkan:

- Kinerja lapangan penggunaan bahan kimia ini masih sangat berfluktuasi. Beberapa produk dapat menghasilkan/menunjukkan kinerja yang baik untuk tipe tanah dan kondisi lingkungan tertentu tetapi menunjukkan kinerja jelek untuk tipe tanah dan kondisi lingkungan yang lainnya.
- Bahan kimia yang diperkenalkan ini diproduksi secara khusus oleh peberik pembuatannya. Komponen atau unsur kimia yang terkandung di dalamnya maupun reaksinya dengan tanah jarang sekali dipublikasikan secara terbuka sehingga mekanisme stabilisasi umumnya tidak diketahui.
- Strategi pemasaran sering kali tidak menggunakan nama merk yang sama sehingga sejarah produk dan pengguna tidak banyak diketahui.

Akan tetapi jika stabilisasi berbasis bahan kimia ini akan digunakan, gambaran mengenai tipe dan pemilihan bahan stabilisasi yang sesuai ditunjukkan pada Tabel 2.3.

2.5.2 Mekanisme Stabilisasi

Stabilitas tanah, yang menjadi pusat perhatian para ahli teknik sipil, erat kaitannya dengan struktur dan mineralogi partikel lempung, interaksi partikel lempung dan air, kapasitas pertukaran ion partikel lempung, dan interaksi partikel lempung dan bahan organik atau inorganik. Kerusakan jalan banyak disebabkan oleh air atau mungkin lebih tepat disebut interaksi antara air dan partikel lempung di bawah perkerasan jalan. Tujuan utama stabilisasi tanah dengan bahan kimia adalah memodifikasi interaksi antara air dan partikel lempung akibat reaksi permukaan yang sedemikian sehingga menguntungkan ditinjau dari aspek teknik.

Mineral lempung terdiri dari lapisan ion-ion pada permukaan dan dikelilingi hidrosfir dari molekul air yang terserap, yang ditarik secara kuat ke permukaan partikel lempung. Pada lingkungan yang berair (kadar air tanah tinggi), ion-ion bergerak secara bebas di dalam hidrosfir dari partikel lempung dan bertukar posisi secara acak. Pada lingkungan tersebut, banyak ion-ion terlarut oleh sejumlah molekul air dan meningkatkan *hydrophylicity* (sifat suka terhadap air) dari lempung. Banyaknya jumlah molekul air, dan mobilitas kation dan anion di dalam suatu sistem lempung-air menyebabkan tanah bersifat plastis. Tanah yang mengandung partikel lempung tinggi yang mempunyai permukaan spesifik lebih besar dan daya tarik terhadap air lebih kuat, cenderung bersifat plastis; sedangkan tanah yang tidak mengandung partikel lempung dengan permukaan spesifik jauh lebih kecil dan daya tarik terhadap air kurang, cenderung bersifat tidak atau kurang plastis, walaupun tanah tersebut berbutir halus.

Stabilisasi berbasis bahan kimia merupakan salah satu solusi untuk mengurangi masalah terkait interaksi partikel lempung dan air. Dua mekanisme utama stabilisasi berbasis bahan kimia adalah pertukaran ion dan ionisasi.

- **Mekanisme pertukaran ion** - Partikel lempung umumnya bermuatan listrik negatif. Hal ini menyebabkan partikel lempung ini memiliki daya tarik yang kuat terhadap muatan positif yang ada di sekitarnya. Oleh karena itu, unsur kimia yang memiliki ikatan yang lebih kuat terhadap permukaan lempung dari pada terhadap air, harus ditambahkan untuk memodifikasi permukaan lempung yang ada dan mengurangi kepekaan partikel lempung terhadap air. Jika sejumlah molekul positif yang kuat dapat diberikan, muatan negatif dari mineral lempung dapat dinetralkan dan muatan-muatan yang ada menjadi berimbang. Pada saat yang sama, muatan positif yang lebih lemah, seperti H^+ dengan mudah dipisahkan atau diganti. Penggantian muatan tersebut menyebabkan lempung tidak peka terhadap air, dan mudah dipadatkan untuk menghasilkan *interlocking* (saling mengunci) antarpartikel lebih baik (kepadatan meningkat dan penetrasi air berkurang).
- **Mekanisme ionisasi** - Unsur kimia yang mempunyai kapasitas pertukaran ion tinggi ditambahkan ke dalam air untuk mengaktifkan ion H^+ dan OH^- , mengionisasi air dan mempertukarkan muatan listriknya dengan partikel lempung. Proses ionisasi ini memaksa air pelikular memecahkan ikatan elektrokimianya dengan partikel lempung menjadi air bebas, dan kemudian dikeringkan atau dikeluarkan dari tanah melalui gravitasi atau penguapan. Setelah air pelikular terpisah dari lempung dan dikeringkan, partikel tanah akan memampat (*settle*) dan tersusun sedemikian sehingga satu sama lainnya saling tarik-menarik. Hal tersebut menghasilkan densifikasi massa tanah menjadi lebih tinggi dan rongga antar butir menjadi lebih kecil.

2.5.3 Tipe dan Pemilihan Tipe Bahan Kimia

Tipe dan pemilihan tipe bahan kimia ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.3 Tipe dan penggunaan bahan kimia untuk stabilisasi tanah
(Maureen A. Kestler (2009), dikutip dari FHWA Guide (2005))

1. BAHAN BERBASIS KLORIDA (<i>CHLORIDES</i>)	
▪ Informasi umum	
Nama umum	: <i>Chlorides, Salts, Calcium Chloride</i> (CaCl_2), <i>Magnesium Chloride</i> (MgCl_2), <i>Sodium Chloride</i> (NaCl_2).
Nama atau merek dagang	: <i>CaCl₂, Dowflake, LiquidDow, Roadmaster, MgCl₂, Dust-Off, Dus-Top, Dust Guard</i> , dsb.
Deskripsi produk	: Chlorides umumnya digunakan untuk mengurangi debu pada permukaan jalan tanpa penutup. Dapat dicampur dengan bahan-bahan lain dan diaplikasikan dalam bentuk cair atau serbuk. <i>Chlorides</i> dapat menyerap air (<i>hygroscopic</i>) dari udara dan mengurangi penguapan (<i>deliquescent</i>), sehingga permukaan jalan tetap lembab. CaCl_2 sedikit lebih efektif dari pada MgCl_2 dalam hal menyerap air dan mengurangi penguapan. NaCl_2 tidak seefektif CaCl_2 atau MgCl_2 dan hanya digunakan apabila produk <i>chlorides</i> lainnya tidak tersedia.
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>)
Lalu lintas	: Sangat rendah (< 200 AADT). Untuk jalan tanpa penutup dengan volume lalu lintas lebih tinggi, <i>chlorides</i> harus sering digunakan.
Iklim	: Tidak efektif untuk cuaca yang sangat kering dan sangat basah. MgCl_2 membutuhkan kelembaban relatif > 32% pada suhu 25°C dan CaCl_2 membutuhkan kelembaban relatif > 29% pada suhu 25°C. CaCl_2 menunjukkan kinerja yang lebih baik pada kelembaban yang lebih tinggi; MgCl_2 menunjukkan kinerja yang lebih baik pada cuaca kering yang lebih panjang. <i>Chlorides</i> dapat lepas (<i>leached</i>) dari permukaan jalan tanpa penutup akibat curah hujan yang tinggi, sehingga diperlukan penggunaan yang lebih sering pada iklim yang sangat basah. CaCl_2 relatif lebih tahan terhadap <i>leached</i> dari pada MgCl_2 .
Cuaca	: Permukaan jalan tanpa pengikat, termasuk yang telah diperbaiki sifatnya dengan <i>chlorides</i> , sangat peka terhadap kondisi cuaca. Permukaan jalan tersebut akan melunak secara signifikan pada kondisi cuaca yang sangat basah.
Terain	: Permukaan jalan tanpa penutup yang distabilisasi <i>chlorides</i> akan menjadi licin apabila basah dan tidak boleh digunakan pada bagian jalan dengan kelandaian tinggi (curam).
Tipe tanah	: Kerikil bergradasi baik dengan kandungan bahan halus 10 % - 25 %.

2. BAHAN LEMPUNG MONTMORILONIT (*CLAY ADDITIVES*)

▪ Informasi umum

Nama umum	: <i>Clay Additives, Clay Filler, Bentonite, Montmorillonite.</i>
Nama atau merek dagang	: <i>Central Oregon Bentonite, Pelbron, Stabilite, Volclay, dsb.</i>
Deskripsi produk	: <i>Clay additives</i> merupakan material alam, terdiri dari mineral montmorilonit. Montmorilonit adalah mineral lempung berplastisitas tinggi dan bersifat menarik air. <i>Clay additives</i> umumnya digunakan untuk agregat pecah bersifat non plastis. Sifat kohesif dari <i>clay additives</i> membantu mengikat partikel agregat dan mencegah <i>raveling</i> dan <i>washboarding</i> (penggilasan). <i>Clay additives</i> juga akan mengikat material halus pada campuran agregat untuk mengurangi hilang atau lepasnya material halus tersebut. Sejumlah material halus masih diharapkan ada dalam agregat yang distabilisasi <i>clay additives</i> , sehingga penambahan bahan kimia untuk mengatasi debu juga dapat digunakan bersama dengan <i>clay additives</i> apabila debu merupakan sesuatu yang perlu diperhatikan. <i>Clay additives</i> dapat digunakan dalam bentuk serbuk atau bubur (<i>slurry</i>).

▪ Aplikasi

Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>)
Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Untuk volume lalu lintas yang lebih tinggi, diperlukan aplikasi dan perawatan permukaan (<i>surface grading</i>) yang lebih sering.
Iklim	: Pada iklim basah dan/ atau dingin jalan akan cepat rusak dan memerlukan pemeliharaan rutin.
Cuaca	: Jalan agregat/ kerikil yang distabilisasi dengan <i>clay additives</i> sangat peka terhadap kerusakan akibat kondisi cuaca. Jalan tersebut dengan cepat tidak dapat dilalui pada kondisi sangat basah. Hindari pelaksanaan selama musim hujan dan apabila lapis tanah dasar (<i>subgrade</i>) jenuh.
Terain	: -
Tipe tanah	: Umumnya digunakan untuk tanah berplastisitas rendah atau tanah dengan kandungan material halus kurang dari 20 %.

3. BAHAN BERBASIS ELEKTROLIT (*ELECTROLYTE EMULSIONS*)

▪ Informasi umum

Nama umum	: <i>Electrolyte Stabilizer, Ionic Stabilizer, Sulfonated Oils, Electrochemical Stabilizer, Acids</i>
Nama atau merek dagang	: <i>CBR Plus, Condor SS, Road Bond EN-1, AS-44 System, Terrabond Clay Stabilizer, Terrastone</i> , dsb.
Deskripsi produk	: <i>Electrolyte emulsion</i> mengandung bahan kimia yang dapat mengikat secara elektro-kimia partikel tanah dan menggantikan molekul air di dalam struktur tanah. Tanah yang distabilisasi <i>electrolyte emulsion</i> hilang kemampuannya dalam menarik air. Apabila digunakan sedikit pada permukaan jalan tanpa pengikat, <i>electrolyte emulsion</i> efektif untuk mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>), dan jika digunakan lebih banyak, berfungsi sebagai bahan stabilisasi tanah. Jika digunakan dan dipadatkan, tanah terstabilisasi menjadi teguh - keras yang dapat digunakan sebagai bahan lapis permukaan jalan. Informasi terkait <i>electrolyte emulsion</i> ini banyak berupa brosur dan literatur yang disediakan pabrik pembuatannya. Informasi yang bersifat independen dan publikasi mengenai komposisi pasti, dan mekanisme stabilisasi tidak tersedia sehingga sulit untuk mengklasifikasikan <i>electrolyte emulsion</i> secara akurat.
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).
Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Penggunaan akan meningkat sesuai meningkatnya lalu lintas atau kecepatan kendaraan.
Iklim	: -
Cuaca	: Perbaikan (<i>grading/reshaping</i>) dan perbaikan setempat mungkin diperlukan setelah hujan lebat.
Terain	: -
Tipe tanah	: Berbagai variasi tanah dengan kadar lempung > 10 % dan indeks plastis > 10. Paling efektif untuk tanah dengan kadar lempung 10 % - 20% dan indeks plastis 8 - 35.

4. BAHAN BERBASIS ENZIM (<i>ENZYMATIC EMULSIONS</i>)	
▪ Informasi umum	
Nama umum	: <i>Enzymatic Emulsion, Enzymes.</i>
Nama atau merek dagang	: <i>Bio Cat 300-1, EMC SQUARED, Perma-Zyme 11X, Terrazyme, UBIX No.0010, dsb.</i>
Deskripsi produk	: <i>Enzymatic emulsion</i> terdiri dari enzim-enzim (molekul protein) yang bereaksi dengan molekul air untuk membentuk cementing bonding dan mengurangi kemampuan menyerap air. <i>Enzymatic emulsion</i> dapat digunakan untuk berbagai variasi jenis tanah selama kandungan lempung minimum yang diperlukan tersedia. Apabila digunakan sedikit pada permukaan jalan tanpa pengikat, <i>enzymatic emulsion</i> efektif mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>), dan jika digunakan lebih banyak, berfungsi sebagai bahan stabilisasi tanah. Jika digunakan dan dipadatkan, tanah terstabilisasi menjadi padat, teguh - keras, menjadikan lapisan tahan terhadap air sehingga dapat digunakan sebagai bahan lapis permukaan jalan. Sama dengan <i>electrolyte emulsion</i> informasi terkait <i>enzymatic emulsion</i> ini banyak berupa brosur dan literatur yang disediakan pabrik pembuatannya. Informasi yang bersifat independen dan publikasi mengenai komposisi pasti, dan mekanisme stabilisasi tidak tersedia sehingga sulit untuk mengklasifikasikan <i>enzymatic emulsion</i> secara akurat.
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).
Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Penggunaan akan meningkat sesuai meningkatnya lalu lintas atau kecepatan kendaraan.
Iklim	: -
Cuaca	: Terjadi slip bila basah, terutama untuk tanah dengan kadar lempung tinggi (> 20%). Perbaikan (<i>grading/reshaping</i>) dan perbaikan setempat mungkin diperlukan setelah hujan lebat.
Terain	: -
Tipe tanah	: Berbagai variasi tanah dengan kadar lempung > 10 % dan indeks plastis > 8. Paling efektif untuk tanah dengan kadar lempung 12 % - 24 % dan indeks plastis 8 - 35, dan kadar air pemadatan 2 % - 3 % di bawah kadar air optimum.

5. BAHAN BERBASIS LIGNIN (*LIGNOSULFONATES*)

▪ Informasi umum

Nama umum	: <i>Lignosulfonates, Lignin, Lignin Sulfate, Lignin Sulfides.</i>
Nama atau merek dagang	: <i>Dustac, RB Ultra Plus, Polybinder, DC-22, Calbinder, dsb.</i>
Deskripsi produk	: <i>Lignosulfonates</i> diperoleh dari <i>lignin</i> yang secara alamiah mengikat serat-serat selulosa yang membuat pohon bisa menjadi kokoh atau kuat. <i>Lignosulfonates</i> mempunyai sifat seperti semen (<i>cementitious</i>) yang dapat mengikat partikel lapis permukaan jalan. <i>Lignosulfonates</i> ini juga dapat menarik air dari udara agar permukaan jalan tetap lembab (<i>hygroscopic</i>). Jika digunakan dengan tingkat penggunaan rendah pada 2,5 cm di permukaan jalan tanpa pengikat, <i>lignosulfonates</i> berfungsi untuk mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>). Jika tingkat pemakaiannya lebih tinggi dengan ketebalan pencampuran 10 cm - 20 cm, <i>lignosulfonates</i> berfungsi sebagai bahan stabilisasi lapis tanah dasar atau bahan lapis fondasi yang mengandung material halus. Penggunaan <i>lignosulfonates</i> ini dapat meningkatkan UCS dan CBR, mengikat material untuk mengurangi kehilangan partikel, dan menghasilkan permukaan yang bebas debu.
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).
Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Penggunaan akan meningkat sesuai meningkatnya lalu lintas atau kecepatan kendaraan.
Iklim	: Sangat efektif untuk kondisi kering sampai sedang
Cuaca	: Terjadi slip bila basah, terutama untuk tanah yang mengandung material halus dan plastisitas tinggi. Perbaikan (<i>grading/reshaping</i>) dan perbaikan setempat mungkin diperlukan setelah hujan lebat.
Terain	: Karena permukaan jalan yang distabilisasi <i>lignosulfonates</i> menjadi licin apabila basah sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan pada bagian jalan dengan kelandaian tinggi (<i>curam</i>).
Tipe tanah	: Berbagai variasi tanah, seperti pasir, lanau dan lempung. Tetapi paling efektif untuk tanah dengan material halus 8 % - 30 % dan indeks plastis > 8.

6. BAHAN BERBASIS AKRILIK ATAU ASETAT (*SYNTHETIC POLYMER EMULSIONS*)

▪ Informasi umum

Nama umum	: <i>Synthetic Polymer Emulsions, Polyvinyl Acetate, Vinyl Acrylic</i>
Nama atau merek dagang	: <i>Aerospray 70A, Earthbound, Liquid Dust Control, PolyPavement, PX-300, Soil Sement, TerraBond, dsb.</i>
Deskripsi produk	: <i>Synthetic polymer emulsion</i> terutama terdiri dari polimer akrilik atau asetat yang secara khusus diproduksi untuk mengurangi debu dan sebagai bahan stabilisasi, atau produk sampingan dari industri cat. <i>Polymer</i> menyebabkan ikatan kimia yang terbentuk diantara partikel, membuat massa padat dan permukaan jalan tahan terhadap air. Umumnya, <i>Synthetic polymer emulsion</i> ini dapat digunakan untuk berbagai jenis tanah, akan tetapi produk tertentu dari <i>synthetic polymer emulsion</i> lebih efektif untuk jenis tanah tertentu. Jika digunakan dengan tingkat penggunaan rendah, <i>synthetic polymer emulsion</i> berfungsi sebagai <i>dust suppressant</i> . Jika tingkat pemakaiannya lebih tinggi, <i>synthetic polymer emulsion</i> berfungsi sebagai bahan stabilisasi tanah. <i>Graded aggregate</i> dapat distabilisasi untuk membentuk lapisan yang sangat keras dan dapat digunakan sebagai lapis permukaan. Informasi terkait <i>synthetic polymer emulsion</i> ini banyak berupa brosur dan literatur yang disediakan pabrik pembuatannya. Informasi yang bersifat independen dan publikasi mengenai komposisi pasti, dan mekanisme stabilisasi tidak tersedia sehingga sulit untuk mengklasifikasikan <i>synthetic polymer emulsion</i> secara akurat.
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).
Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Penggunaan akan meningkat sesuai meningkatnya lalu lintas truk atau kecepatan kendaraan.
Iklim	: Memerlukan cuaca kering setelah konstruksi untuk pengeringan awal dan memulai perawatan (<i>curing</i>).
Cuaca	: Basah selama lebih dari 2 minggu, material yang distabilisasi dengan <i>synthetic polymer emulsion</i> akan lunak dan kehilangan ketahanan terhadap abrasi.

Terain	: -
Tipe tanah	: Berbagai variasi tanah, seperti pasir, lanau dan lempung. Paling efektif untuk pasir lanauan dengan material halus 5 % - 20 % dan indeks plastis < 8. Untuk material berbutir dengan kandungan material halus kurang dari 2 %, polimer dengan jumlah yang lebih banyak dapat digunakan untuk stabilisasi.

7. BAHAN BERBASIS RESIN (*TREE RESIN EMULSIONS*)

▪ Informasi umum

Nama umum	: <i>Tree Resin Emulsions, Tall Oil Emulsions, Pitch Emulsions, Pine Tar Emulsions</i>
Nama atau merek dagang	: <i>Dustbinder, Dustrol EX, Enduraseal 200, RESIN PAVEMENT, RESINPAVE, ROAD OIL, TerraPave, dsb.</i>
Deskripsi produk	<p>: <i>Tree resin emulsion</i> ini diperoleh dari <i>tree resin</i> (terutama pohon pinus dan cemara) dikombinasikan dengan aditif lainnya untuk menghasilkan emulsi yang dapat digunakan untuk mengurangi debu dan sebagai bahan stabilisasi tanah.</p> <p>Jika digunakan dengan tingkat penggunaan rendah pada 2,5 cm di permukaan jalan tanpa pengikat, <i>tree resin emulsion</i> berfungsi untuk mengurangi debu. Jika tingkat pemakaiannya lebih tinggi dengan ketebalan pencampuran 10 cm - 20 cm, <i>tree resin emulsion</i> berfungsi sebagai bahan stabilisasi lapis tanah dasar atau bahan lapis fondasi yang mengandung material halus. <i>Graded aggregate</i> dengan ukuran partikel maksimum 10 mm (3/8") dapat distabilisasi untuk membentuk lapisan yang sangat keras dan dapat digunakan sebagai lapis permukaan. Ketebalan lapis permukaan jalan agregat yang distabilisasi dengan <i>tree resin emulsion</i> umumnya sampai 50 mm.</p> <p>Informasi terkait <i>tree resin emulsion</i> ini banyak berupa brosur dan literatur yang disediakan pabrik pembuatannya. Informasi yang bersifat independen dan publikasi mengenai komposisi pasti, dan mekanisme stabilisasi tidak tersedia sehingga sulit untuk mengklasifikasikan <i>tree resin emulsion</i> secara akurat.</p>
▪ Aplikasi	
Tipikal penggunaan	: Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).

Lalu lintas	: Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Dapat digunakan untuk jalan tanpa penutup dengan volume lalu lintas lebih tinggi, tetapi diperlukan aplikasi yang lebih sering.
Iklim	: Semua kondisi cuaca, akan tetapi paling baik jika cuaca kering - sedang.
Cuaca	: Basah selama lebih dari 2 minggu, material yang distabilisasi dengan <i>tree resin emulsion</i> akan lunak dan memungkinkan terbentuk alur
Terain	: Permukaan jalan yang distabilisasi <i>tree resin emulsion</i> akan menjadi licin apabila basah, terutama untuk tanah dengan kadar material halus tinggi atau tanah berplastisitas tinggi, sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan pada bagian jalan dengan kelandaian tinggi (curam).
Tipe tanah	: Berbagai variasi tanah, seperti pasir, lanau dan lempung. Paling efektif untuk pasir lanauan dengan material halus 5 % - 30 % dan indeks plastis < 8. Untuk material berbutir dengan kandungan material halus kurang dari 2 %, <i>tree resin emulsion</i> dengan jumlah yang lebih banyak dapat digunakan untuk stabilisasi.





3

KAJIAN LABORATORIUM STABILITASI TANAH BERBASIS ASPAL

3.1 Uraian Umum Jenis dan Prosedur Pengujian

Dalam penelitian atau kajian laboratorium stabilisasi tanah berbasis aspal ini, pengujian yang dilakukan terdiri dari pengujian sifat fisik contoh tanah, pengujian sifat aspal dan pengujian campuran tanah dan aspal (stabilisasi).

Untuk campuran, kriteria utama yang digunakan adalah stabilitas Marshall. Prosedur desain dan pengujian campuran mengacu pada *Asphalt Institute Manual Series No. 14 (Marshall Method for Cutback Asphalt-Aggregate Cold Mixture Design* untuk stabilisasi tanah dengan aspal *cutback* dan *Marshall Method for Emulsified Asphalt-Aggregate Cold Mixture Design* untuk stabilisasi tanah dengan aspal emulsi).

Sesuai *Asphalt Institute Manual Series No. 14*, dipersiapkan minimum 5 contoh tanah, masing-masing dengan massa yang sesuai untuk menghasilkan ketebalan padat benda uji $63,5 \pm 1,3$ mm. Ke-5 contoh tanah

atau agregat tersebut dicampur dengan aspal dengan persentase kadar aspal residual yang bervariasi 0,5 % dan 1,0% di bawah dan di atas perkiraan awal persentase kadar aspal residual optimum. Perkiraan awal persentase kadar aspal residual optimum ditentukan dengan menggunakan persamaan (1). Untuk stabilisasi dengan aspal *cutback*, pencampuran dilakukan pada suhu yang diperlukan untuk menghasilkan viskositas aspal *cutback* (170 ± 20) *centistokes*, sedangkan untuk stabilisasi dengan aspal emulsi, pencampuran dilakukan pada kondisi kadar air total contoh tanah yang sesuai untuk menghasilkan kondisi penyelimutan contoh tanah > 50% (*pre-mixing water*).

$$P = (0,05A + 0,10B + 0,50C) \times (0,70) \dots\dots\dots (1)$$

Keterangan:

- P* = persentase kadar aspal residual (terhadap massa kering tanah atau agregat)
- A* = persentase partikel tanah atau agregat tertahan saringan 2,36 mm (No. 8)
- B* = persentase partikel tanah atau agregat lolos saringan 2,36 mm (No. 8) dan tertahan saringan 0,075 mm (No. 200)
- C* = persentase partikel tanah atau agregat lolos saringan 0,075 mm (No. 200)

Selanjutnya, campuran dipadatkan di dalam cetakan berukuran diameter 101,6 mm dan tinggi sekitar 75 mm dengan menggunakan alat pemadat 4,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 457 mm. Untuk stabilisasi tanah dengan aspal *cutback*, pemadatan dilakukan pada kedua ujung benda uji, masing-masing 75 tumbukan (2 x 75 tumbukan), dan dilakukan pada suhu yang diperlukan untuk menghasilkan viskositas aspal *cutback* (280 ± 30) *centistokes*. Untuk stabilisasi tanah dengan aspal emulsi, pemadatan dilakukan pada kedua ujung benda uji, masing-masing 50 tumbukan (2 x 50

tumbukan), dan pada kondisi kadar air contoh tanah sesuai kadar air optimum.

Pengujian stabilitas Marshall dilakukan pada suhu sebagaimana ditetapkan *Asphalt Institute Manual Series* No. 14 (suhu 25°C untuk stabilisasi tanah dengan aspal *cutback* dan suhu $(22,2 \pm 1,7)^{\circ}\text{C}$ untuk stabilisasi tanah dengan aspal emulsi).

Selain pengujian stabilitas Marshall, dalam penelitian ini juga dilakukan pengujian *fatigue* sesuai AASHTO T 321-03, untuk menentukan modulus elastisitas campuran. Pengujian ini hanya dilakukan untuk stabilisasi tanah dengan aspal *cutback*, dan dilakukan untuk komposisi campuran yang menghasilkan stabilitas Marshall maksimum. Pengujian diperlukan untuk mengantisipasi desain perkerasan dengan menggunakan metode mekanistik.

3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan

3.2.1 Sifat Fisik Contoh Tanah

Contoh tanah (bahan) yang digunakan untuk penelitian laboratorium stabilisasi tanah berbasis aspal ini diambil dari lokasi sumber bahan (kuari) sungai Cimanuk, di Tomo, Kabupaten Sumedang, Jawa Barat. Contoh tanah tersebut diklasifikasikan sebagai tanah pasir kerikilan (A-1-a). Sifat fisik contoh tanah ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Sifat fisik contoh tanah

LL (%)	IP (%)	Lolos # 0,075 mm (%)	Klasifikasi AASHTO	Berat Jenis						Penyerapan	
				Halus			Kasar			Halus	Kasar
				Bulk	SSD	App	Bulk	SSD	App		
NP		7	A-1-a	2,715	2,793	2,946	2,494	2,575	2,715	2,888	3,263

3.2.2 Tipe dan Sifat Aspal

Dua tipe aspal yang digunakan adalah aspal *cutback* (MC-250 dan MC-850) dan aspal emulsi (CSS-1h). Sifat aspal *cutback* ditunjukkan pada Tabel 3.2 dan sifat aspal emulsi ditunjukkan Tabel 3.3.

Tabel 3.2 Tipe dan sifat aspal cutback

No	Sifat	Aspal <i>Cutback</i>	
		MC-250	MC-800
1	Komposisi:		
	Aspal, %	76	85
	Pelarut (kerosin), %	24	15
2	Viskositas SF pada suhu 60°C, detik	137	1246
3	Titik nyala, °C	62	88
4	Penyulingan:		
	– Sulingan pada 190°C, % isi	15	-
	– Sulingan pada 225°C, % isi	38	3,3
	– Sulingan pada 260°C, % isi	48	33
	– Sulingan pada 315°C, % isi	81	73
	– Sulingan pada 360°C, % isi	100	100
	– Sisa pada 360°C, % isi	76	85
5	Penetrasi	220	129
6	Daktilitas	>140	>140
7	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	99,89	99,78
8	Berat jenis	0,9654	0,9808
9	Kadar air, %	0	0

Tabel 3.3 Tipe dan sifat aspal emulsi

No	Sifat	Aspal Emulsi (CSS-1h)
1	Viskositas SF pada suhu 50°C, detik	100
2	Stabilitas penyimpanan 24 jam	0
3	Muatan listrik partikel	Positif
4	Analisis saringan tertahan No. 20	0
5	Penyulingan:	
	Kadar air, % isi	39,0
	Kadar minyak, % isi	0,4
	Kadar residu, % isi	60,6
6	Penetrasi	64
7	Daktilitas	>140
8	Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	99,08

3.2.3 Campuran Tanah dan Aspal *Cutback*

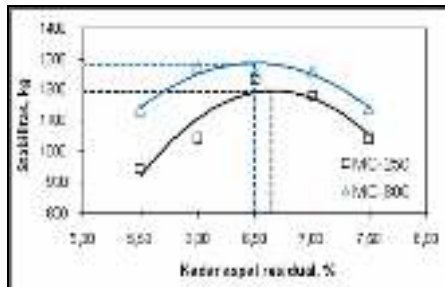
▪ Karakteristik Campuran

Hasil pengujian di laboratorium stabilisasi tanah dengan aspal *cutback* ditunjukkan Gambar 3.1. Dari kurva hubungan antara kadar aspal residual dan stabilitas, ditentukan persentase kadar aspal residual optimum, yaitu kadar aspal residual yang menghasilkan nilai stabilitas maksimum, selanjutnya ditentukan karakteristik campuran pada persentase kadar aspal residual optimum tersebut dengan mengacu pada masing-masing kurva. Kadar aspal residual optimum dan karakteristik campuran pada kadar aspal residual optimum ditunjukkan pada Tabel 3.4.

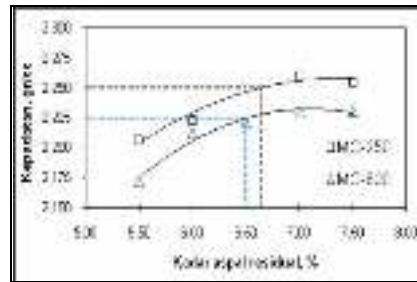
Dari kurva hubungan antara kadar aspal residual dan sifat atau karakteristik campuran terlihat bahwa:

- a) Stabilitas cenderung meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual sampai mencapai nilai stabilitas maksimum pada persentase kadar aspal residual tertentu, selanjutnya menurun kembali sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual. Nilai stabilitas maksimum meningkat sesuai meningkatnya *grade* aspal *cutback*.
- b) Pelelehan terus menurun sampai mencapai pelelehan minimum pada persentase kadar aspal residual tertentu, selanjutnya meningkat kembali sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.
- c) Pada persentase kadar aspal residual yang rendah, kepadatan campuran cenderung meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual tersebut. Setelah mencapai persentase kadar aspal residual tertentu, peningkatan persentase kadar aspal residual cenderung menurunkan kepadatan. Kepadatan maksimum tercapai pada persentase kadar aspal residual yang sedikit lebih tinggi dari persentase kadar aspal residual yang menghasilkan stabilitas maksimum.
- d) Rongga dalam campuran (VIM) terus menurun sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.

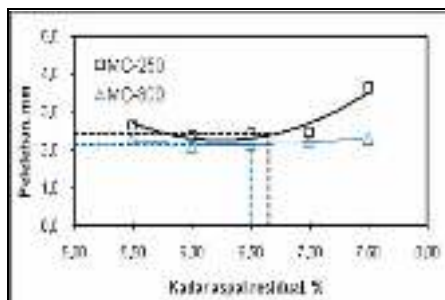
- e) Rongga dalam agregat (VMA) cenderung menurun sampai pada persentase aspal residual tertentu, VMA mencapai nilai minimum, selanjutnya meningkat kembali sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.



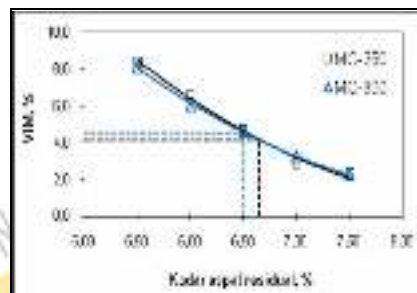
Kadar aspal residual - Stabilitas



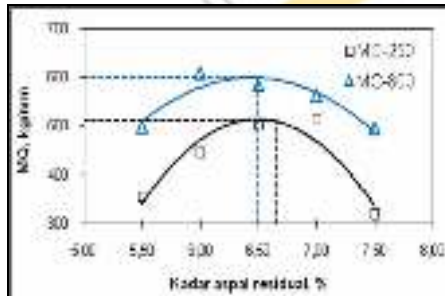
Kadar aspal residual - Kepadatan



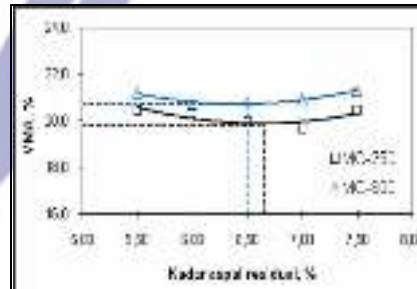
Kadar aspal residual – Pelelehan (*flow*)



Kadar aspal residual - VIM



Kadar aspal residual - MQ



Kadar aspal residual - VMA

Gambar 3.1 Karakteristik campuran (stabilisasi) contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal *cutback*

Tabel 3.4 Kadar aspal optimum dan karakteristik stabilisasi contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal cutback

Tipe dan <i>grade</i> aspal cutback	MC-250	MC-800
Kadar aspal optimum, %	6,65	6,50
Stabilitas, kg	1193	1282
Pelelehan (<i>flow</i>), mm	2,4	2,1
<i>Marshall Quatient</i> (MQ), kg/mm	511	600
Kepadatan, g/cm ³	2,250	2,225
VIM, %	4,1	4,5
VMA, %	19,8	20,7

▪ Modulus Elastisitas

Modulus elastisitas diperoleh melalui pengujian *fatigue*, sesuai AASHTO T 321-03. Pengujian dilakukan untuk campuran pada kadar aspal residual optimum. Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 3.5. Terlihat bahwa modulus elastisitas meningkat sesuai meningkatnya stabilitas Marshall.

Tabel 3.5 Stabilitas Marshall dan modulus elastisitas

No. Contoh	Kadar Aspal, %	Stabilitas Marshall, kg		Modulus Elastisitas (<i>Initial</i>), MPa	
		MC-250	MC-800	MC-250	MC-800
I	6,65	1193	-	134	-
II	6,50	-	1282	-	165

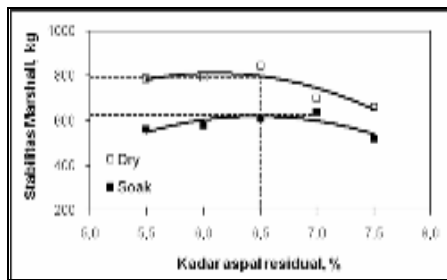
3.2.4 Campuran Tanah dengan Aspal Emulsi

▪ Karakteristik Campuran

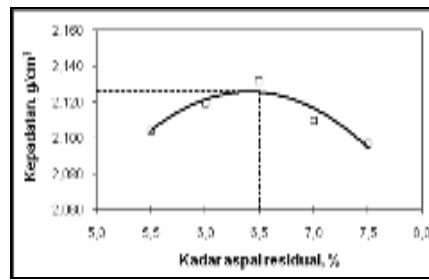
Hasil pengujian di laboratorium stabilisasi tanah dengan aspal emulsi ditunjukkan Gambar 3.2. Dari kurva hubungan antara kadar aspal residual dan stabilitas, ditentukan persentase kadar aspal residual optimum, yaitu kadar aspal residual yang menghasilkan nilai stabilitas maksimum, selanjutnya ditentukan karakteristik campuran pada persentase kadar aspal residual optimum tersebut dengan mengacu pada masing-masing kurva. Kadar aspal residual optimum dan karakteristik campuran pada kadar aspal residual optimum ditunjukkan pada Tabel 3.5.

Dari kurva hubungan antara kadar aspal residual dan karakteristik campuran terlihat bahwa:

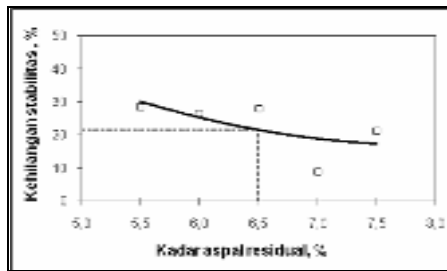
- a) Stabilitas rendaman (*soaked stability*) cenderung meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual sampai mencapai nilai stabilitas maksimum pada persentase kadar aspal tertentu, selanjutnya menurun kembali sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual. Sedangkan stabilitas kering (*dry stability*) memperlihatkan terus menurun sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.
- b) Persentase kehilangan stabilitas cenderung menurun sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.
- c) Kepadatan cenderung meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual sampai mencapai persentase kadar aspal residual tertentu, selanjutnya peningkatan persentase kadar aspal residual cenderung menurunkan kepadatan. Kepadatan maksimum tercapai pada persentase kadar aspal residual yang sedikit lebih tinggi dari persentase kadar aspal residual yang menghasilkan stabilitas maksimum.
- d) Persentase penyerapan air benda uji yang direndam terus menurun sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.
- e) Persentase rongga (*total voids*) cenderung menurun sesuai meningkatnya persentase kadar aspal residual.



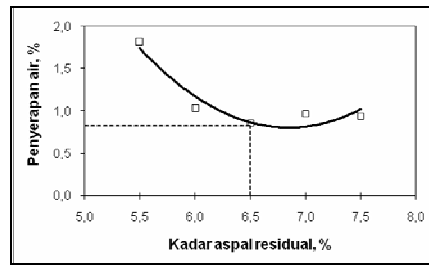
Kadar aspal residual - Stabilitas



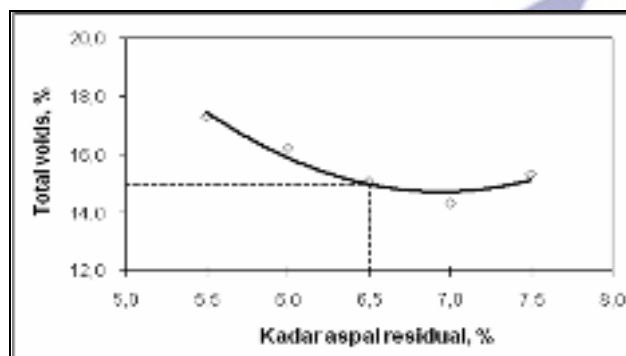
Kadar aspal residual - Kepadatan



Kadar aspal residual - Kehilangan stabilitas



Kadar aspal residual - Penyerapan air



Kadar aspal residual - Total voids

Gambar 3.2 Karakteristik campuran (stabilisasi) contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal emulsi

Tabel 3.8 Kadar aspal optimum dan karakteristik campuran contoh tanah pasir kerikilan dengan aspal emulsi

Kadar aspal optimum, %	6,5
Stabilitas, kg	792
Kepadatan, g/cm ³	2,126
<i>Total voids</i> , %	15,0
Penyerapan air, %	0,8
Kehilangan stabilitas, %	22



4

KAJIAN LABORATORIUM STABILITASI TANAH BERBASIS BAHAN KIMIA

4.1 Uraian Umum Jenis dan Prosedur Pengujian

Pengujian laboratorium stabilisasi tanah berbasis bahan kimia mencakup sifat plastisitas tanah, dan karakteristik kekuatan atau daya dukung contoh tanah (CBR dan UCS) sebelum dan setelah digunakan bahan kimia.

- **Pengujian sifat plastisitas stabilisasi berbasis bahan kimia**

Contoh tanah lolos saringan 0,425 mm (No. 40) dicampur dengan air dan bahan kimia dengan komposisi tertentu sesuai ditentukan untuk menghasilkan kadar air total sama dengan kadar air optimum. Contoh campuran dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditutup dan dirawat (*cured*) selama 7 hari di dalam ruang lembab. Setelah melalui proses perawatan, dilakukan pengujian batas cair dan batas plastis, selanjutnya ditentukan indeks plastisitas tanah, yaitu selisih antara batas cair dan batas plastis.

▪ **Pengujian CBR stabilisasi berbasis bahan kimia**

Contoh tanah yang digunakan untuk pengujian CBR adalah contoh tanah lolos saringan 4,75 mm (No. 4). Bahan kimia dicampur terlebih dahulu dengan air sesuai kebutuhan (sampai mencapai kadar air optimum), selanjutnya ditambahkan ke dalam contoh tanah dan dicampur secara menyeluruh atau merata. Sebelum dilakukan pemadatan, masing-masing contoh yang telah dicampur dimasukkan ke dalam kantong plastik, ditutup dan dibiarkan selama sekitar 1 jam untuk menjamin penyebaran kadar air dan bahan kimia secara merata. Campuran yang telah merata dipadatkan di dalam cetakan berukuran diameter 152 mm (6") menggunakan alat penumbuk (*rammer*) massa 2,5 kg yang dijatuhkan secara bebas dari ketinggian 305 mm (12"). Pemadatan dilakukan dalam 3 lapis dengan jumlah tumbukan per lapis sebanyak 56 kali yang tersebar merata pada seluruh permukaan contoh uji.

Sebelum dilakukan pengujian penetrasi, benda uji dirawat (*cured*) selama 3 hari, 10 hari dan 24 hari di dalam ruang lembab kemudian direndam di dalam air selama 4 hari. Nilai CBR yang diperoleh dinyatakan sebagai CBR rendaman (*Soaked CBR*).

▪ **Pengujian UCS stabilisasi berbasis bahan kimia**

Untuk pengujian UCS, digunakan cetakan berukuran diameter 71 mm dan tinggi 142 mm. Contoh tanah lolos saringan 4,75 mm dicampur dengan air dan bahan kimia dengan jumlah yang sesuai untuk menghasilkan kadar air total sama dengan kadar air optimum. Contoh uji dibiarkan selama sekitar 1 jam di dalam kantong plastik tertutup, selanjutnya dipadatkan di dalam cetakan sedemikian sehingga mencapai kepadatan sesuai kepadatan maksimum yang ditentukan. Untuk mencapai kepadatan sesuai yang ditentukan, dihitung massa contoh uji yang diperlukan berdasarkan kepadatan yang ingin dicapai dan volume cetakan. Massa contoh uji tersebut harus semuanya digunakan dan dipadatkan.

Sebelum dilakukan pengujian UCS, benda uji dirawat (*cured*) di dalam ruang lembab selama 7 hari, 14 hari dan 28 hari (tanpa direndam dalam air).

4.2 Hasil Pengujian

4.2.1 Sifat Fisik dan Karakteristik Contoh Tanah

Untuk stabilisasi berbasis bahan kimia, digunakan 2 tipe tanah dari 2 lokasi yang berbeda di Provinsi Jawa Barat. Sifat fisik dan karakteristik tanah ditunjukkan pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1 Sifat fisik dan karakteristik tanah

No. Contoh	LL (%)	PI (%)	Lolos Saringan 0,075 mm (%)	G _s	Klasifikasi AASHTO	ρ_d (g/cm ³)	OMC (%)	CBR (%)	UCS (kg/cm ²)
I	35	16	26	2,78	A-2-6	1,776	15	17	1,06
II	70	34	97	2,63	A-7-5	1,274	39	4	2,21

4.2.2 Tipe Bahan Kimia

Tiga tipe produk bahan kimia yang digunakan adalah *Enzymatic Emulsion*, *Synthetic Polymer Emulsion* dan *Electrolyte Emulsion*. Tipe dan komposisi bahan kimia ditunjukkan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Tipe dan komposisi bahan kimia

Tipe Produk	Komposisi			Keterangan
	I	II	III	
<i>Enzymatic Emulsion</i>	1:1000	1:500		Perbandingan bahan kimia dengan air
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	0,13			Perbandingan bahan kimia dengan volume tanah (liter/m ³)
<i>Electrolyte Emulsion</i>	1:100	1:80	1:60	Perbandingan bahan kimia dengan massa tanah kering

4.2.3 Sifat Plastisitas dan Karakteristik Campuran

▪ Sifat Plastisitas

Pengujian sifat plastisitas ini dilakukan hanya untuk tanah lempung (A-7-5). Hasil pengujian ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Sifat plastisitas stabilisasi tanah berbasis bahan kimia

Sifat	Tanah Asli (<i>Untreated</i>)	Setelah Digunakan Bahan Stabilisasi (<i>Treated</i>)					
		<i>Enzymatic Emulsion</i>		<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	<i>Electrolyte Emulsion</i>		
		0,10 %	0,20 %	0,13 l/m ³	1,00 %	1,2 5%	1,6 7%
Batas cair, LL (%)	70	69	70	73	69	69	64
Batas plastis, PL (%)	36	36	36	34	31	34	30
Indeks plastisitas, PI (%)	34	33	34	39	38	35	34

▪ CBR

Hasil pengujian CBR ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia

Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah		CBR (<i>Untreated</i>), %	Nilai CBR untuk Beberapa Variasi <i>Curing Time</i> , %								
<i>Enzymatic Emulsion</i>			0,10 % Massa Air			0,20% Massa Air					
			7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr			
Pasir Lempungan (A-2-6)	17		17	16	13	18	18	17			
Lempung (A-7-5)	4		9	10	10	6	7	7			
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>			0,13 l/m ³								
			7 Hr	14 Hr	28 Hr						
Pasir Lempungan (A-2-6)	17		18	19	16						
Lempung (A-7-5)	4		11	11	12						
<i>Electrolyte Emulsion</i>			1,00% Massa Kering Tanah			1,25% Massa Kering Tanah			1,67% Massa Kering Tanah		
			7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr
Pasir Lempungan (A-2-6)	17		27	28	30	28	29	30	30	31	31
Lempung (A-7-5)	4		8	8	8	8	11	11	8	11	11

▪ **UCS**

Hasil pengujian UCS ditunjukkan pada Gambar 4.5.

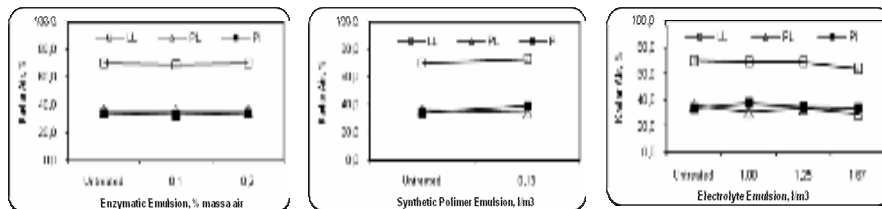
Tabel 4.5 Nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia

Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah	UCS (<i>Untreated</i>), kg/cm ²	Nilai UCS untuk Beberapa Variasi <i>Curing Time</i> , %								
		0,10 % Massa Air			0,20% Massa Air					
<i>Enzymatic Emulsion</i>		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr			
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	1,07	1,10	1,13	1,93	1,98	2,24			
Lempung (A-7-5)	2,21	7,65	9,97	7,69	7,08	7,20	9,29			
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>		0,13 l/m ³								
		7 Hr	14 Hr	28 Hr						
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	1,08	1,12	1,25						
Lempung (A-7-5)	2,21	9,45	12,75	10,90						
<i>Electrolyte Emulsion</i>		1,00% Massa Kering Tanah			1,25% Massa Kering Tanah			1,67% Massa Kering Tanah		
		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	2,66	2,77	2,82	2,97	3,02	3,18	3,27	3,39	3,63
Lempung (A-7-5)	2,21	6,06	11,35	12,27	10,86	18,60	18,84	15,91	18,63	21,22

4.3 Pembahasan

▪ **Pengaruh Tipe dan Jumlah Bahan Kimia terhadap Sifat Plastisitas Tanah Lempung**

Penggunaan bahan kimia relatif tidak mampu menurunkan sifat plastisitas tanah. Hal tersebut terlihat dari nilai indeks plastisitas tanah relatif sama jika dibandingkan dengan indeks plastisitas tanah sebelum digunakan bahan kimia, dan bahkan ketika digunakan bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion* dan *Electrolyte Emulsion*, indeks plastisitas tanah cenderung meningkat jika dibandingkan dengan indeks plastisitas tanah sebelum digunakan *Synthetic Polymer Emulsion* atau *Electrolyte Emulsion*. Peningkatan indeks plastisitas tanah tersebut terutama disebabkan nilai batas plastis yang cenderung mengalami penurunan. Pengaruh penggunaan bahan kimia terhadap sifat plastisitas tanah ditunjukkan pada Gambar 4.1.



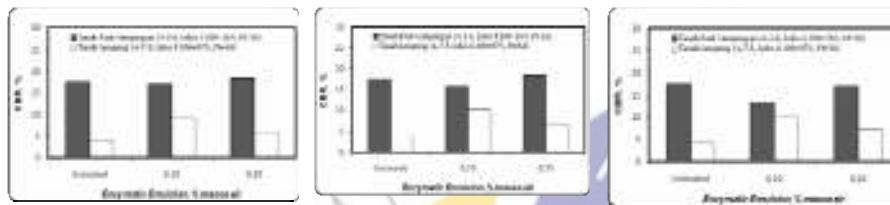
Gambar 4.1 Pengaruh tipe dan jumlah bahan kimia terhadap sifat plastisitas tanah lempung

▪ Pengaruh Tipe dan Jumlah Bahan Kimia terhadap CBR

Sesuai hasil pengujian CBR, lihat Tabel 4.4, pengaruh penggunaan bahan kimia terhadap nilai CBR sangat berfluktuasi, tergantung tipe tanah, tipe produk bahan kimia yang digunakan dan *curing time*. Untuk tipe tanah pasir lempungan (A-2-6), penggunaan bahan kimia relatif tidak mampu meningkatkan nilai CBR tanah, kecuali setelah digunakan produk bahan kimia *Electrolyte Emulsion*, nilai CBR cenderung mengalami peningkatan jika dibandingkan dengan nilai CBR tanah sebelum digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*. Peningkatan nilai CBR tersebut relatif semakin tinggi sesuai meningkatnya jumlah bahan kimia *Electrolyte Emulsion* yang digunakan. Sedangkan untuk material tanah lempung (A-7-5), penggunaan bahan kimia cenderung mampu meningkatkan nilai CBR sekitar 45% sampai 182% jika dibandingkan dengan nilai CBR tanah sebelum digunakan bahan kimia. Untuk tipe tanah lempung (A-7-5) ini, nilai CBR mengalami peningkatan yang semakin tinggi sesuai meningkatnya jumlah bahan kimia *Electrolyte Emulsion* yang digunakan. Sebaliknya, ketika penggunaan bahan kimia *Enzymatic Emulsion* ditingkatkan, peningkatan nilai CBR justru mengalami penurunan. Peningkatan nilai CBR kedua tipe material tanah ditunjukkan pada Tabel 4.6, dan sebagai ilustrasi, lihat Gambar 4.2 – Gambar 4.4.

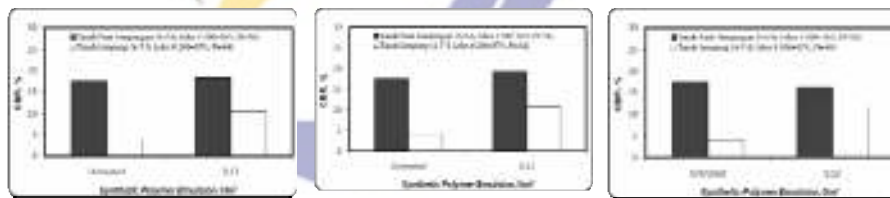
Tabel 4.6 Peningkatan nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia

Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah	CBR (Untreated), %	Peningkatan Nilai CBR untuk Beberapa Variasi <i>Curing Time</i> , %								
Enzymatic Emulsion		0,10 % Massa Air			0,20% Massa Air					
		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr			
Pasir Lempungan (A-2-6)	17	-3	-9	-25	6	6	-3			
Lempung (A-7-5)	4	118	145	145	45	58	73			
Synthetic Polymer Emulsion		0,13 l/m ³								
		7 Hr	14 Hr	28 Hr						
Pasir Lempungan (A-2-6)	17	6	10	-7						
Lempung (A-7-5)	4	155	155	182						
Electrolyte Emulsion		1,00% Massa Kering Tanah			1,25% Massa Kering Tanah			1,67% Massa Kering Tanah		
		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr
Pasir Lempungan (A-2-6)	17	55	63	71	63	66	69	75	77	76
Lempung (A-7-5)	4	91	91	100	100	155	164	100	164	173



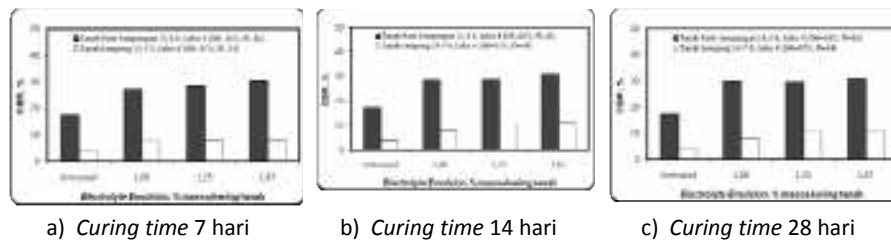
a) *Curing time* 7 hari b) *Curing time* 14 hari c) *Curing time* 28 hari

Gambar 4.2 Pengaruh bahan kimia *Enzymatic Emulsion* terhadap CBR



a) *Curing time* 7 hari b) *Curing time* 14 hari c) *Curing time* 28 hari

Gambar 4.3 Pengaruh bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion* terhadap CBR



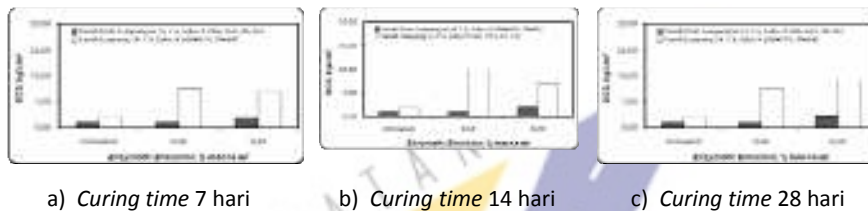
Gambar 4.4 Pengaruh bahan kimia *Electrolyte Emulsion* terhadap CBR

▪ Pengaruh Tipe dan Jumlah bahan Kimia terhadap UCS

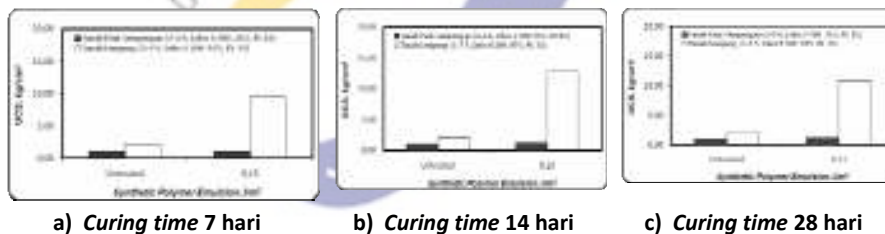
Hasil pengujian UCS, lihat Tabel 4.5, menunjukkan bahwa penggunaan bahan kimia mampu meningkatkan nilai UCS kedua tipe tanah. Untuk tipe tanah pasir lempungan, peningkatan nilai UCS paling signifikan terjadi setelah digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*, yaitu sekitar 150% - 242% jika dibandingkan dengan nilai UCS tanah sebelum digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*. Demikianpun untuk tanah lempung (A-7-5), peningkatan paling signifikan juga terjadi setelah digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*, yaitu sampai sekitar 175% - 860% jika dibandingkan dengan UCS tanah sebelum digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*. Peningkatan nilai UCS kedua tipe tanah cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya jumlah bahan kimia yang digunakan, khususnya ketika digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*. Peningkatan nilai UCS kedua tipe tanah ditunjukkan pada Tabel 4.7, dan sebagai ilustrasi, lihat Gambar 4.5 – Gambar 4.7.

Tabel 4.7 Peningkatan nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia

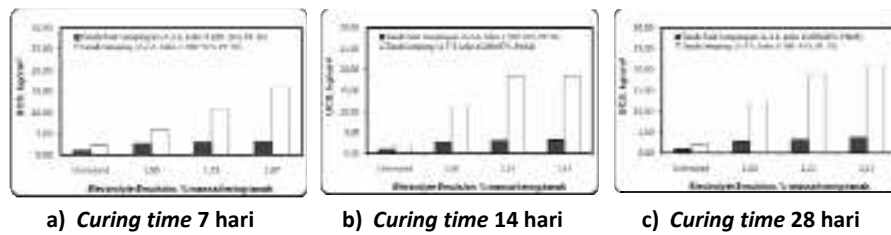
Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah	UCS (<i>Untreated</i>), kg/cm ²	Peningkatan Nilai UCS untuk Beberapa Variasi <i>Curing Time</i> , %								
		0,10 % Massa Air			0,20% Massa Air					
<i>Enzymatic Emulsion</i>		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr			
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	1	4	6	82	86	111			
Lempung (A-7-5)	2,21	246	351	248	220	225	320			
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>		0,13 l/m ³								
		7 Hr	14 Hr	28 Hr						
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	2	5	17						
Lempung (A-7-5)	2,21	327	477	393						
<i>Electrolyte Emulsion</i>		1,00% Massa Kering Tanah			1,25% Massa Kering Tanah			1,67% Massa Kering Tanah		
		7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr	7 Hr	14 Hr	28 Hr
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,06	150	161	166	180	184	199	208	210	242
Lempung (A-7-5)	2,21	174	413	455	391	741	752	619	742	860



Gambar 4.5 Pengaruh bahan kimia *Enzymatic Emulsion* terhadap UCS



Gambar 4.6 Pengaruh bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion* terhadap UCS



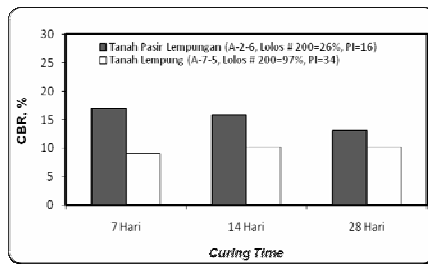
Gambar 4.7 Pengaruh bahan kimia *Electrolyte Emulsion* terhadap UCS

▪ Pengaruh *Curing Time* terhadap CBR

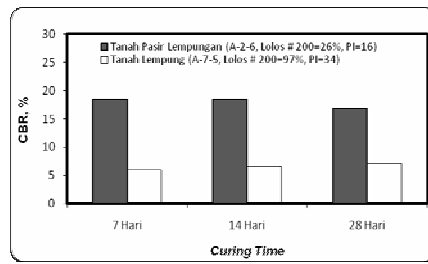
Peningkatan *curing time* relatif tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai CBR kedua tipe tanah, dalam arti bahwa nilai CBR untuk *curing time* 14 hari dan 28 hari relatif sama dengan nilai CBR untuk *curing time* 7 hari, dan bahkan untuk tipe bahan kimia tertentu, peningkatan *curing time* cenderung menurunkan nilai CBR-nya. Pengaruh peningkatan *curing time* terhadap peningkatan CBR stabilisasi tanah berbasis bahan kimia ditunjukkan pada Tabel 4.8, dan sebagai ilustrasi, lihat Gambar 4.8 – Gambar 4.10.

Tabel 4.8 Pengaruh peningkatan *curing time* terhadap peningkatan nilai CBR stabilisasi berbasis bahan kimia

Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah	CBR (<i>Curing Time</i> 7 Hr), %			Peningkatan Nilai CBR untuk <i>Curing Time</i> 14 dan 28 Hr, %						
<i>Enzymatic Emulsion</i>	0,10 %	0,20%	0,10 %		0,20%					
			14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr				
Pasir Lempungan (A-2-6)	17	18	-7	-23	0	-8				
Lempung (A-7-5)	9	6	13	13	8	19				
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	0,13 l/m ³	0,13 l/m ³								
		14 Hr	28 Hr							
Pasir Lempungan (A-2-6)	18			4	-12					
Lempung (A-7-5)	11			0	11					
<i>Electrolyte Emulsion</i>	1,00%	1,25%	1,67%	1,00%		1,25%		1,67%		
				14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr	
Pasir Lempungan (A-2-6)	27	28	30	5	10	2	4	1	1	
Lempung (A-7-5)	8	8	8	0	5	27	32	32	36	

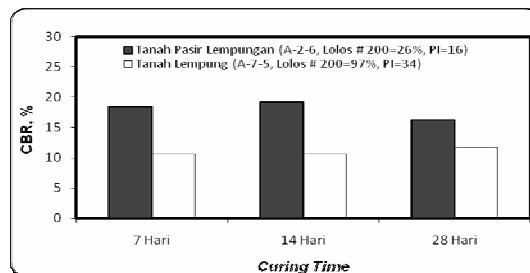


a) Bahan Kimia *Enzymatic Emulsion* = 0,10%

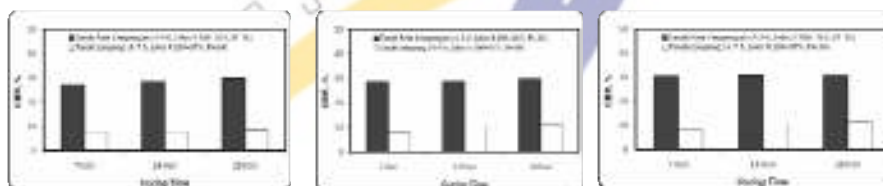


b) Bahan Kimia *Enzymatic Emulsion* = 0,20%

Gambar 4.8 Pengaruh *curing time* terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Enzymatic Emulsion*



Gambar 4.9 Pengaruh *curing time* terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion*



a) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,00%

b) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,25%

c) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,67%

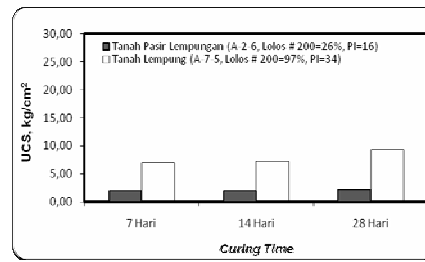
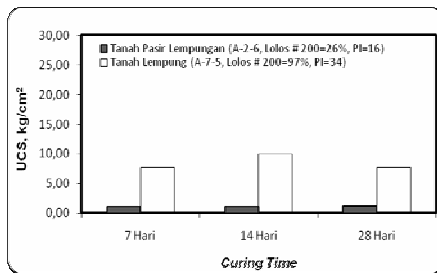
Gambar 4.10 Pengaruh *curing time* terhadap nilai CBR stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,00%

▪ **Pengaruh *Curing Time* terhadap UCS**

Untuk tipe tanah pasir lempungan, peningkatan *curing time* relatif tidak berpengaruh terhadap peningkatan nilai UCS, dalam arti bahwa nilai UCS setelah *curing time* 14 hari dan 28 hari relatif sama dengan nilai UCS setelah *curing time* 7 hari. Sedangkan untuk tipe tanah lempung, peningkatan *curing time* cenderung meningkatkan nilai UCS, akan tetapi peningkatan nilai UCS tersebut sangat berfluktuasi, tergantung tipe bahan kimia yang digunakan. Ketika tipe tanah lempung dicampur atau distabilisasi 1,00% bahan kimia *Electrolyte Emulsion*, dan dengan *curing time* 7 hari, nilai UCS meningkat sekitar 174% jika dibandingkan dengan nilai UCS tanah sebelum digunakan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*, dan ketika *curing time* ditingkatkan menjadi 14 hari, nilai UCS meningkat sekitar 413% dan terus meningkat sekitar 455% ketika *curing time* 28 hari. Pengaruh peningkatan *curing time* terhadap peningkatan UCS stabilisasi tanah berbasis bahan kimia ditunjukkan pada Tabel 4.9, dan sebagai ilustrasi, lihat Gambar 4.11 – Gambar 4.13.

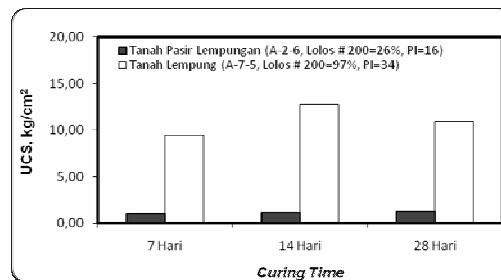
Tabel 4.9 Pengaruh peningkatan *curing time* terhadap peningkatan nilai UCS stabilisasi berbasis bahan kimia

Tipe Produk Bahan Kimia dan Tipe Tanah	UCS (<i>Curing Time</i> 7 Hr), kg/cm ²			Peningkatan Nilai UCS untuk <i>Curing Time</i> 14 dan 28 Hr, %					
<i>Enzymatic Emulsion</i>	0,10 %	0,20%	0,10 %		0,20%				
			14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr			
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,07	1,93	3	5	3	16			
Lempung (A-7-5)	7,65	7,08	30	1	2	31			
<i>Synthetic Polymer Emulsion</i>	0,13 l/m ³	0,13 l/m ³							
		14 Hr	28 Hr						
Pasir Lempungan (A-2-6)	1,08		4	16					
Lempung (A-7-5)	9,45		35	15					
<i>Electrolyte Emulsion</i>	1,00%	1,25%	1,67%	1,00%		1,25%		1,67%	
				14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr	14 Hr	28 Hr
Pasir Lempungan (A-2-6)	2,66	2,97	3,27	4	6	2	7	4	11
Lempung (A-7-5)	6,06	10,86	15,91	87	103	71	73	17	33

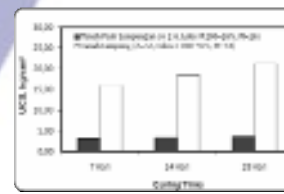
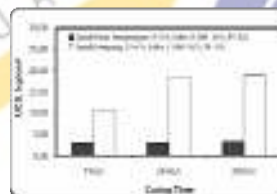
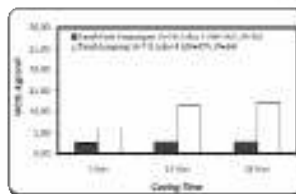


a) Bahan Kimia *Enzymatic Emulsion* = 0,10% b) Bahan Kimia *Enzymatic Emulsion* = 0,20%

Gambar 4.11 Pengaruh *curing time* terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Enzymatic Emulsion*



Gambar 4.12 Pengaruh *curing time* terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion*



a) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,00% b) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,25% c) Bahan kimia *Electrolyte Emulsion* = 1,67%

Gambar 4.13 Pengaruh *curing time* terhadap nilai UCS stabilisasi tanah dengan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*



5

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Stabilisasi berbasis aspal

- Stabilisasi tanah pasir kerikilan dengan aspal mampu menghasilkan nilai stabilitas yang cukup tinggi sehingga stabilisasi berbasis aspal ini tidak saja diterapkan untuk jalan bervolume lalu lintas rendah tetapi bisa juga diterapkan untuk jalan bervolume lalu lintas sedang – tinggi. Nilai stabilitas maksimum dicapai pada kadar aspal residual sekitar 6% - 7%.
- Nilai stabilitas tanah pasir kerikilan yang distabilisasi aspal *cutback* cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai stabilitas tanah pasir kerikilan yang distabilisasi aspal emulsi.
- Untuk stabilisasi tanah pasir kerikilan dengan aspal *cutback*, nilai stabilitas cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya *grade* aspal *cutback* yang digunakan.
- Modulus elastisitas meningkat sesuai meningkatnya stabilitas Marshall.

Stabilisasi berbasis bahan kimia

- Efektivitas penggunaan bahan kimia untuk stabilisasi tergantung tipe tanah yang distabilisasi. Umumnya lebih efektif untuk tanah lempung, mampu meningkatkan nilai CBR dan UCS secara cukup signifikan.
- Komposisi atau jumlah bahan kimia yang digunakan umumnya telah ditetapkan pabrik pembuatannya. Peningkatan jumlah bahan kimia relatif tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan nilai CBR dan UCS.
- Umumnya stabilisasi berbasis bahan kimia lebih efektif untuk *curing time* 7 hari. Peningkatan *curing time* relatif tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan nilai CBR dan UCS.
- Penggunaan bahan kimia relatif tidak mampu menurunkan sifat plastisitas tanah.

5.2 Saran

- Diperlukan penelitian atau kajian terkait kinerja lapangan stabilisasi tanah berbasis aspal dan bahan kimia.

DAFTAR PUSTAKA

1. Arora, P.L., Crowther, L. and Akhter, G. (1996), *Soil Stabilization for Low-volume Roads*, Sheladia Associates, Inc. and Federal Highway Administration.
2. Asphalt Institute, *Cold Mix Design*, Asphalt Institute Manual Series No. 14 (MS-14)
3. Austroads (1998), *Guide to Stabilization in Roadworks*, Sydney.
4. Cook, J.R. and Gourley, C.S. (2002), *A Framework for the Appropriate Use of Marginal Materials*, World Road Association (PIARC)-Technical Committee C12 Seminar in Mongolia.
5. Departement of The Army, The Navy, and The Air Force (1994), *Soil Stabilization for Pavements*, ARMY TM 5-822-14, AIR FORCE AFJMAN 32-1019, Washington.
6. Greening, P.A.K. and Rolt, J (1997), *The Use of Marginal Materials for Road Base in Kalahari Region of Southern Africa*, International

Symposium on Thin Pavements, Surface Treatment and Unbound Roads, University of New Brunswick, Canada.

7. Greening, P.A.K. and Paige, P.-Green (2003), *Evaluation of Sulphonated Petroleum Products as Soil Stabilizers and Compaction Aids*, TRL, DFID, Project Report PR/INT/267/03.
8. Hitch, L.S. and Russel, R.B.C. (1977), *Bituminous bases and surfacing for low-cost roads in the tropics*, Transport and Road Research Laboratory, TRRL Supplementary Report 284.
9. Indoria, R.P. (2009), *Use of Locally Available Materials in Road Construction*, Indian Highways.
10. Kestler, M.A. (2009), *Stabilization Selection Guide for Aggregate- and Native-Surfaced Low-Volume Roads*, National Technology and Development Program of the Forest Services, U.S. Department of Transportation Federal Highway Administration (FHWA).
11. Paige, K.-Green, Coetser K. (1996), *Towards Successful SPP Treatment of Local Materials for Road Building*, Research Report RR 93/286, Departement of Transport, CSIR, Pretoria.