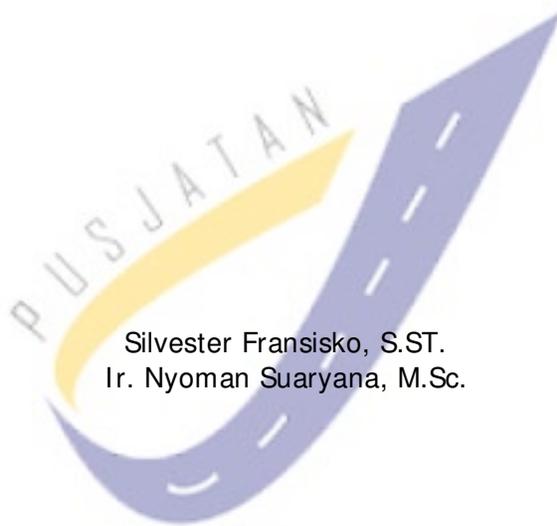




METODE PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN DENGAN STABILISASI UNTUK JALAN BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH



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



INFORMATIKA
Bandung

METODE PERANCANGAN TEBAL PERKERASAN DENGAN STABILISASI UNTUK JALAN BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH

Desember 2012

Cetakan Ke-1, tahun 2012, (xiv + 80 Halaman)

@Pemegang Hak Cipta Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan

No. ISBN : 978-602-1514-13-9
Kode Kegiatan : 01-PPK3-001107-A12
Kode Publikasi : IRE-TR-74/2012

Kata Kunci : Perkerasan Jalan, Lalu Lintas Rendah, Stabilisasi

Penulis:

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

Diterbitkan oleh:

Penerbit Informatika - Bandung
Anggota IKAPI Jabar Nomor : 033/JBA/99

Pemesanan melalui:

Perpustakaan Puslitbang Jalan dan Jembatan
info@pusjatan.pu.go.id

Kata Pengantar

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

Beberapa metode dapat diterapkan terkait pemanfaatan material lokal sub standar untuk perkerasan jalan, antara lain dengan melakukan stabilisasi. Dengan stabilisasi atau perbaikan dan/atau penerapan desain dan spesifikasi yang sesuai, banyak material lokal sub standar masih bisa digunakan dan menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, terutama untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

Pada TA. 2012, penelitian teknologi stabilisasi tanah mencakup perumusan metode perancangan tebal perkerasan jalan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah. Penelitian ini dilakukan dalam rangka menunjang pembangunan jalan-jalan bervolume lalu lintas rendah.

Bandung, Desember 2012



DAFTAR ISI

| | |
|---|-----------|
| Kata Pengantar | iii |
| Daftar Isi | v |
| Daftar Tabel | vii |
| Daftar Gambar | viii |
| Glosari | xi |
| Abstrak | xiv |
| | |
| 1 PENDAHULUAN | 1 |
| 1.1 Latar Belakang | 1 |
| 1.2 Perumusan Masalah | 2 |
| 1.3 Tujuan dan Sasaran | 3 |
| 1.4 Metodologi | 2 |
| 1.5 Sistematika Bab | 4 |
| | |
| 2 KAJIAN LITERATUR | 6 |
| 2.1 Gambaran Umum | 6 |
| 2.2 Stabilisasi | 7 |
| 2.2.1 Tipe Stabilisasi | 7 |
| 2.2.2 Pemilihan Tipe Bahan Stabilisasi | 8 |
| 2.2.3 Kriteria Kekutan Minimum | 22 |
| 2.2.4 Desain Campuran | 23 |
| 2.3 Kajian Hasil Penelitian Stabilisasi Terdahulu | 23 |
| 2.4 Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi | 37 |
| 2.4.1 Tipikal Perkerasan | 37 |
| 2.4.2 Desain Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi | 38 |
| | |
| 3 PENELITIAN LABORATORIUM | 42 |
| 3.1 Umum | 42 |
| 3.2 Material | 44 |
| 3.3 Bahan Stabilisasi | 46 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 3.4 | Karakteristik Kekuatan Material Setelah Distabilisasi | 48 |
| 3.4.1 | Stabilisasi Semen | 48 |
| 3.4.2 | Stabilisasi Kapur | 50 |
| 3.4.3 | Stabilisasi Fly Ash..... | 52 |
| 3.4.4 | Stabilisasi Aspal | 52 |
| 4 | PENGEMBANGAN KOEFISIEN KEKUATAN RELATIF | 54 |
| 5 | PROSEDUR DESAIN PERKERASAN LENTUR DENGAN STABILISASI UNTUK JALAN BERVOLM E LALU LINTAS RENDAH | 56 |
| 5.1 | Umum | 56 |
| 5.2 | Lalu Lintas | 56 |
| 5.3 | Tingkat Kepercayaan | 63 |
| 5.4 | Indeks Pelayanan..... | 64 |
| 5.5 | Karakteristik Kekuatan Tanah Dasar..... | 65 |
| 5.6 | Nilai Struktural | 66 |
| 5.7 | Koefisien Kekuatan Relatif | 67 |
| 5.8 | Ketebalan..... | 69 |
| 6 | PENUTUP..... | 74 |
| 6.1 | Kesimpulan..... | 74 |
| 6.2 | Saran..... | 76 |
| | Daftar Pustaka | 77 |

DAFTAR TABEL

| | Hal | |
|------------|--|----|
| Tabel 2.1 | Pemilihan tipe bahan stabilisasi (Sumber: Austroad, 1998) | 10 |
| Tabel 2.2 | Pemilihan tipe bahan stabilisasi (Sumber: The Army, The Navy, and The Air Force, 1994) | 11 |
| Tabel 2.3 | Pemilihan tipe bahan kimia non tradisional | 12 |
| Tabel 2.4 | Koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan jalan yang distabilisasi berdasarkan korelasinya dengan CBR dan UCS | 41 |
| Tabel 3.1 | Sifat dan karakteristik material | 45 |
| Tabel 3.2 | Komposisi kimia kapur dan fly ash | 47 |
| Tabel 3.3 | Sifat-sifat aspal emulsi | 48 |
| Tabel 5.1 | Faktor ekivalen beban untuk sumbu tunggal dan $I_{Pt} = 2,0$ | 58 |
| Tabel 5.2 | Faktor ekivalen beban untuk sumbu ganda dan $I_{Pt} = 2,0$ | 59 |
| Tabel 5.3 | Faktor ekivalen beban untuk sumbu triple dan $I_{Pt} = 2,0$ | 60 |
| Tabel 5.4 | Nilai pendekatan untuk koefisien distribusi kendaraan per lajur rencana, DL | 62 |
| Tabel 5.5 | Nilai pendekatan untuk koefisien distribusi kendaraan per lajur rencana, DL | 63 |
| Tabel 5.6 | Tingkat kepercayaan berbagai variasi klasifikasi fungsional jalan | 63 |
| Tabel 5.7 | Deviasi normal untuk berbagai variasi tingkat reliabilitas | 64 |
| Tabel 5.8 | Tipikal data CBR | 66 |
| Tabel 5.9 | Koefisien kekuatan relatif lapis permukaan beraspal, lapis fondasi dan fondasi bawah yang distabilisasi dan lapis timbunan pilihan untuk perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah | 68 |
| Tabel 5.10 | Ketebalan minimum lapis perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah | 69 |

DAFTAR GAMBAR

| | Hal | |
|-------------|---|----|
| Gambar 2.1 | Tipikal potongan melintang perkerasan lentur konvensional | 6 |
| Gambar 2.2 | Segitiga gradasi untuk menentukan tipe bahan stabilisasi | 11 |
| Gambar 2.3 | Hasil pengujian UCS stabilisasi semen | 24 |
| Gambar 2.4 | Hasil pengujian CBR stabilisasi semen | 25 |
| Gambar 2.5 | Hasil pengujian UCS material reclaimed hydrated fly ash dan setelah distabilisasi 10% raw fly ash dan 2,5% hydrated lime | 26 |
| Gambar 2.6 | Pengaruh curing time terhadap UCS material reclaimed hydrated fly ash (UCS untreated) | 26 |
| Gambar 2.7 | Pengaruh curing time terhadap UCS campuran material reclaimed hydrated fly ash dan 10% raw fly ash | 27 |
| Gambar 2.8 | Pengaruh curing time terhadap UCS campuran material reclaimed hydrated fly ash dan 2,5% hydrated lime | 27 |
| Gambar 2.9 | Hasil pengujian CBR material tanah berbutir halus yang distabilisasi fly ash. Campuran dipadatkan pada kadar air optimum, curing time 7 hari | 28 |
| Gambar 2.10 | Hasil pengujian CBR material tanah berbutir halus yang distabilisasi fly ash. Campuran dipadatkan pada kadar air 7% di atas kadar air optimum, curing time 7 hari | 29 |
| Gambar 2.11 | Hasil pengujian UCS stabilisasi material tanah lempung dengan PI = 41 yang distabilisasi 3% semen dan 3% kapur | 30 |
| Gambar 2.12 | Hasil pengujian UCS stabilisasi material tanah lempung dengan PI = 25 yang distabilisasi 5% semen dan 5% kapur | 30 |
| Gambar 2.13 | Pengaruh aspal emulsi terhadap stabilitas Marshall | 31 |
| Gambar 2.14 | Pengaruh stabilisasi dengan aspal emulsi terhadap stabilitas Marshall | 32 |

| | | |
|-------------|--|----|
| Gambar 2.15 | Pengaruh stabilisasi dengan aspal cair terhadap stabilitas Marshall material pasir kerikilan (A-1-a, NP, lolos # No.200_6%) | 32 |
| Gambar 2.16 | Pengaruh stabilisasi dengan aspal cair terhadap stabilitas Marshall material pasir kerikilan, (A-1-a, NP, lolos # No.200_7%) | 33 |
| Gambar 2.17 | Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia Enzymatic Emulsion | 34 |
| Gambar 2.18 | Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia Enzymatic Emulsion | 34 |
| Gambar 2.19 | Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia Synthetic Polymer Emulsion | 35 |
| Gambar 2.20 | Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia Synthetic Polymer Emulsion | 35 |
| Gambar 2.21 | Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia Electrolyte Emulsion | 36 |
| Gambar 2.22 | Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia Electrolyte Emulsion | 36 |
| Gambar 2.23 | Tipikal desain perkerasan single-layer | 37 |
| Gambar 2.24 | Tipikal desain perkerasan multilayer | 38 |
| Gambar 2.25 | Penentuan koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan jalan (After Van Til et al., 1972) | 40 |
| Gambar 3.1 | Distribusi ukuran butir material tanah | 45 |
| Gambar 3.2 | Distribusi ukuran butir kapur dan fly ash | 47 |
| Gambar 3.3 | Hasil pengujian UCS stabilisasi semen, curing time 7 hari | 49 |
| Gambar 3.4 | Hasil pengujian CBR stabilisasi semen, curing time 3 hari dan perendaman 4 hari | 50 |
| Gambar 3.5 | Hasil pengujian UCS stabilisasi kapur, curing time 28 hari | 51 |
| Gambar 3.6 | Hasil pengujian CBR stabilisasi kapur, curing time 24 hari dan perendaman 4 hari | 51 |
| Gambar 3.7 | Hasil pengujian UCS stabilisasi material dari Patrol_Cimahi dengan fly ash dan semen + fly ash, curing time 28 hari | 52 |

| | | |
|------------|---|----|
| Gambar 3.8 | Hasil pengujian stabilitas stabilisasi material tanah dengan aspal emulsi | 53 |
| Gambar 5.1 | Tipikal penentuan CBR desain | 66 |
| Gambar 5.2 | Nomogram penentuan nilai struktural (structural number, SN) desain (Sumber: AASHTO '93) | 67 |
| Gambar 5.3 | Desain perkerasan | 69 |
| Gambar 5.4 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dan tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%. | 70 |
| Gambar 5.5 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA). Ketebalan lapis fondasi bawah yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash 15 cm. CBR tanah dasar 6%. | 71 |
| Gambar 5.6 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan yang menggunakan lapis HMA dengan ketebalan 4 cm. Tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%. | 71 |
| Gambar 5.7 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan yang menggunakan lapis HMA dengan ketebalan 1,6 in (4 cm) dan lapis fondasi bawah yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash dengan ketebalan 15 cm. CBR tanah dasar 6%. | 72 |
| Gambar 5.8 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi aspal untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dan tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%. | 72 |
| Gambar 5.9 | Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi aspal untuk perkerasan menggunakan lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dengan ketebalan 4 cm, tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%. | 73 |

Glosari

Beberapa istilah penting yang digunakan dalam naskah ilmiah metode perancangan tebal perkerasan dengan stabilisasi untuk jalan lalu lintas rendah ini, sebagai berikut:

Aspal cair – campuran antara aspal keras dan pelarut dari hasil penyulingan minyak bumi.

aspal cair jenis menguap lambat (*slow curing, SC*) – aspal cair yang terdiri dari campuran antara aspal keras dan pelarut yang mempunyai daya menguap lambat (minyak diesel atau solar).

aspal cair jenis menguap sedang (*medium curing, MC*) – aspal cair yang terdiri dari campuran antara aspal keras dan pelarut yang mempunyai daya menguap sedang (minyak tanah).

aspal emulsi – aspal yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras ke dalam air dengan bantuan bahan pengemulsi sehingga diperoleh aspal kationik, anionik atau non-ionik.

aspal emulsi anionik – aspal emulsi yang bermuatan listrik negatif.

aspal emulsi anionik mantap lambat (slow setting, SS) – *aspal emulsi anionik yang pemisahan air dari aspalnya terjadi secara lambat setelah aspal tersebut kontak dengan agregat.*

aspal emulsi anionik mantap sedang (*medium setting, MS*) – aspal emulsi anionik yang pemisahan air dari aspalnya terjadi secara sedang setelah aspal tersebut kontak dengan agregat.

aspal emulsi kationik – aspal emulsi yang bermuatan listrik positif.

aspal emulsi kationik mantap lambat (*cationic slow setting, CSS*) – aspal emulsi kationik yang pemisahan air dari aspalnya terjadi secara lambat setelah aspal tersebut kontak dengan agregat.

aspal emulsi kationik mantap sedang (*cationic medium setting, CMS*) - aspal emulsi kationik yang pemisahan air dari aspalnya terjadi secara sedang setelah aspal tersebut kontak dengan agregat.

Bahan kimia non tradisional – bahan dengan komposisi kimia tertentu, diproduksi khusus untuk digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah. FHWA mengklasifikasikan bahan kimia non tradisional ini menjadi 7 kategori, yaitu *chlorides, clay additives, electrolyte emulsions, enzymatic emulsions, lignosulfonates, synthetic polymer emulsions, dan tree resin emulsion*.

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

CBR (*California Bearing Ratio*) – perbandingan antara kekuatan material yang diuji dengan kekuatan material standar yang mempunyai nilai CBR 100%.

CBR_{untreated} – CBR material tanah sebelum digunakan bahan stabilisasi.

Jalan bervolume lalu lintas rendah – jalan dengan jumlah lalu lintas harian rata-rata lebih kecil atau sama dengan 500 kendaraan, atau jalan dengan jumlah lalu rencana lebih kecil atau sama dengan 1.000.000 satuan standar sumbu tunggal (SST) selama umur rencana (AASHTO).

Material lokal sub standar – tanah atau agregat yang tersedia di sekitar lokasi pekerjaan, yang tidak memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga yang berlaku.

Material perkerasan jalan – tanah atau agregat yang digunakan sebagai material perkerasan jalan.

Stabilisasi – suatu tindakan untuk perbaikan mutu material perkerasan jalan atau untuk meningkatkan kekuatan material agar dapat digunakan dan/ atau memberikan kinerja yang lebih baik dari pada bahan aslinya.

Stabilisasi semen – stabilisasi material perkerasan jalan dengan semen.

Stabilisasi kapur – stabilisasi material perkerasan jalan dengan kapur.

Stabilisasi *fly ash* – stabilisasi material perkerasan jalan dengan *fly ash*.

Stabilisasi aspal – stabilisasi material perkerasan jalan dengan aspal.

Stabilisasi dengan bahan kimia non tradisional – stabilisasi material perkerasan jalan dengan bahan kimia non tradisional.

Stabilitas – beban maksimum yang dapat diterima suatu campuran beraspal sampai saat terjadi keruntuhan yang dinyatakan dalam satuan kilogram.

UCS (*Unconfined Compressive Strength*) – kuat tekan bebas, yaitu perbandingan antara beban maksimum dan luas penampang benda uji, dinyatakan dengan kg/cm^2 .

UCS_{untreated} – UCS material tanah sebelum digunakan bahan stabilisasi.



Abstrak

Kebutuhan material berkualitas tinggi untuk perkerasan jalan dari tahun ke tahun terus meningkat, sementara ketersediaan material tersebut semakin berkurang, bahkan untuk daerah-daerah tertentu ketersediaan material berkualitas tinggi sudah sangat terbatas atau mungkin tidak ada lagi, sehingga untuk pembangunan maupun pemeliharaan jalan, harus mendatangkan material berkualitas tinggi dari daerah lain. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi. Untuk kasus ini, pemanfaatan material lokal sub standar sangat diperlukan. Teknologi stabilisasi merupakan salah satu metode yang dapat diterapkan agar material lokal sub standar dapat dimanfaatkan sebagai material perkerasan jalan. Beberapa tipe bahan stabilisasi dapat digunakan, antara lain semen, kapur, *fly ash*, aspal (bitumen), bahan kimia non tradisional dan kombinasi dua atau lebih bahan stabilisasi tersebut. Untuk mengaplikasikan teknologi stabilisasi ini ke dalam suatu sistem perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah, diperlukan suatu metode perancangan, terutama mencakup penentuan nilai koefisien kekuatan relatif yang sesuai. Dalam naskah ilmiah ini, koefisien kekuatan relatif ditentukan berdasarkan korelasinya dengan karakteristik kekuatan yang harus dicapai. Untuk itu, maka dilakukan kajian terhadap karakteristik kekuatan material setelah distabilisasi yang bisa dicapai di laboratorium, baik data sekunder maupun data primer, dalam hal ini adalah UCS dan/ atau CBR untuk stabilisasi semen, kapur, *fly ash*, kombinasi semen dan/ atau kapur dan *fly ash*, bahan kimia non tradisional dan kombinasi semen dan bahan kimia non tradisional, dan stabilitas untuk stabilisasi dengan aspal. Hasil kajian menunjukkan bahwa stabilisasi umumnya mampu meningkatkan kekuatan material. Tergantung tipe material dan bahan stabilisasi yang digunakan, stabilisasi ini dapat diterapkan untuk lapis fondasi perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah.

1

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Untuk menghasilkan suatu struktur perkerasan jalan yang berkualitas tinggi diperlukan material berkualitas tinggi. Kualitas material yang digunakan umumnya ditetapkan dalam bentuk standar atau spesifikasi. Untuk daerah tertentu, saat ini kemungkinan masih tersedia material yang berkualitas tinggi, akan tetapi untuk daerah-daerah lainnya, seperti di Kalimantan dan Papua, ketersediaan material tersebut sangat terbatas dan bahkan mungkin tidak ada, sehingga harus mendatangkan material dari daerah lain. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi. Oleh karena itu, diperlukan upaya pemanfaatan material lokal yang belum memenuhi persyaratan sebagaimana ditetapkan dalam spesifikasi atau sering disebut material lokal sub standar. Hal tersebut dimaksudkan agar pola pembangunan maupun pemeliharaan jalan bisa lebih efektif dan efisien.

Beberapa metode dapat diterapkan untuk pemanfaatan material lokal sub standar untuk perkerasan jalan, antara lain dengan melakukan stabilisasi. Dengan perbaikan atau stabilisasi dan desain struktural yang sesuai, banyak material lokal sub standar (misalkan ketidaksesuaian gradasi, sifat plastisitas, kekuatan, dan sebagainya), masih bisa digunakan dan

menunjukkan kinerja yang cukup memadai sebagai material perkerasan jalan, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

Tipe bahan stabilisasi yang sudah dikenal umum adalah 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 *fly ash*, aspal (bitumen) dan bahan kimia non tradisional.

Melihat pentingnya pemanfaatan material lokal sub standar untuk mendukung efisiensi pembangunan dan pemeliharaan jalan maka dirasa perlu untuk melakukan penelitian yang mendalam mengenai stabilisasi ini. Pada TA. 2011, telah dilakukan penelitian/kajian laboratorium mengenai stabilisasi, khususnya stabilisasi aspal dan bahan kimia non tradisional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk material berbutir (non kohesif), stabilisasi aspal mampu menghasilkan nilai stabilitas yang cukup tinggi. Sedangkan untuk stabilisasi dengan bahan kimia non tradisional, hasilnya masih berfluktuasi, tergantung tipe tanah dan tipe bahan kimia non tradisional yang digunakan.

Untuk mengaplikasikan stabilisasi ini ke dalam sistem perkerasan, diperlukan metoda perancangan tebal perkerasan yang sesuai, terutama persyaratan kekuatan minimum yang harus dicapai dan besarnya parameter koefisien kekuatan relatif (*layer coefficient*) yang digunakan. Untuk itu, pada TA. 2012 ini dilakukan penelitian dalam rangka penyusunan metode perancangan tebal perkerasan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah. Penelitian ini dilakukan untuk menunjang pembangunan jalan-jalan bervolume lalu lintas rendah, dan merupakan salah satu pemenuhan peta jalan “Penelitian Jalan Berbiaya dan Bervolume Lalu Lintas Rendah” di Puslitbang Jalan dan Jembatan.

1.2 Perumusan Masalah

Pada daerah-daerah tertentu di Indonesia, seperti di Kalimantan dan Papua, ketersediaan material berkualitas sesuai persyaratan spesifikasi Bina Marga yang berlaku saat ini sangat terbatas dan bahkan mungkin tidak ada,

sehingga untuk pembangunan maupun pemeliharaan jalan, harus mendatangkan material berkualitas dari daerah lain. Hal ini berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi.

Teknologi stabilisasi merupakan salah satu solusi untuk mengatasi kendala keterbatasan material berkualitas sesuai persyaratan spesifikasi. Dengan stabilisasi dan desain struktural yang sesuai, banyak material lokal sub standar masih bisa digunakan dan menunjukkan kinerja yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.

1.3 Tujuan dan Sasaran

Penelitian ini bertujuan untuk merumuskan metode perancangan tebal perkerasan jalan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah, dan sasarannya adalah tersedia metode perancangan tebal perkerasan jalan dengan stabilisasi untuk pemanfaatan material lokal sub standar sebagai material perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah.

1.4 Metodologi

Penelitian ini mendasarkan metodologinya pada analisis kekuatan struktural lapis perkerasan jalan dengan stabilisasi. Beberapa kegiatan telah dilakukan untuk mencapai sasaran sebagaimana telah ditetapkan. Pertama adalah melakukan kajian terhadap metode perancangan tebal perkerasan lentur yang telah tersedia, khususnya yang menggunakan lapis material yang distabilisasi. Selanjutnya dilakukan kajian terhadap hasil-hasil penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemanfaatan material lokal sub standar, dan teknologi stabilisasi sebagai salah satu metode pemanfaatan material lokal sub standar tersebut sebagai material perkerasan jalan.

Untuk melengkapi data hasil penelitian terdahulu, dilakukan kajian laboratorium pengaruh stabilisasi ini terhadap karakteristik kekuatan material. Pada tahap ini, diambil contoh material dari beberapa lokasi di Provinsi Jawa Barat dan dilakukan pengujian laboratorium untuk menentukan sifat dan karakteristiknya. Tergantung gradasi (persentase

lolos ayakan 0,075 mm) dan sifat plastisitas (PI) material, ditentukan tipe bahan stabilisasi yang sesuai. Dalam penelitian ini, tipe bahan stabilisasi yang digunakan adalah semen, kapur, *fly ash* dan aspal emulsi.

Setelah ditentukan tipe bahan stabilisasi yang sesuai, selanjutnya dilakukan pengujian laboratorium untuk menentukan sifat atau karakteristik material setelah dicampur dengan bahan stabilisasi. Jenis pengujian laboratorium yang dilakukan tergantung kriteria utama yang diperlukan, dalam hal ini adalah UCS dan/atau CBR untuk stabilisasi dengan semen, kapur dan *fly ash*, dan stabilitas untuk stabilisasi dengan aspal emulsi. Untuk stabilisasi dengan semen, pengujian UCS dilakukan setelah melalui proses perawatan benda uji di dalam ruangan dengan temperatur sekitar 25⁰C – 28⁰C (*curing time*) selama 7 hari dan pengujian penetrasi CBR dilakukan setelah *curing time* selama 3 hari dan direndam di dalam air (*soaked*) selama 4 hari, sedangkan untuk stabilisasi dengan kapur dan *fly ash*, pengujian UCS dilakukan setelah *curing time* selama 28 hari dan pengujian penetrasi CBR dilakukan setelah *curing time* selama 24 hari dan direndam di dalam air selama 4 hari. Untuk stabilisasi dengan aspal emulsi, pengujian stabilitas dilakukan langsung setelah penentuan berat jenis dan kepadatan, tanpa melalui proses perendaman (*immersion*). Pengujian dilakukan pada temperatur 25⁰C.

Hasil pengujian laboratorium selanjutnya dianalisis untuk menentukan pengaruh variasi persentase kadar bahan stabilisasi terhadap karakteristik kekuatan material. Karakteristik kekuatan yang bisa dicapai merupakan salah satu faktor yang dipertimbangkan dalam menetapkan persyaratan kekuatan minimum untuk stabilisasi ini, dan ditetapkan koefisien kekuatan relatif berdasarkan korelasinya dengan kekuatan minimum tersebut. Selanjutnya disusun metode perancangan tebal perkerasan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah dengan mengacu pada metode AASHTO.

1.5 Sistematika Bab

Naskah ilmiah ini terdiri dari 6 bab. Bab 1 – Pendahuluan, mencakup uraian mengenai latar belakang penelitian dan informasi terkait pentingnya

pemanfaatan material lokal sub standar untuk perkerasan jalan, tujuan dan sarana yang ingin dicapai dan langkah-langkah yang dilakukan untuk mencapai sasaran yang ditetapkan.

Bab 2 – Kajian literatur, mencakup gambaran umum perkerasan lentur konvensional dan teknologi stabilisasi untuk pemanfaatan material lokal sub standar sebagai material perkerasan jalan, dan kajian terhadap hasil-hasil penelitian stabilisasi terdahulu. Tipikal dan metode perancangan tebal perkerasan lentur yang umum digunakan juga diuraikan dalam bab ini.

Bab 3 – Penelitian atau kajian laboratorium stabilisasi, mencakup stabilisasi semen, kapur, *fly ash* dan aspal emulsi. Pengaruh jenis dan variasi persentase bahan stabilisasi terhadap karakteristik kekuatan diuraikan dalam bab ini, demikian juga kekuatan yang bisa dicapai.

Bab 4 – Pengembangan koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan lentur dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah, mencakup prosedur penentuan koefisien kekuatan relatif untuk lapis perkerasan lentur yang distabilisasi dengan semen, kapur, *fly ash*, aspal, termasuk untuk stabilisasi dengan bahan kimia non tradisional.

Bab 5 - Prosedur perancangan tebal perkerasan lentur dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah. Prosedur yang diusulkan mengacu pada metode AASHTO'93 dengan beberapa modifikasi, antara lain mencakup variabel dan kriteria perancangan.

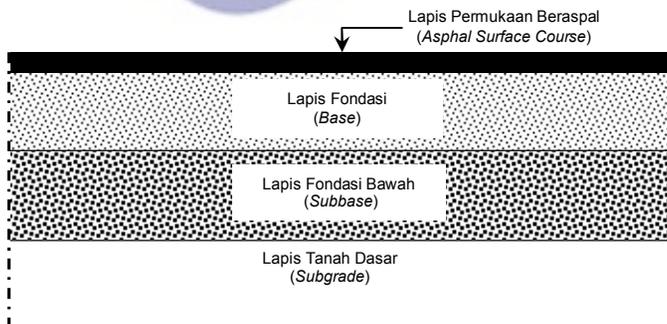
Bab 6 – Penutup, berisi kesimpulan hasil penelitian dan saran-saran.

2

KAJIAN LITERATUR

2.1 Gambaran Umum

Perkerasan lentur adalah lapisan material yang dihamparkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Tipikal lapis perkerasan lentur ditunjukkan pada Gambar 2.1. Secara umum perkerasan lentur ini terdiri dari lapis permukaan beraspal, lapis fondasi dan lapis fondasi bawah, termasuk lapis timbunan pilihan atau timbunan biasa (jika diperlukan).



Gambar 2.1 Tipikal potongan melintang perkerasan lentur konvensional

Sebagaimana diketahui bahwa untuk menghasilkan suatu struktur perkerasan jalan yang berkualitas tinggi diperlukan material berkualitas tinggi. Kualitas material yang digunakan umumnya ditetapkan dalam bentuk standar atau spesifikasi. Untuk daerah-daerah tertentu, ketersediaan material berkualitas tinggi sesuai standar atau spesifikasi yang ditentukan sangat terbatas dan bahkan mungkin tidak tersedia, sehingga harus mendatangkan material berkualitas tinggi dari daerah lain. Hal tersebut berdampak pada kebutuhan biaya yang sangat tinggi.

Untuk mengatasi kendala keterbatasan material berkualitas tinggi sebagaimana dimaksudkan di atas, diperlukan suatu upaya untuk pemanfaatan material lokal sub standar agar dapat digunakan sebagai material perkerasan jalan. Salah satu metode yang dapat diterapkan adalah dengan melakukan stabilisasi. Dengan stabilisasi dan desain struktural yang sesuai, banyak material lokal sub standar masih bisa digunakan sebagai material perkerasan jalan dan menunjukkan kinerja yang cukup memadai selama umur rencana, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (Arora, Crowther and Akhter, 1986; Greening and Rolt, 1997). Tanpa mengabaikan kinerja perkerasan yang akan dicapai, penggunaan material lokal sangat berperan terkait dengan penghematan biaya, pengelolaan sumber material dan lingkungan (Cook and Gourley, 2003; Bullen, 2003).

2.2 Stabilisasi

2.2.1 Tipe Stabilisasi

Berbagai tipe stabilisasi dapat diterapkan untuk pemanfaatan material lokal sub standar sebagai material perkerasan jalan. Secara umum, tipe stabilisasi tersebut dibagi menjadi dua kategori, sebagai berikut:

- a. Stabilisasi mekanis (*mechanical stabilization*)** - Mencakup pencampuran dua jenis material atau lebih, 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 ilmiah ini, stabilisasi mekanis tidak diuraikan lebih lanjut.

b. Stabilisasi dengan bahan kimia (*chemical stabilization*) – Stabilisasi dengan bahan kimia ini dibagi lagi menjadi dua kategori berdasarkan tipe bahan kimia yang digunakan (Kestler, 2009):

- 1) Bahan kimia tradisional, mencakup:
 - a) Semen
 - b) Kapur
 - c) *Fly ash*
 - d) Aspal (bitumen)
 - e) Campuran dua atau lebih bahan kimia tradisional (*semen-fly ash, kapur-fly ash, kapur-semen-fly ash, kapur-aspal, dsb*).
- 2) Bahan kimia non tradisional, mencakup:
 - a) Bahan berbasis klorid (*chlorides, salt, calcium chloride, magnesium chloride, sodium chloride*)
 - b) Bahan berbasis lempung (*clay additives, clay filler, bentonite, montmorillonite*)
 - c) Bahan berbasis elektrolit (*electrolyte stabilizers, ionic stabilizers, electrochemical stabilizer, acids*)
 - d) Bahan berbasis enzim (*enzymatic emulsion, enzymes*)
 - e) Bahan berbasis lignin (*lignosulfonates, lignin, lignin sulfate, lignin sulfides*)
 - f) Bahan berbasis polimer sintetik (*synthetic-polymer emulsions, polyvinyl acetate, vinyl acrylic*)
 - g) Bahan berbasis resin (*tree-resin emulsions, tall-oil emulsions, pine-tar emulsions*).

2.2.2 Pemilihan Tipe Bahan Stabilisasi

Pemilihan tipe bahan stabilisasi sangat tergantung pada banyak faktor, antara lain jenis material yang akan distabilisasi. Sesuai Austroad (1998), lihat Tabel 2.1, material dibagi menjadi 2 kelompok berdasarkan persentase lolos ayakan 0,075 mm (No. 200), masing-masing kelompok dibagi lagi

berdasarkan indeks plastisitasnya. Selanjutnya dipilih tipe bahan stabilisasi yang digunakan berdasarkan persentase lolos ayakan 0,075 mm dan indeks plastisitasnya. Sedangkan sesuai Department of The Army, Navy, and The Air Force (1994), material dibagi menjadi 3 kelompok berdasarkan persentase lolos ayakan 4,75 mm (No. 4) dan ayakan 0,075 mm (No. 200), masing-masing kelompok dibagi lagi menjadi beberapa jenis atau area berdasarkan persentase lolos ayakan 0,075 mm sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.2. Selanjutnya tipe bahan stabilisasi yang sesuai dipilih berdasarkan indeks plastisitasnya sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.2. Untuk jenis material tertentu, batas cair, tipe gradasi dan persentase tertahan ayakan 4,75 mm juga merupakan faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bahan stabilisasi yang sesuai.

Iklim juga berpengaruh cukup signifikan terhadap pemilihan tipe bahan stabilisasi yang digunakan. Pada daerah basah dimana kadar air material perkerasan cukup tinggi, maka sangat penting untuk menjamin bahwa kekuatan basah material yang distabilisasi tetap tinggi. Pada kondisi tersebut, semen 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 material. Kapur juga dapat digunakan untuk material tanah lanauan jika pozzolan ditambahkan untuk menghasilkan reaksi *cementing*. Menggunakan aspal emulsi pada daerah bercuraca kering-dingin membutuhkan semen atau kapur untuk memfasilitasi keluarnya air dari aspal emulsi tersebut selama proses stabilisasi. Semen atau kapur juga dapat meningkatkan kekuatan material yang distabilisasi aspal emulsi.

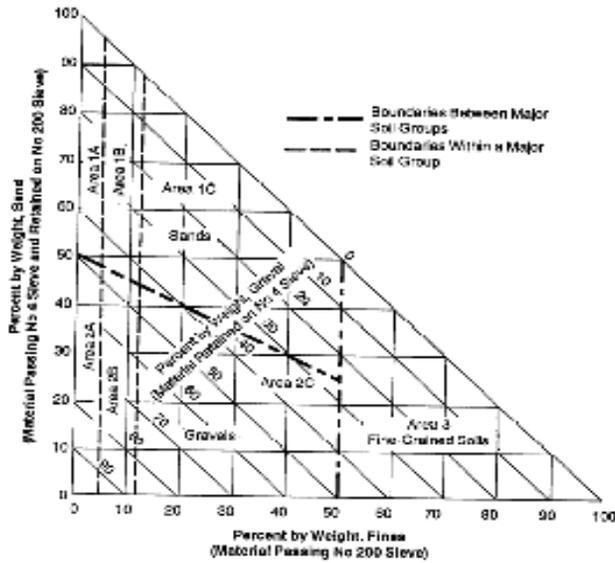
Kestler (2009) menetapkan faktor-faktor yang dipertimbangkan dalam pemilihan tipe bahan kimia non tradisional untuk stabilisasi, antara lain mencakup volume lalu lintas, iklim dan cuaca, kondisi terain dan jenis tanah sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.3.

Tabel 2.1 Pemilihan tipe bahan stabilisasi
(Sumber: Austroad, 1998)

| Tipe bahan stabilisasi | Lebih dari 25 % Lolos # 0,075 mm | | | Kurang atau sama dengan 25 % Lolos # 0,075 mm | | |
|---|----------------------------------|--------------|---------|---|---------|---------|
| | PI ≤ 10 | 10 < PI < 20 | PI ≥ 20 | PI ≤ 6 (PI x p) ≤ 60 | PI ≤ 10 | PI > 10 |
| Semen dan campuran bahan bersifat semen | | | | | | |
| Kapur | | | | | | |
| Aspal | | | | | | |
| Aspal dan aspal + Semen | | | | | | |
| Bahan kimia | | | | | | |

Keterangan:
 PI - Indeks plastisitas
 p - Persen lolos # 0,075 mm

Cocok Meragukan Tidak cocok



Gambar 2.2 Segitiga gradasi untuk menentukan tipe bahan stabilisasi (Department of The Army, Navy, and The Air Force (1994))

Tabel 2.2 Pemilihan tipe bahan stabilisasi (Department of The Army, Navy, and The Air Force (1994))

| Area | Klasifikasi tanah | Tipe bahan stabilisasi | Batas cair dan indeks plastisitas | Lolos ayakan 0,075 mm | Keterangan |
|------|----------------------------|-----------------------------|-----------------------------------|-----------------------|------------------------------------|
| 1A | SW, SP | Aspal | | | |
| | | Semen Portland | | | |
| | | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | $PI \leq 25$ | | |
| 1B | SW-SM, SP-SM, SW-SC, SP-SC | Aspal | $PI \leq 10$ | | |
| | | Semen Portland | $PI \leq 30$ | | |
| | | Kapur | $PI \geq 12$ | | |
| | | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | $PI \leq 25$ | | |
| 1C | SM, SC, SM-SC | Aspal | $PI \leq 10$ | $\leq 30\%$ | |
| | | Semen Portland |* | | |
| | | Kapur | $PI \geq 12$ | | |
| | | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | $PI \leq 25$ | | |
| 2A | GW, GP | Aspal | | | Bergradasi baik |
| | | Semen Portland | | | $\geq 45\%$ lolos saringan 4,75 mm |
| | | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | $PI \leq 25$ | | |

Tabel 2.2 Pemilihan tipe bahan stabilisasi
(Department of The Army, Navy, and The Air Force (1994))

| Area | Klasifikasi tanah | Tipe bahan stabilisasi | Batas cair dan indeks plastisitas | Lolos ayakan 0,075 mm | Keterangan |
|------|-------------------|-------------------------------------|-----------------------------------|-----------------------|--|
| 2B | GW-GM, | Aspal | PI ≤ 10 | | Bergradasi baik |
| | GP-GM, | Semen Portland | PI ≤ 30 | | ≥ 45 % lolos saringan 4,75 mm |
| | GW-GC, | Kapur | PI ≥ 12 | | |
| | GP-GC | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | PI ≤ 25 | | |
| 2C | GM, GC, | Aspal | PI ≤ 10 | ≤ 30 % | Bergradasi baik |
| | GM-GC | Semen Portland |* | | ≥ 45 % lolos saringan 4,75 mm |
| | | Kapur | PI ≥ 12 | | |
| | | Kapur-semen- <i>fly ash</i> | PI ≤ 25 | | |
| 3 | CH, CL, | Semen Portland | LL < 40 dan | | Tanah organik dan keasaman tinggi termasuk dalam area ini tidak cocok untuk distabilisasi dengan bahan ini |
| | MH, ML, | | PI < 20 | | |
| | OH, OL, | | | | |
| | HL-CL | Kapur | PI ≥ 12 | | |
| | * PI ≤ 20 + | 50 – Persen lolos saringan 0,075 mm | | | |
| | | 4 | | | |

Tabel 2.3 Pemilihan tipe bahan kimia non tradisional
(Kestler, 2009, dikutip dari FHWA Guide, 2005)

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--|---|
| 1 Bahan berbasis Klorid (<i>Chlorides</i>) | <p>■ Informasi umum</p> <p>Nama umum : <i>Chlorides, Salts, Calcium Chloride</i> (CaCl₂), <i>Magnesium Chloride</i> (MgCl₂), <i>Sodium Chloride</i> (NaCl₂).</p> |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|------------------------|--|
| Nama atau merek dagang | : CaCl_2 , <i>Dowflake</i> , <i>LiquidDow</i> , <i>Roadmaster</i> , MgCl_2 , <i>Dust-Off</i> , <i>Dus-Top</i> , <i>DustGuard</i> , dsb. |
| Deskripsi produk | : <i>Chlorides</i> 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, sehingga permukaan jalan tetap lembab. CaCl_2 sedikit lebih efektif dari pada MgCl_2 dalam hal menyerap air dan mengurangi penguapan. NaCl 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 temperatur 25 ^o C dan CaCl_2 membutuhkan kelembaban relatif > 29% pada temperatur 25 ^o 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 . |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi | |
|--|---|--|
| 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 berbasis lempung (<i>clay additives</i>) | 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 bubuk |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--|---|
| | <p data-bbox="603 207 1076 243" style="text-align: center;">(<i>slurry</i>).</p> <hr/> <p data-bbox="398 251 482 276">Aplikasi</p> <hr/> <p data-bbox="410 287 1069 353">Tipikal : Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan penggunaan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>)</p> <hr/> <p data-bbox="410 360 1069 516">Lalu lintas : Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Untuk volume lalu lintas yang lebih tinggi, diperlukan aplikasi dan perataan permukaan (<i>surface grading</i>) yang lebih sering.</p> <hr/> <p data-bbox="410 531 1069 626">Iklim : Pada iklim basah dan/ atau dingin jalan akan cepat rusak dan memerlukan pemeliharaan rutin.</p> <hr/> <p data-bbox="410 640 1069 862">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 musun hujan dan apabila lapis tanah dasar (<i>subgrade</i>) jenuh.</p> <hr/> <p data-bbox="410 877 494 902">Terain : -</p> <hr/> <p data-bbox="410 913 1069 1008">Tipe tanah : Umumnya digunakan untuk tanah berplastisitas rendah atau tanah dengan kandungan material halus kurang dari 20 %.</p> |
| 3 Bahan berbasis Elektrolit (<i>Electrolyte Emulsions</i>) | <p data-bbox="398 1022 570 1048">Informasi umum</p> <hr/> <p data-bbox="410 1059 1069 1153">Nama umum : <i>Electrolyte Stabilizer, Ionic Stabilizer, Sulfonated Oils, Electrochemical Stabilizer, Acids.</i></p> <hr/> <p data-bbox="410 1168 1069 1263">Nama atau merek dagang : <i>CBR Plus, Condor SS, Road Bond EN-1, AS-44 System, Terrabond Clay Stabilizer, Terrastone, dsb.</i></p> <hr/> <p data-bbox="410 1277 1069 1561">Deskripsi produk : <i>Electrolyte emulsions</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 emulsions</i> hilang kemampuannya dalam menarik air. Apabila digunakan sedikit pada permukaan jalan tanpa pengikat, <i>electrolyte emulsions</i> efektif untuk mengurangi debu (<i>dust</i></p> |

| | |
|--------------------------------------|--|
| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
| | <p><i>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 emulsions</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 emulsions</i> secara akurat.</p> |
| | Aplikasi |
| | <p>Tipikal : Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan penggunaan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).</p> |
| | <p>Lalu lintas : Sangat rendah - rendah (< 250 AADT). Penggunaan akan meningkat sesuai meningkatnya lalu lintas atau kecepatan kendaraan.</p> |
| | Iklim : - |
| | <p>Cuaca : Perbaikan (<i>grading/reshaping</i>) dan perbaikan setempat mungkin diperlukan setelah hujan lebat.</p> |
| | Terain : - |
| | <p>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.</p> |
| 4 Bahan berbasis | Informasi umum |
| Enzim (<i>Enzymatic Emulsions</i>) | <p>Nama umum : <i>Enzymatic Emulsions, Enzymes</i>.</p> |
| | <p>Nama atau merek dagang : <i>Bio Cat 300-1, EMC SQUARED, Perma-Zyme 11X, Terrazyme, UBIX No.0010, dsb.</i></p> |
| | <p>Deskripsi : <i>Enzymatic emulsions</i> terdiri dari enzim-enzim (molekul protein) yang bereaksi</p> |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--------------------|---|
| produk | <p>dengan molekul air untuk membentuk <i>cementing bonding</i> dan mengurangi kemampuan menyerap air. <i>Enzymatic emulsions</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 emulsions</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 emulsions</i> informasi terkait <i>enzymatic emulsions</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 emulsions</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). 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 |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|---|--|
| | <p>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.</p> |
| <p>5 Bahan berbasis Lignin (<i>Lignosulfonates</i>)</p> | <p>Informasi umum</p> |
| | <p>Nama umum : <i>Lignosulfonates, Lignin, Lignin Sulfate, Lignin Sulfides.</i></p> |
| | <p>Nama atau merek dagang : <i>Dustac, FB Ultra Plus, Polybinder, DC-22, Calbinder, dsb.</i></p> |
| | <p>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.</p> |
| | <p>Aplikasi</p> |
| | <p>Tipikal penggunaan : Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>).</p> |
| | <p>Lalu lintas : Sangat rendah - rendah (< 250 AADT).</p> |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--|--|
| | 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 | Informasi umum |
| Akrilik atau Asetat (<i>Synthetic Polymer Emulsions</i>) | 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 emulsions</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>Polymers</i> menyebabkan ikatan kimia yang terbentuk diantara partikel, membuat massa padat dan permukaan jalan tahan terhadap air. Umumnya, <i>polymer emulsions</i> ini dapat digunakan untuk berbagai jenis tanah, akan tetapi produk tertentu dari <i>synthetic polymer emulsions</i> lebih efektif untuk jenis tanah tertentu. Jika digunakan |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--------------------|--|
| | <p>dengan tingkat penggunaan rendah, <i>synthetic polymer emulsions</i> berfungsi sebagai <i>dust suppressant</i>. Jika tingkat pemakaiannya lebih tinggi, <i>synthetic polymer emulsions</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 emulsions</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 emulsions</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). 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 emulsions</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. |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|--|---|
| 7 Bahan berbasis Resin (<i>Tree Resin Emulsions</i>) | 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 : <i>Tree resin emulsions</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. Jika digunakan dengan tingkat penggunaan rendah pada 2,5 cm di permukaan jalan tanpa pengikat, <i>tree resin emulsions</i> berfungsi untuk mengurangi debu. Jika tingkat pemakaiannya lebih tinggi dengan ketebalan pencampuran 10 cm – 20 cm, <i>tree resin emulsions</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 emulsions</i> umumnya sampai 50 mm. Informasi terkait <i>tree resin emulsions</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 emulsions</i> secara akurat. |
| | Aplikasi Tipikal penggunaan : Mengurangi debu (<i>dust suppressant</i>) dan bahan stabilisasi tanah (<i>soil stabilizer</i>). |

| Tipe bahan kimia | Informasi umum dan aplikasi |
|------------------|---|
| 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 emulsions</i> akan lunak dan memungkinkan terbentuk alur |
| Terain | : Permukaan jalan yang distabilisasi <i>tree resin emulsions</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 emulsions</i> dengan jumlah yang lebih banyak dapat digunakan untuk stabilisasi. |

2.2.3 Kriteria Kekuatan Minimum

Agar dapat digunakan sebagai material untuk perkerasan jalan, material lokal sub standar yang telah distabilisasi harus memenuhi persyaratan kekuatan sebagaimana ditentukan. Beberapa penelitian terkait penentuan kekuatan minimum material yang distabilisasi yang harus dicapai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah, telah dikembangkan. Ingles and Metcalf (1979) merekomendasikan nilai UCS untuk lapis fondasi bawah dan fondasi yang distabilisasi semen harus

berada pada rentang 100 – 200 psi (6,89 – 13,78 kg/cm²). Baker, Wourms, Berthelot, Gerbrandt (2000) menganalisis kesesuaian material yang distabilisasi aspal emulsi untuk lapis fondasi dengan membandingkan nilai stabilitas material yang distabilisasi aspal emulsi tersebut terhadap nilai stabilitas minimum sebagaimana ditetapkan Asphalt Institute (MS-19) yaitu 2222 kN (227 kg).

2.2.4 Desain Campuran

Pada prinsipnya, desain campuran untuk stabilisasi ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah minimum bahan stabilisasi yang diperlukan. Pada tahap ini, beberapa variasi jumlah bahan stabilisasi dicampur dengan material yang distabilisasi, selanjutnya dilakukan pengujian sesuai kriteria kekuatan yang ditetapkan. Ditentukan jumlah bahan stabilisasi yang diperlukan untuk menghasilkan kekuatan atau stabilitas sebagaimana ditetapkan.

2.3 Kajian Hasil Penelitian Stabilisasi Terdahulu

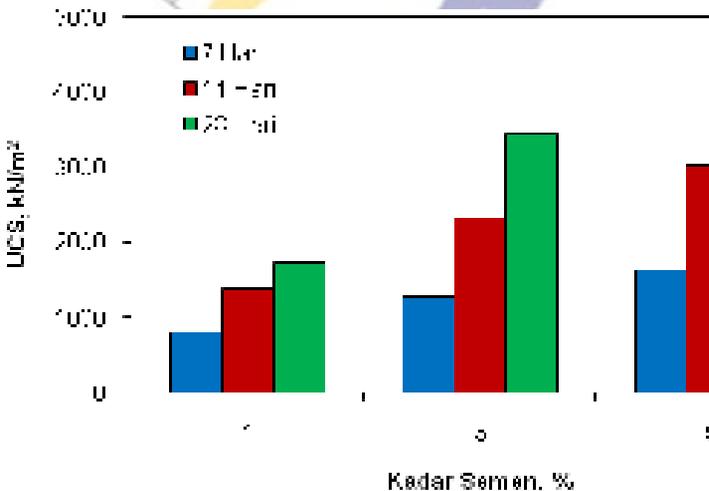
Penelitian laboratorium mengenai stabilisasi tanah atau agregat untuk perkerasan jalan telah banyak dilakukan, antara lain sebagaimana diuraikan berikut ini.

- **Siddique, A. and Rajbongshi, B (2002). Mechanical Properties of a Cement Stabilized Coastal Soil for Use in Road Construction. Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers, Bangladesh, Vol. CE 30, No. 1.**

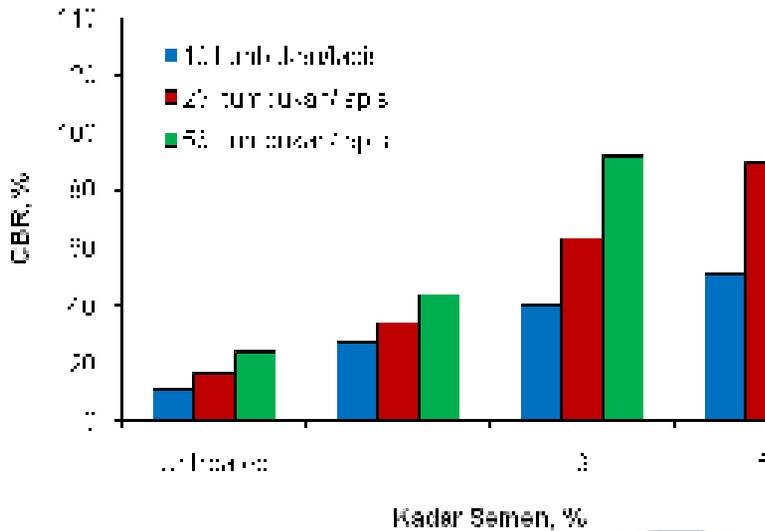
Dalam penelitiannya, Siddique and Rajbongshi (2002) menggunakan material tanah lanau lempungan berplastisitas rendah (batas cair, LL = 30 dan indeks plastisitas, PI = 7). Material tanah tersebut dicampur dengan semen portland dengan jumlah persentase yang bervariasi, yaitu 1%, 3% dan 5% terhadap berat kering material tanah, dan selanjutnya ditentukan sifat mekanisnya, antara lain UCS dan CBR.

Untuk pengujian UCS, tanah-semen dicampur dengan air sampai mencapai kadar air optimum selanjutnya dipadatkan di dalam cetakan berukuran 71 mm dan tinggi 142 mm untuk menghasilkan kepadatan kering maksimum sesuai hasil pengujian kepadatan *modified*. UCS ditentukan setelah melalui proses perawatan benda uji (*curing time*) selama 7, 14 dan 28 hari. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan semen mampu meningkatkan UCS material tanah. Untuk *curing time* 7 hari, penambahan 1% semen mampu menghasilkan UCS 785 kN/m² (7,85 kg/cm²) dan terus meningkat sampai 1267 kN/m² (12,67 kg/cm²) untuk penambahan 3% semen dan 1634 (16,34 kg/cm²) untuk penambahan 5% semen. Demikianpun untuk *curing time* 14 hari dan 28 hari, nilai UCS meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan. Untuk setiap persentase kadar semen, nilai UCS meningkat sesuai meningkatnya *curing time*. Data hasil pengujian UCS ditunjukkan pada Gambar 2.3.

Sedangkan untuk pengujian CBR, campuran tanah-semen dalam kondisi kadar air optimum dipadatkan di dalam cetakan sesuai ASTM D1883 dengan jumlah tumbukan per lapis 10, 25 dan 56 kali. Pengujian penetrasi CBR dilakukan setelah benda uji direndam di dalam air selama 4 hari. Hasil pengujian CBR ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.3 Hasil pengujian UCS stabilisasi material tanah lanau lempungan berplastisitas rendah dengan semen portland

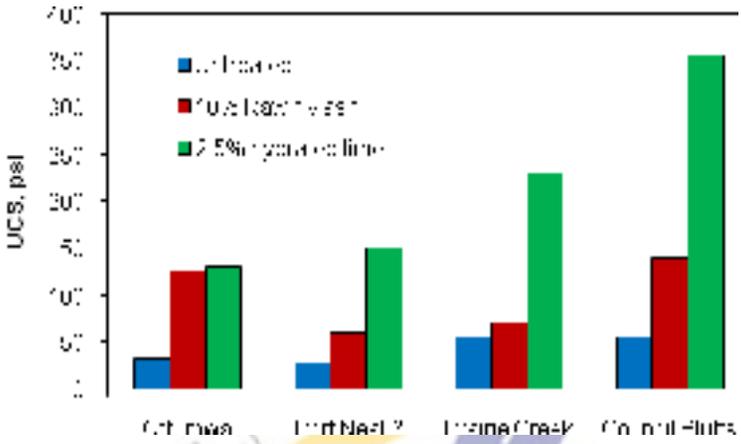


Gambar 2.4 Hasil pengujian CBR stabilisasi material tanah lanau lempungan berplastisitas rendah dengan semen portland

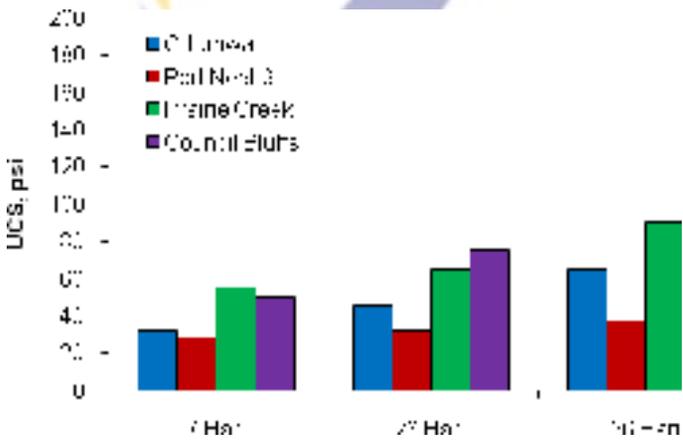
- **Bergeson, K. L and Barnes, A. G. (1998). Iowa Thickness Desain Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases. Transportation Conference Proceeding. Departement of Civil and Construction Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa 50011.**

Bergeson, K. L and Barnes, A. G. (1998) melakukan kajian laboratorium mengenai pengaruh penambahan 10% *raw fly ash* dan 2,5% kapur padam (*hydrated lime*) sebagai bahan aktivator terhadap UCS material *reclaimed hydrated Class C fly ash* yang diperoleh dari Ottumwa, Port Neal 3, Prairie Creek dan Council Bluffs. Hasil kajian menunjukkan bahwa untuk *curing time* 7 hari, penambahan 10% *raw fly ash* mampu menghasilkan nilai UCS material *reclaimed hydrated Class C fly ash* dari Ottumwa, Port Neal 3, Prairie Creek dan Council Bluffs, masing-masing sekitar 125 psi (8,63 kg/cm²), 60 psi (4,14 kg/cm²), 70 psi (4,83 kg/cm²) dan 140 psi (9,66 kg/cm²) atau meningkat sekitar 290%, 114%, 27% dan 155% jika dibandingkan UCS_{untreated}, dan sekitar 130 psi (8,97 kg/cm²), 150 psi (10,35 kg/cm²), 230 psi (15,87 kg/cm²) dan 235 psi (16,22 kg/cm²) untuk penambahan kapur padam 2,5% atau meningkat sekitar 306%, 435%, 318% dan 545% jika

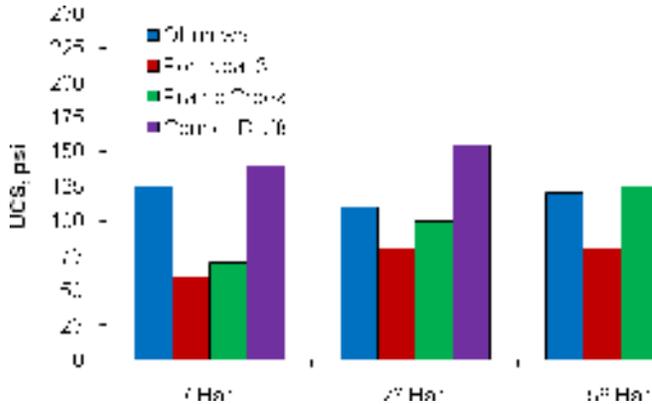
dibandingkan nilai $UCS_{untreated}$, lihat Gambar 2.5. Nilai UCS cenderung meningkat sesuai meningkatnya *curing time* dari 7 hari sampai 56 hari, kecuali untuk campuran material *reclaimed hydrated Class C fly ash* dari Ottumwa dan 10% *raw fly ash*, nilai UCS maksimum tercapai pada *curing time* 7 hari. Pengaruh *curing time* terhadap nilai UCS ditunjukkan pada Gambar 2.6 – Gambar 2.8.



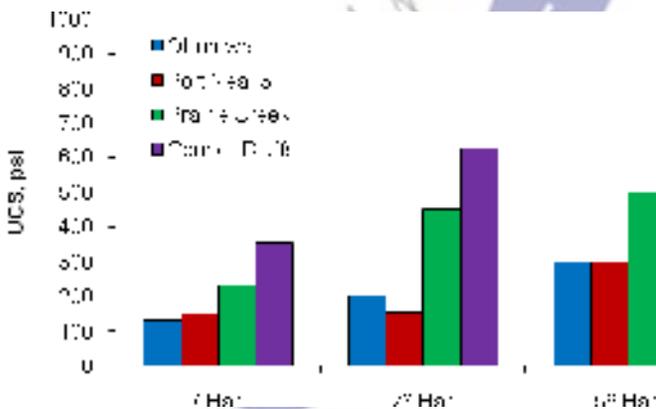
Gambar 2.5 Hasil pengujian UCS material *reclaimed hydrated fly ash* sebelum dan setelah distabilisasi 10% *raw fly ash* dan 2,5% *hydrated lime*



Gambar 2.6 Pengaruh *curing time* terhadap UCS material *reclaimed hydrated fly ash* ($UCS_{untreated}$)



Gambar 2.7 Pengaruh *curing time* terhadap UCS campuran material *reclaimed hydrated fly ash* dan 10% *raw fly ash*

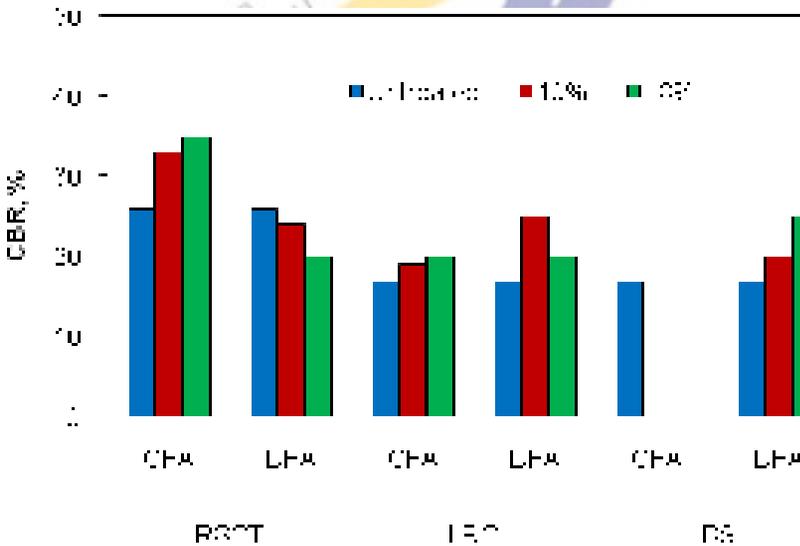


Gambar 2.8 Pengaruh *curing time* terhadap UCS campuran material *reclaimed hydrated fly ash* dan 2,5% *hydrated lime*

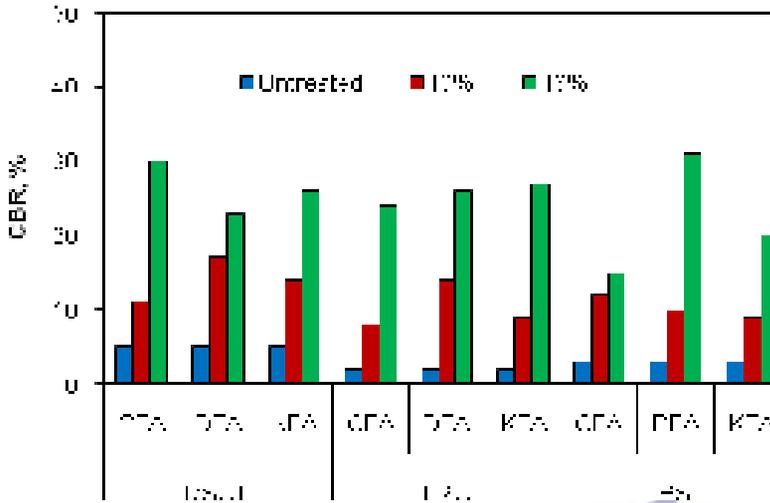
- Edil, T. B., Acosta H. A. and Benson C. H. (2006). Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash. *Journal of Material in Civil Engineering* © ASCE

Dalam makalahnya, Edil, T. B., Acosta H. A. and Benson C. H. (2006) menguraikan pengaruh penambahan Columbia *fly ash* (CFA), Dewey *fly ash*

(DFA) dan King *fly ash* (KFA) terhadap CBR material tanah berbutir halus yang mewakili tipe material tanah dasar lunak pada beberapa pekerjaan jalan di Wisconsin, antara lain *red silty clay till* (RSCT), *Lacustrine red clay* (LRC) dan *brown silt* (BS). Untuk pembuatan benda uji CBR, campuran material tanah dan *fly ash* dipadatkan pada dua kondisi kadar air, yaitu pada kadar air optimum dan pada kadar air 7% di atas kadar air optimum untuk merepresentasikan kadar air material tanah di lapangan. Untuk merepresentasikan proses pemadatan di lapangan, pemadatan campuran untuk pembuatan benda uji CBR ini dilakukan 2 jam setelah pencampuran. Pengujian penetrasi CBR campuran material tanah dan *fly ash* dilakukan setelah melalui proses *curing time* selama 7 hari (tanpa direndam di dalam air). Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.9 dan Gambar 2.10. Terlihat bahwa penambahan *fly ash* mampu meningkatkan nilai CBR material tanah, terutama yang dipadatkan pada kadar air 7% di atas kadar air optimum. Pada kondisi kadar air pemadatan tersebut, tergantung tipe tanah dan *fly ash* yang digunakan, mampu menghasilkan CBR sampai sekitar 30%.



Gambar 2.9 Hasil pengujian CBR material tanah berbutir halus yang di stabilisasi *fly ash*. Campuran dipadatkan pada kadar air optimum, *curing time* 7 hari

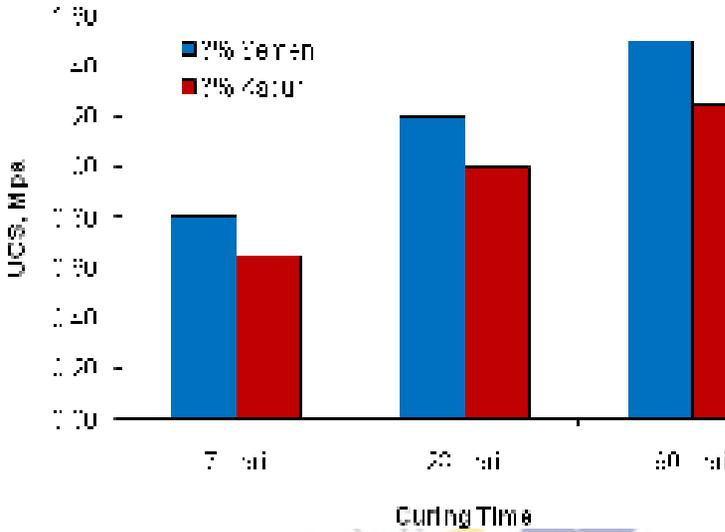


Gambar 2.10 Hasil pengujian CBR material tanah berbutir halus yang distabilisasi *fly ash*. Campuran dipadatkan pada kadar air 7% di atas kadar air optimum, *curing time* 7 hari

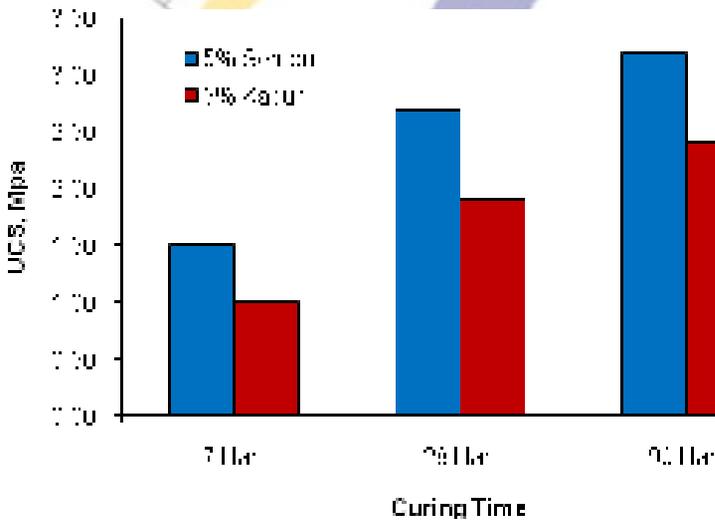
- Prusinski, J. R. and Bhattacharja, S. Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils. *Transportation Research Record*, Vol. 1, No. 1652, TRB, Nasional Research Council, Washington, D.C., 1999, pp 215 – 227.

Jan R. Prusinski and Sankar Bhattacharja (1999) menguraikan efektivitas stabilisasi dengan semen dan kapur untuk beberapa contoh tanah lempung. Dalam uraiannya, stabilisasi dengan semen untuk beberapa jenis tanah lempung relatif lebih efektif jika dibandingkan stabilisasi dengan kapur. Hal tersebut terlihat dari hasil pengujian UCS sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 2.11 dan Gambar 2.12. Untuk tanah lempung dengan PI = 41, penambahan 3% semen mampu menghasilkan UCS 0,80 Mpa (8,00 kg/cm²), setelah *curing time* 7 hari, sedangkan penambahan 3% kapur hanya mampu menghasilkan UCS 0,65 Mpa (6,50 kg/cm²). Demikianpun untuk tanah lempung dengan PI = 25, nilai UCS untuk penambahan 5% semen dan *curing time* 7 hari relatif lebih tinggi jika dibandingkan dengan UCS untuk penambahan 5% kapur. Baik campuran

tanah-semen maupun tanah-kapur, UCS meningkat sesuai meningkatnya *curing time* dari 7 hari sampai 90 hari.



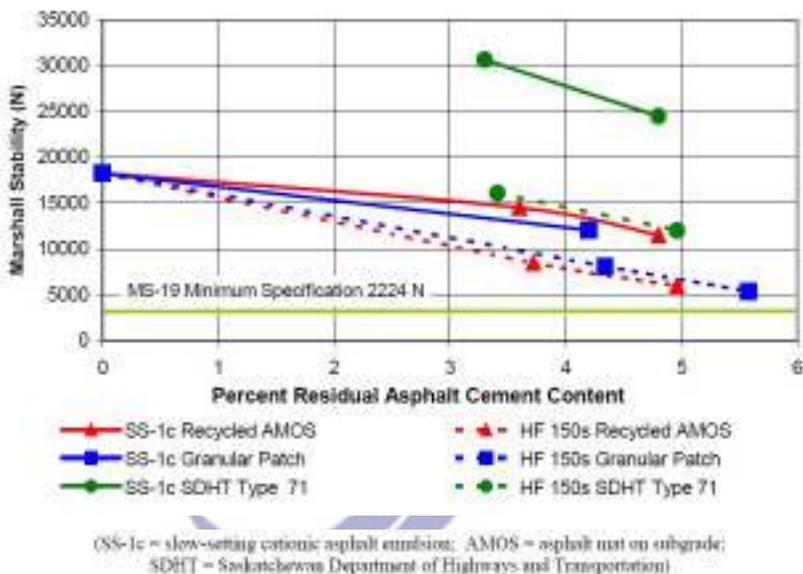
Gambar 2.11 Hasil pengujian UCS stabilisasi material tanah tanah lempung dengan PI = 41 yang distabilisasi 3% semen dan 3% kapur



Gambar 2.12 Hasil pengujian UCS stabilisasi material tanah tanah lempung dengan PI = 25 yang distabilisasi 5% semen dan 5% kapur

- Baker, B., Wourms, O., Berthelot C., Gerbrandt R. (2000). Cold In-Place Recycling Using Asphalt Emulsion for Strengthening for Saskatchewan Low Volume Roads. Canadian Technical Asphalt Association Proceedings, 45th Annual Conference, Vol. XLVII, pp 145 – 166.

Stabilisasi material tanah berbutir kasar dengan aspal emulsi mampu menghasilkan stabilitas (stabilitas pada temperatur 25⁰C, tanpa *immersion*) yang cukup tinggi, lebih besar dari batas minimum untuk lapis fondasi (2224 N atau 227 kg) sebagaimana ditentukan The Asphalt Institute, MS-19. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 2.13.

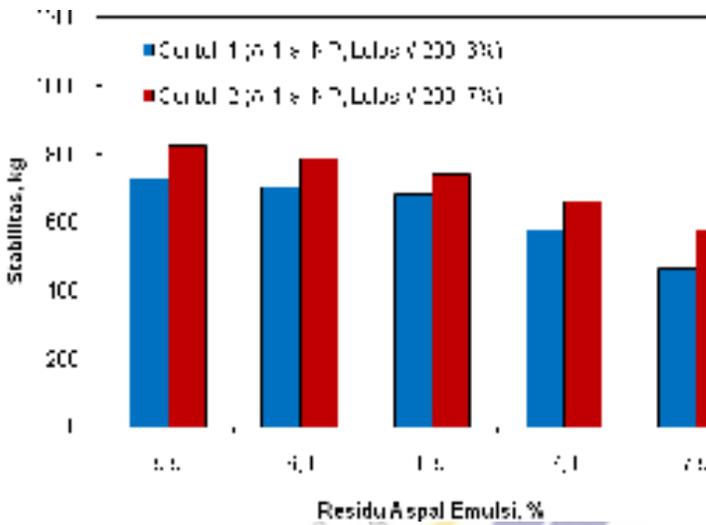


Gambar 2.13 Pengaruh aspal emulsi terhadap stabilitas Marshall

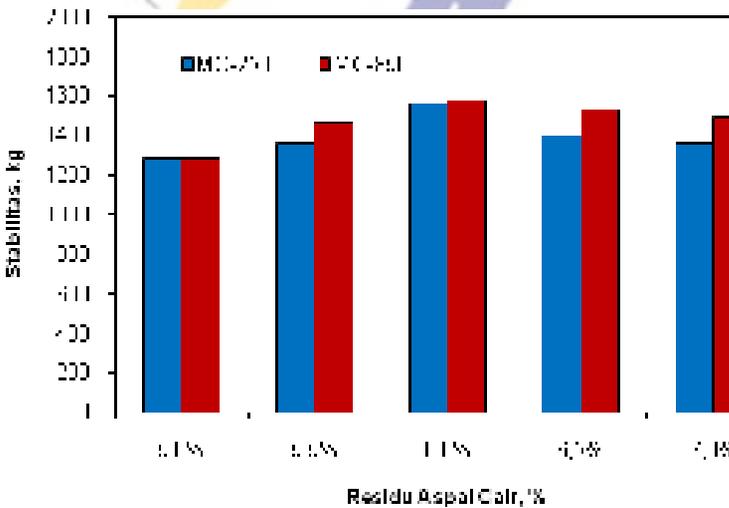
- Fransisko, S. dan Suaryana, N. (2011). Kajian Laboratorium Stabilisasi Berbasis Aspal dan Bahan Kimia. Naskah Ilmiah. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.

Stabilisasi material berbutir kasar (A-1-a) dengan aspal mampu menghasilkan nilai stabilitas cukup tinggi melebihi persyaratan stabilitas minimum (227 kg) sebagaimana ditetapkan The Asphalt Institute (MS-14). Nilai stabilitas material distabilisasi aspal cair cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan nilai stabilitas material yang distabilisasi aspal emulsi.

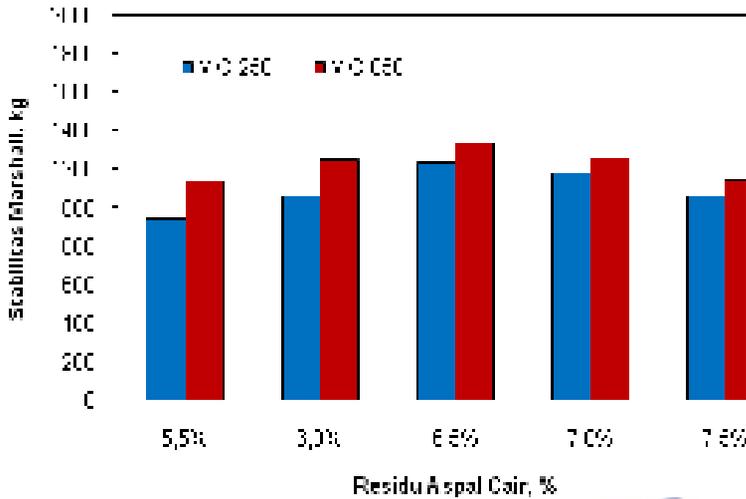
Nilai stabilitas cenderung semakin tinggi sesuai meningkatnya grade aspal cair yang digunakan, lihat Gambar 2.14 – Gambar 2.16.



Gambar 2.14 Pengaruh stabilisas dengan aspal emulsi terhadap stabilitas Marshall



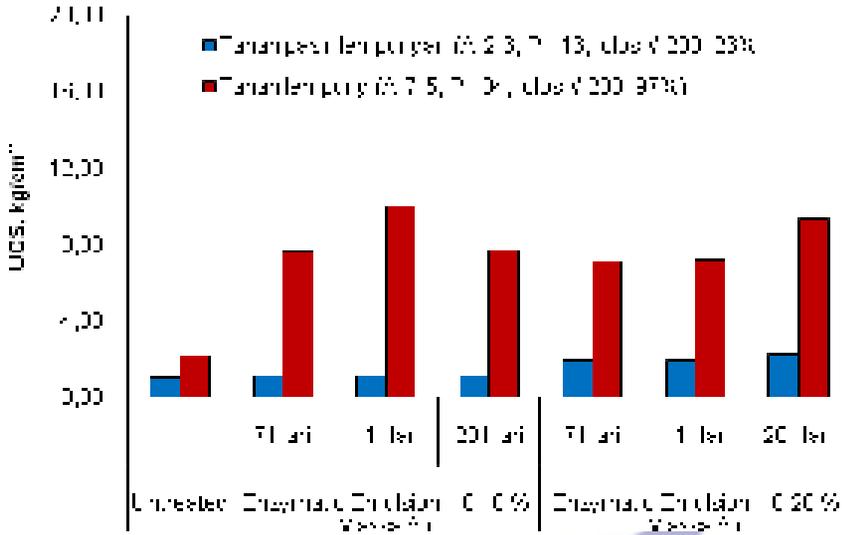
Gambar 2.15 Pengaruh stabilisasi dengan aspal cair terhadap stabilitas Marshall material pasir kerikilan (A-1-a, NP, lolos # No.200_6%)



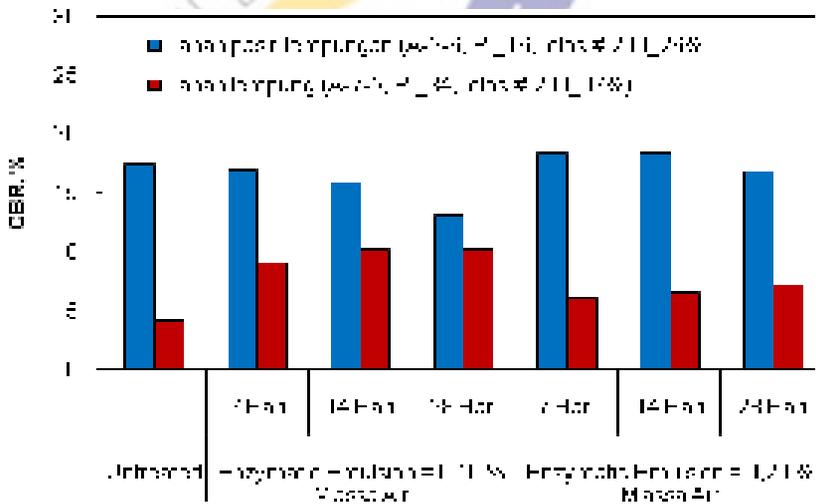
Gambar 2.16 Pengaruh stabilisasi dengan aspal cair terhadap stabilitas Marshall material pasir kerikilan, A-1-a, NP, lolos # No.200_7%

Stabilisasi dengan bahan kimia non tradisional, khusus tipe *Enzymatic Emulsion*, *Synthetic Polymer Emulsion* dan *Electrolyte Emulsion* mampu meningkatkan karakteristik UCS dan CBR material tanah, akan tetapi peningkatannya sangat bervariasi, tergantung tipe material tanah dan bahan kimia non tradisional yang digunakan, dan *curing time*, lihat Gambar 2.17 – Gambar 2.22.

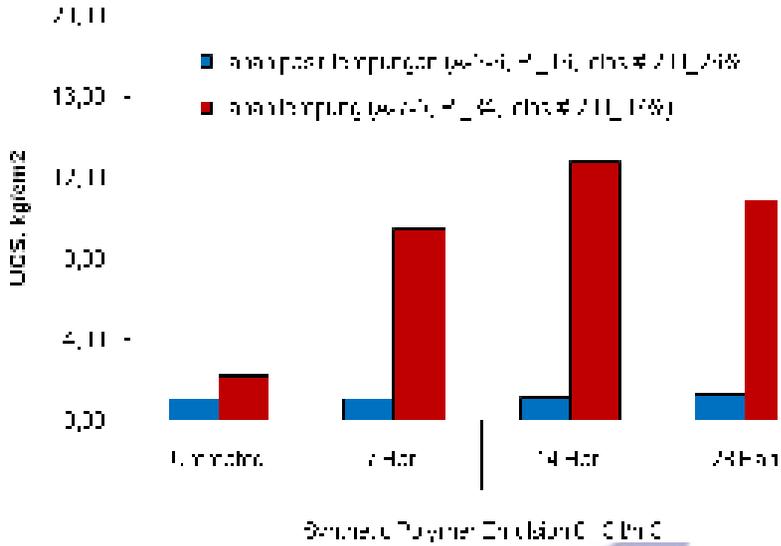
Peningkatan nilai CBR relatif tidak sebanding dengan peningkatan nilai UCS, dalam arti persentase peningkatan nilai UCS jauh lebih tinggi dibandingkan dengan persentase peningkatan nilai CBR. Hal tersebut menunjukkan bahwa proses perendaman benda uji masih mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan kekuatan material tanah yang distabilisasi.



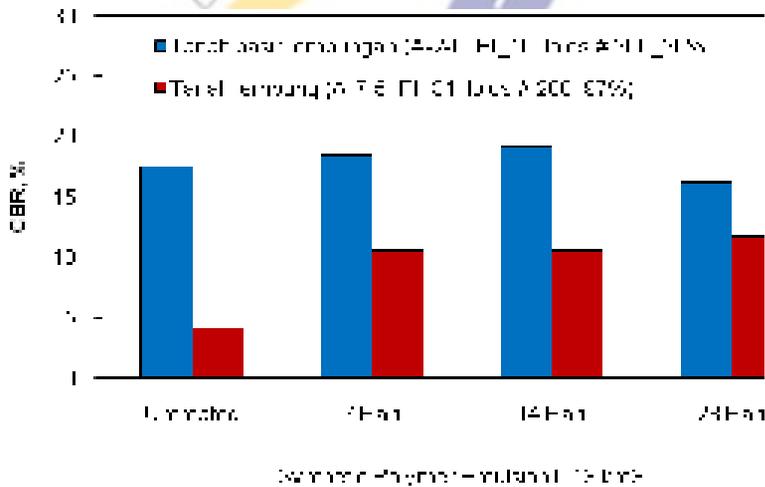
Gambar 2.17 Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia *Enzymatic Emulsion*



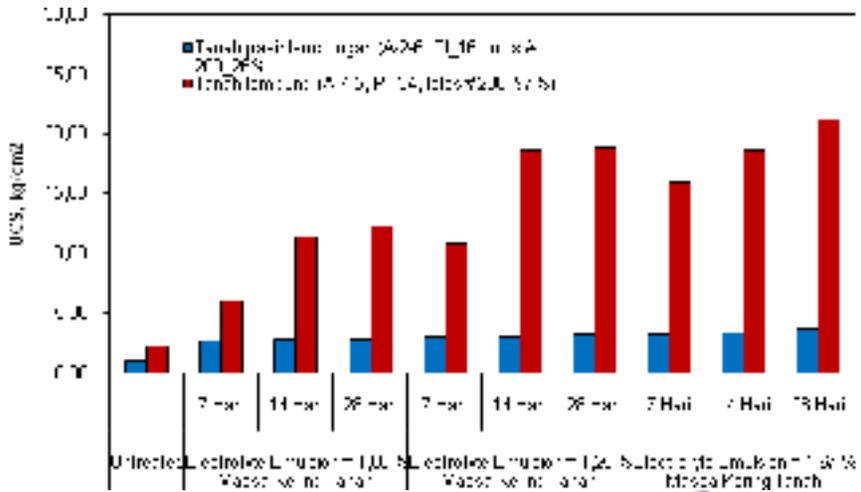
Gambar 2.18 Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia *Enzymatic Emulsion*



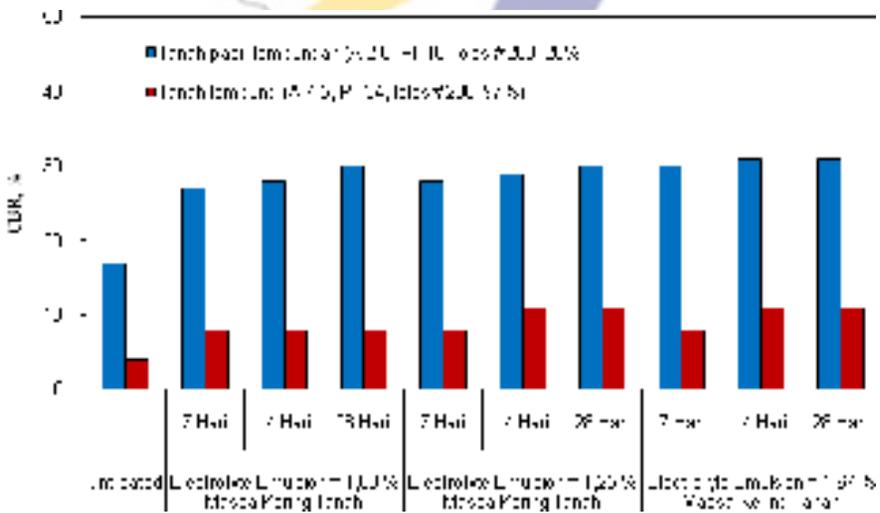
Gambar 2.19 Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion*



Gambar 2.20 Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia *Synthetic Polymer Emulsion*



Gambar 2.21 Hasil pengujian UCS stabilisasi dengan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*

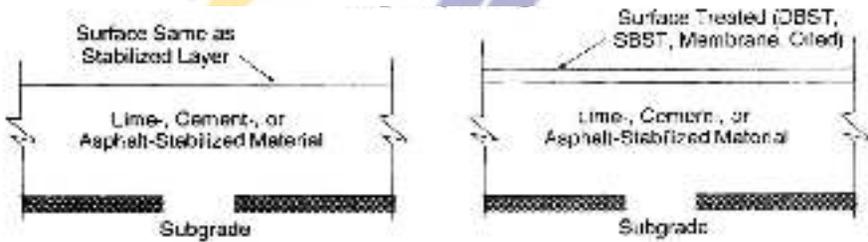


Gambar 2.22 Hasil pengujian CBR stabilisasi dengan bahan kimia *Electrolyte Emulsion*

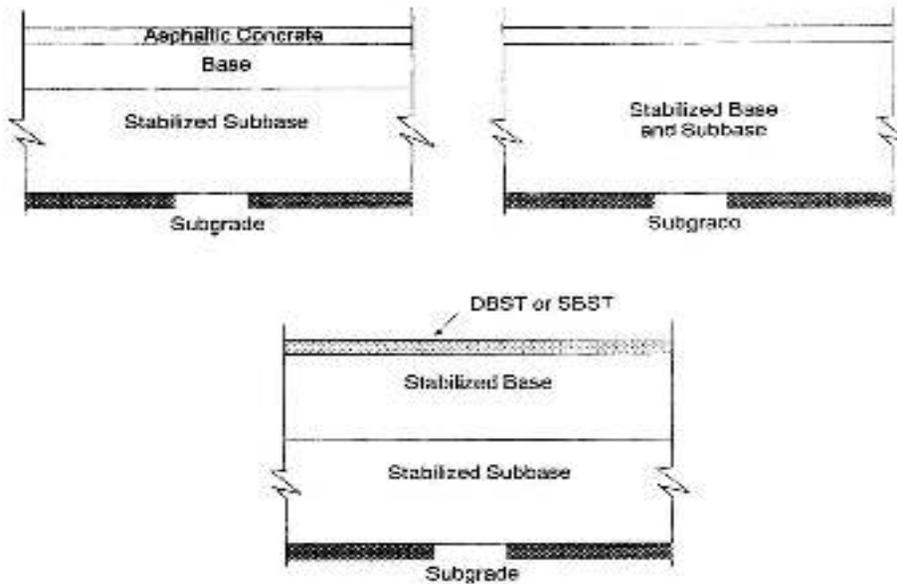
2.4 Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi

2.4.1 Tipikal Perkerasan

Perkerasan lentur dengan stabilisasi umumnya dikelompokkan menjadi dua tipe (*Soil Stabilization for Roads and Airfields*, FM 4-410), yaitu perkerasan menggunakan satu lapis (*single-layer*) dan perkerasan menggunakan dua lapis atau lebih (*multilayer*). Tipikal perkerasan jalan ditunjukkan pada Gambar 2.23 dan Gambar 2.24. Perkerasan *single-layer* adalah suatu lapis material tanah yang distabilisasi, yang terletak di atas lapis tanah dasar asli (*natural subgrade*). Proses pencampuran material tanah dengan bahan stabilisasi dapat dilakukan langsung di tempat atau dilakukan di tempat tertentu dan selanjutnya dihamparkan di atas lapis tanah dasar yang telah dipersiapkan. Untuk menghasilkan permukaan bersifat kedap air, digunakan *single bituminous surface treatment* (SBST) atau *double bituminous surface treatment* (DBST) atau lainnya. Sedangkan perkerasan *multilayer* paling kurang terdiri dari dua lapis, seperti lapis fondasi bawah yang distabilisasi, lapis fondasi dan lapis aus; lapis fondasi bawah, lapis fondasi yang distabilisasi dan lapis aus; dan lapis fondasi bawah dan fondasi yang distabilisasi, dan lapis aus.



Gambar 2.23 Tipikal desain perkerasan *single-layer*



Gambar 2.24 Tipikal desain perkerasan *multilayer*

2.4.2 Desain Perkerasan Lentur dengan Stabilisasi

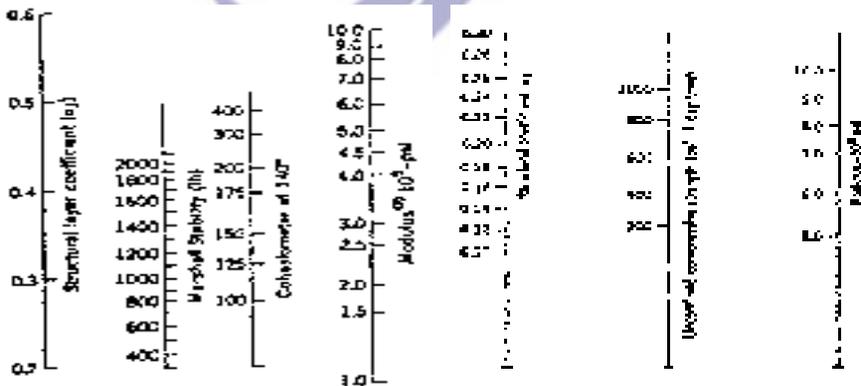
Pada prinsipnya, desain perkerasan lentur dengan stabilisasi ini sama dengan desain perkerasan lentur konvensional, dimaksudkan untuk menentukan kekuatan atau nilai struktural () yang diperlukan untuk menghasilkan suatu konstruksi perkerasan yang mampu mendukung beban lalu lintas yang nantinya diakomodasi.

Beberapa metode atau penelitian telah dikembangkan untuk desain struktural perkerasan lentur dengan stabilisasi ini. Umumnya metode atau penelitian tersebut mengacu pada metode yang telah dikembangkan AASHTO. Menurut AASHTO, kekuatan atau nilai struktural () merupakan fungsi dari koefisien kekuatan relatif () dan ketebalan () lapis perkerasan.

- **Koefisien Kekuatan Relatif**

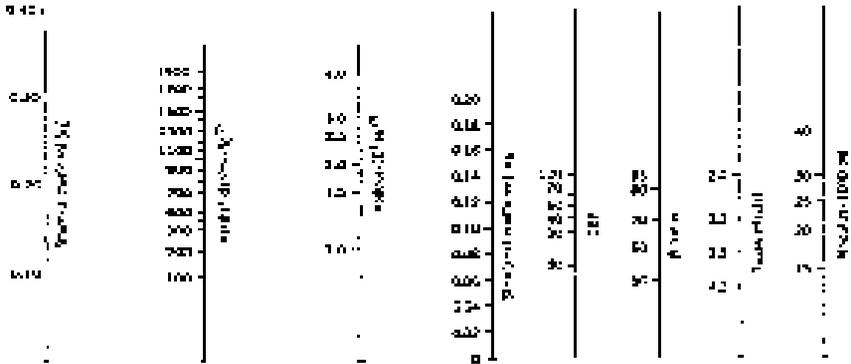
Koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan () merupakan kemampuan relatif dari suatu lapis material sebagai suatu komponen struktural perkerasan. Gambar 2.25 1) – 5) secara berturut-turut dapat digunakan untuk memperkirakan nilai koefisien kekuatan relatif untuk lapis permukaan beraspal (*hot mix asphalt*), lapis fondasi yang distabilisasi semen (*cement-treated*), lapis fondasi yang distabilisasi aspal atau bitumen (*bituminous-treated*), lapis fondasi dan fondasi bawah menggunakan material berbutir (*granular base/subbase*). Terlihat bahwa nilai koefisien kekuatan relatif ditentukan berdasarkan korelasinya dengan karakteristik kekuatan material, seperti modulus resilien, UCS, CBR atau stabilitas Marshall. Untuk desain, nilai koefisien kekuatan relatif ditentukan berdasarkan persyaratan kekuatan yang harus dicapai, dalam arti bahwa persyaratan kekuatan minimum yang harus dicapai harus ditentukan terlebih dahulu, selanjutnya ditentukan nilai koefisien kekuatan relatif berdasarkan korelasinya dengan persyaratan kekuatan minimum yang telah ditetapkan tersebut menggunakan kurva yang sesuai diantara Gambar 2.25 1) – 5).

Sesuai AASHTO yang selanjutnya dikutip oleh Bergesson and Barnes, 1998 (*Iowa Thickness Design Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases*) memberikan nilai koefisien kekuatan relatif untuk berbagai variasi nilai UCS dan CBR sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 2.4.



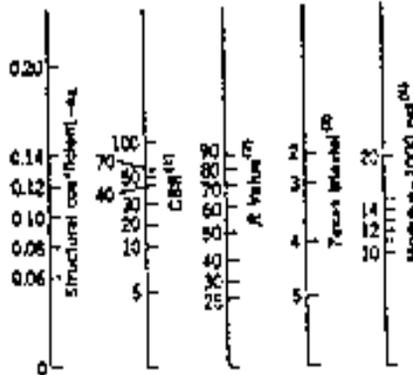
1) Lapis permukaan beraspal, *hot mix asphalt*

2) Lapis fondasi, *cement treated*



3) Lapis fondasi, *bituminous treated*

4) Lapis fondasi, *granular material*



5) Lapis fondasi bawah, *granular material*

Gambar 2.25 Penentuan koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan jalan (After Van Til et al. (1972) dalam Huang Y. H. (1993))

Tabel 2.4 Koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan jalan yang distabilisasi berdasarkan korelasinya dengan CBR dan UCS (Bergeson and Barnes, 1998)

| a_i | CBR, % | UCS, psi |
|-------|--------|----------|
| 0,10 | 25 | |
| 0,11 | 35 | 100 |
| 0,12 | 40 | 175 |
| 0,13 | 70 | 225 |
| 0,14 | 100 | 300 |
| 0,15 | - | 390 |
| 0,16 | - | 425 |
| 0,17 | - | 500 |
| 0,18 | - | 575 |
| 0,19 | - | 610 |
| 0,20 | - | 675 |
| 0,21 | - | 750 |
| 0,22 | - | 800 |

▪ **Ketebalan**

Setelah koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan ditetapkan, ketebalan dapat ditentukan dengan menggunakan persamaan nilai struktural sebagai fungsi koefisien kekuatan relatif () dan ketebalan (). Ketebalan lapis perkerasan tidak boleh kurang dari ketebalan minimum yang ditetapkan.

3

PENELITIAN LABORATORIUM

3.1 Umum

Untuk mengembangkan koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah, maka dilakukan kajian atau penelitian laboratorium untuk melengkapi data hasil penelitian stabilisasi terdahulu sesuai butir 2.3. Pengujian laboratorium stabilisasi ini dimaksudkan mengetahui sampai sejauh mana stabilisasi dapat memperbaiki atau meningkatkan karakteristik kekuatan material. Dalam penelitian ini, tergantung tipe bahan stabilisasi yang digunakan, karakteristik utama yang diperlukan adalah UCS (*unconfined compressive strength*) dan/atau CBR (*California bearing capacity*) untuk stabilisasi semen, kapur dan *fly ash*, dan stabilitas untuk stabilisasi aspal.

▪ UCS

Contoh material yang digunakan untuk pengujian UCS ini adalah contoh material lolos ayakan 4,75 mm (No. 4) untuk material tertahan ayakan 4,75 mm \leq 5% atau lolos ayakan 19,0 mm (3/4 in) untuk material tertahan ayakan 4,75 mm $>$ 5%. Contoh material tersebut dicampur dengan

bahan stabilisasi dan air sesuai yang diperlukan untuk mencapai kadar air optimum, selanjutnya dibuat benda uji UCS dengan cara memadatkan campuran di dalam cetakan berukuran diameter 7,10 cm dan tinggi 14,20 cm sedemikian sehingga menghasilkan kepadatan kering maksimum sesuai hasil pengujian pemadatan. Setelah dipadatkan, benda uji dibungkus plastik dan dibiarkan pada ruang terbuka dengan temperatur $\pm 26^{\circ}\text{C}$ (*curing time*) selama 7 hari untuk stabilisasi semen dan 28 hari untuk stabilisasi kapur dan fly ash, kemudian dilakukan pengujian UCS menggunakan alat kuat tekan dengan kecepatan pembebanan 1% regangan per menit. Ditentukan beban maksimum, yaitu beban yang diperlukan pada saat benda uji UCS runtuh atau pecah. UCS ditentukan sebagai beban maksimum yang dicapai per luas penampang benda uji, dinyatakan dalam kg/cm^2 .

▪ CBR

Sama dengan contoh material yang digunakan untuk pengujian UCS, contoh material yang digunakan untuk pengujian CBR adalah contoh material lolos ayakan 4,75 mm (No. 4) untuk material tertahan ayakan 4,75 mm $\leq 5\%$ atau lolos ayakan 19,0 mm (3/4 in) untuk material tertahan ayakan 4,75 mm $> 5\%$. Contoh material tersebut dicampur dengan bahan stabilisasi dan air sesuai yang diperlukan untuk mencapai kadar air optimum, selanjutnya dipadatkan di dalam cetakan berukuran diameter 152,00 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 uji penetrasi CBR, benda uji dibungkus plastik dan dibiarkan pada ruang terbuka dengan temperatur $\pm 26^{\circ}\text{C}$ (*curing time*) selama 3 hari dan direndam di dalam air selama 4 hari untuk stabilisasi semen, dan *curing time* selama 24 hari dan direndam di dalam air selama 4 hari untuk stabilisasi kapur dan fly ash. Pengujian penetrasi CBR dilakukan sesuai SNI 1744:2008. Nilai CBR yang diperoleh dinyatakan sebagai CBR rendaman (*Soaked CBR*), dinyatakan dalam satuan persen.

▪ Stabilitas

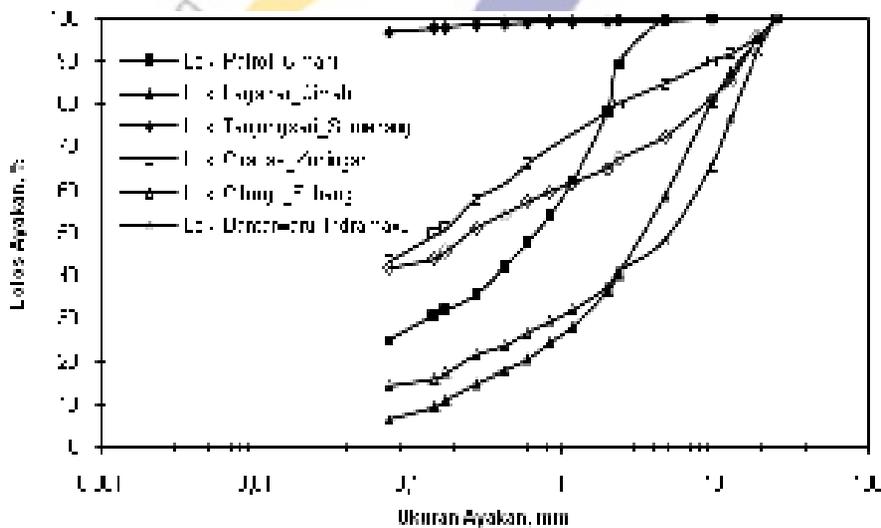
Pengujian stabilitas dilakukan untuk stabilisasi aspal (dalam hal ini adalah aspal emulsi). Tahapan pengujian stabilisasi dengan aspal emulsi mengacu pada *Marshall Method for Emulsified Asphalt-Aggregate Cold Mixture Design* sesuai *Asphalt Institute Manual Series*, MS-14, kecuali contoh material yang digunakan adalah contoh material lolos ayakan 25,0 mm (1 in) dan pengujian stabilitas dilakukan langsung setelah penentuan berat jenis dan kepadatan (tanpa perendaman) pada temperatur 25⁰C.

3.2 Material

Material yang digunakan diambil dari beberapa lokasi di Provinsi Jawa Barat, yaitu Patrol_Cimahi, Lagadar_Cimahi, Tanjungsari_Sumedang, Ciracas_Kuningan, Cibogo_Subang dan Bantarwaru_Indramayu. Hasil pengujian sifat dan karakteristik kekuatan material ditunjukkan pada Tabel 3.1, dan distribusi ukuran butir material tanah ditunjukkan pada Gambar 3.1. Sesuai AASHTO, material dari Patrol_Cimahi, Lagadar_Cimahi dan Cibogo_Subang termasuk kelompok A-2-6, material dari Tanjungsari_Sumedang dan Ciracas_Kuningan termasuk kelompok A-7-5 dan material dari Bantarwaru_Indramayu termasuk kelompok A-7-6; sedangkan sesuai USCS, material dari Patrol_Cimahi, Lagadar_Cimahi, Tanjungsari_Sumedang, Ciracas_Kuningan, Cibogo_Subang dan Bantarwaru_Indramayu secara berturut-turut diklasifikasikan sebagai pasir lempungan (SC), pasir bergradasi baik dan mengandung lempung (SW-SC), lanau berplastisitas tinggi (MH), pasir lanauan (SM), kerikil lempungan (GC) dan pasir lempungan (SC). Semua material tanah tersebut tidak sesuai untuk digunakan sebagai material lapis fondasi (sub standar), memiliki nilai CBR lebih kecil dari nilai CBR minimum (= 90%) sesuai persyaratan spesifikasi umum Bina Marga, 2010.

Tabel 3.1 Sifat dan karakteristik material

| Lokasi Contoh | Plastisitas | | Lolos # 0,075 mm (%) | Klasifikasi | | Karakteristik Pemasatan | | CBR (%) | UCS (kg/cm ²) |
|----------------------|-------------|--------|----------------------|-------------|-------|--------------------------|---------|---------|---------------------------|
| | LL (%) | PI (%) | | AASHTO | USCS | MDD (g/cm ³) | OMC (%) | | |
| Patrol_Cimahi | 35 | 16 | 25 | A-2-6(0) | SC | 1,760 | 15 | 17 | 1,06 |
| Lagadar_Cimahi | 33 | 14 | 7 | A-2-6(0) | SW-SC | 1,910 | 13 | 36 | - |
| Tanjungsari_Sumedang | 70 | 34 | 97 | A-7-5(41) | MH | 1,274 | 39 | 4 | 2,21 |
| Caracas_Kuningan | 50 | 17 | 43 | A-7-5(4) | SM | 1,361 | 30 | 18 | 1,90 |
| Gibogo_Subang | 40 | 19 | 15 | A-2-6(0) | GC | 1,915 | 13 | 17 | - |
| Bantarwaru_Indramayu | 49 | 29 | 42 | A-7-6(6) | SC | 1,776 | 17 | 5 | 2,75 |



Gambar 3.1 Distribusi ukuran butir material tanah

3.3 Bahan Stabilisasi

Dalam penelitian ini digunakan 4 tipe bahan stabilisasi.

- **Semen**

Semen yang digunakan adalah semen komposit (*portland composite cement*, PCC), sesuai SNI 15-7064-2004.

- **Kapur**

Kapur yang digunakan adalah kapur padam, $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Sesuai hasil pengujian kimia, lihat Tabel 3.2, kapur mengandung $\text{SiO}_2 = 0,14\%$ dan $\text{CaO} = 53,42\%$. Rasio CaO dan SiO_2 , sebagai indikasi potensi *cementing* 381,57 dan *loss on ignition* (LOI) = 43,30%.

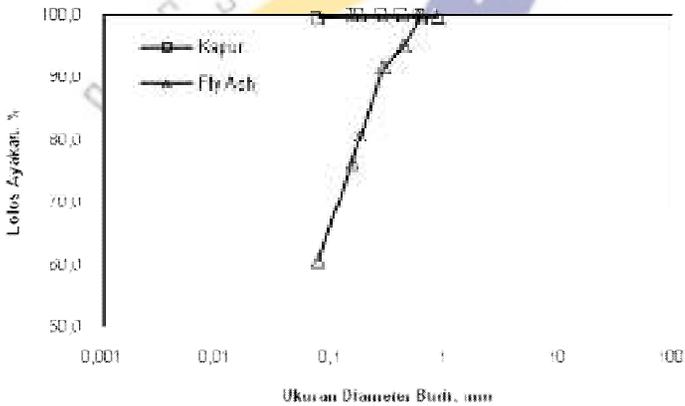
Hasil pengujian distribusi ukuran butir kapur ditunjukkan pada Gambar 3.2. Kapur dikategorikan sebagai material berbutir halus, terdiri dari 99,7% material lolos ayakan 0,075 mm.

- **Fly Ash**

Fly ash dikategorikan sebagai *fly ash* kelas F, mengandung $\text{CaO} = 11,19\%$ (kurang dari 15%), $\text{SiO}_2 = 45,31\%$, $\text{Al}_2\text{O}_3 = 20,74\%$ dan $\text{Fe}_2\text{O}_3 = 15,42\%$. Rasio CaO dan SiO_2 , sebagai indikasi potensi *cementing* = 0,25 dan *loss on ignition* (LOI) = 1,97% sebagai indikasi jumlah batu bara dalam *fly ash* yang tidak terbakar. Hasil pengujian sifat dan komposisi kimia *fly ash* ditunjukkan pada Tabel 3.2. Berdasarkan distribusi ukuran butir sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.2, *fly ash* dikategorikan sebagai material berbutir halus, terdiri dari 61% material lolos ayakan 0,075 mm.

Tabel 3.2 Komposisi kimia kapur dan *fly ash*

| Parameter | Jumlah, % | |
|--------------------------------|-----------|----------------|
| | Kapur | <i>Fly Ash</i> |
| SiO ₂ | 0,14 | 45,31 |
| Al ₂ O ₃ | 0,23 | 20,74 |
| Fe ₂ O ₃ | 0,48 | 15,42 |
| CaO | 53,42 | 11,19 |
| MgO | 1,17 | 2,14 |
| Na ₂ O | 0,18 | 0,14 |
| K ₂ O | 0,02 | 1,46 |
| TiO ₂ | 0,10 | 1,04 |
| MnO | 0,07 | 0,37 |
| P ₂ O ₅ | 0,02 | 0,11 |
| H ₂ O | 0,04 | 0,32 |
| LOI | 43,30 | 1,97 |



Gambar 3.2 Distribusi ukuran butir kapur dan *fly ash*

▪ **Aspal Emulsi**

Aspal emulsi yang digunakan termasuk tipe CSS-1, merupakan campuran antara air 38,2%, minyak 2,5% dan residu aspal 59,3%. Hasil pengujian sifat-sifat aspal emulsi ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Sifat-sifat aspal emulsi

| Sifat aspal emulsi | Hasil pengujian | Persyaratan |
|---|-----------------|-------------|
| Viskositas SF pada 25 ⁰ C, detik | 25 | 20 - 100 |
| Stabilitas penyimpanan 24 jam, ⁰ C | 0,6 | Maks. 1 |
| Muatan listrik partikel | + | Positif |
| Analisis saringan tertahan No. 20, % | 0 | Maks. 0,1 |
| Kadar air, % isi | 38,2 | |
| Kadar minyak, % isi | 2,5 | |
| Kadar residu, % isi | 59,3 | Min. 57 |
| Penetrasi, 0,1 mm | 154 | 100 - 250 |
| Daktilitas, cm | >140 | Min. 40 |
| Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , % | 99,8049 | Min. 97,5 |

3.4 Karakteristik Kekuatan Material Setelah Distabilisasi

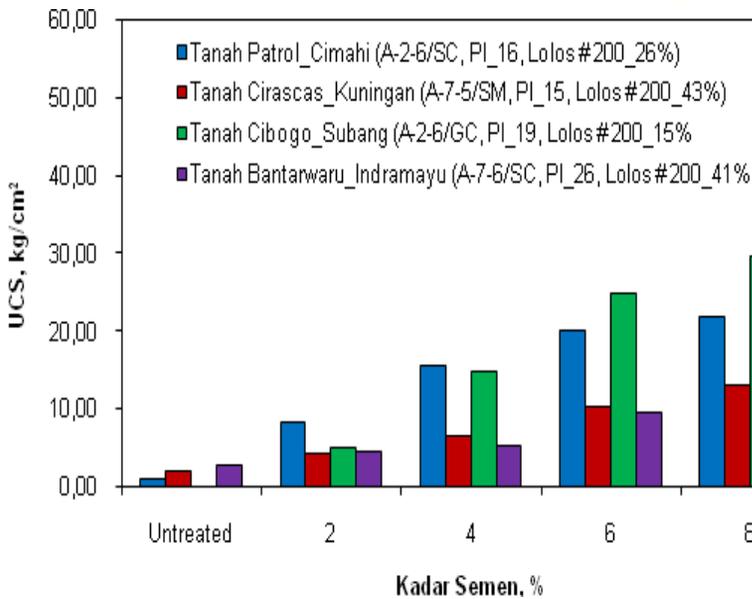
3.4.1 Stabilisasi Semen

Stabilisasi semen dilakukan untuk material dari Patrol_Gimahi, Ciracas_Kuningan, Cibogo_Subang dan Bantarwaru_Indramayu. Pengujian mencakup UCS dan CBR.

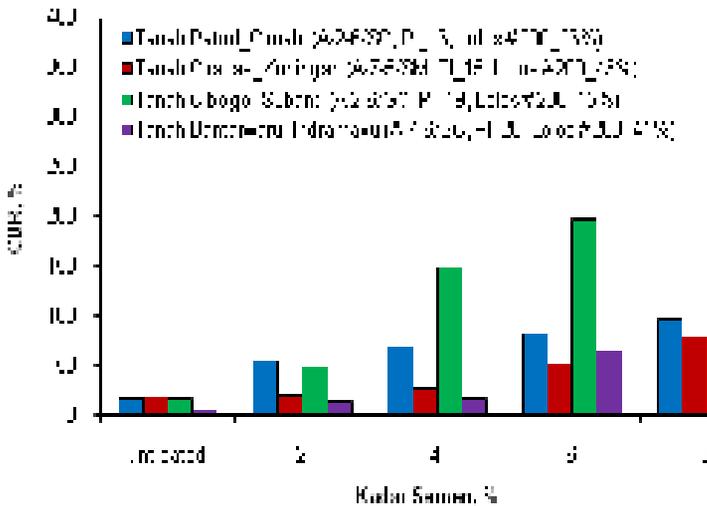
Untuk setiap tipe material yang diuji, penambahan semen mampu meningkatkan nilai UCS. Nilai UCS yang diperoleh meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan. Untuk material dari Patrol_Gimahi, penambahan 2 % semen mampu meningkatkan UCS dari 1,08 kg/cm² menjadi 8,45 kg/cm². Ketika penambahan semen ditingkatkan menjadi 4%, nilai UCS meningkat menjadi 15,60 kg/cm² dan terus meningkat menjadi 20,22 kg/cm² dan 21,85 kg/cm² untuk penambahan semen 6% dan 8%. Untuk material dari Ciracas_Kuningan, penambahan 2% semen mampu meningkatkan UCS dari 1,96 kg/cm² menjadi 4,38 kg/cm² dan terus meningkat menjadi 6,47 kg/cm², 10,45 kg/cm² dan 13,10 kg/cm² untuk penambahan 4%, 6% dan 8% semen. Demikianpun untuk material dari Cibogo_Subang dan Bantarwaru_Indramayu, secara berturut-turut

mampu meningkatkan UCS dari 0,85 kg/cm² menjadi 29,75 kg/cm² dan dari 2,75 kg/cm² menjadi 12,50 kg/cm² masing-masing untuk penambahan 8% semen. Hasil pengujian UCS stabilisasi semen ditunjukkan pada Gambar 3.3.

Sama dengan hasil pengujian UCS, penambahan semen mampu meningkatkan nilai CBR material. Nilai CBR yang diperoleh meningkat sesuai meningkatnya persentase kadar semen yang digunakan. Untuk penambahan 8% semen, diperoleh nilai CBR untuk material dari Patrol_Cimahi 97%, material dari Ciracas_Kuningan 79%, material dari Cibogo_Subang > 100% dan material tanah dari Bantarwaru_Indramayu 71%. Hasil pengujian CBR stabilisasi semen ditunjukkan pada Gambar 3.4.



Gambar 3.3 Hasil pengujian UCS stabilisasi semen, curing time 7 hari



Gambar 3.4 Hasil pengujian CBR stabilisasi semen, *curing time* 3 hari dan perendaman 4 hari

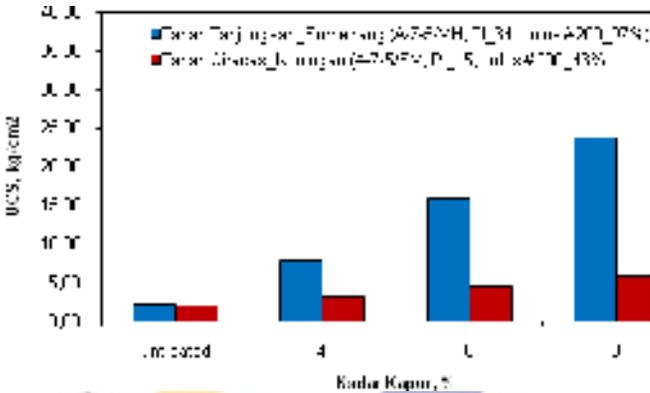
3.4.2 Stabilisasi Kapur

Stabilisasi kapur dilakukan untuk material dari Tanjungsari_Sumedang dan Ciracas_Kuningan. Pengujian mencakup UCS dan CBR.

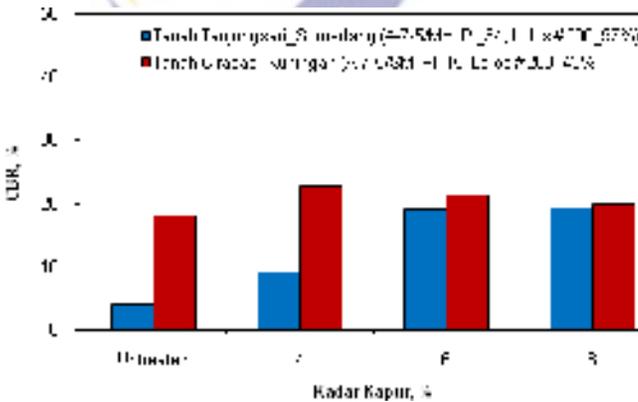
Untuk material dari Tanjungsari_Sumedang, penambahan 4% kapur mampu meningkatkan nilai UCS dari 2,05 kg/cm² menjadi 7,78 kg/cm² dan terus meningkat menjadi 23,80 kg/cm² untuk penambahan 8% kapur. Sedangkan untuk material dari Ciracas_Kuningan, peningkatan nilai UCS relatif tidak cukup signifikan, hanya mampu meningkatkan nilai UCS dari 1,96 kg/cm² menjadi 5,75 kg/cm² untuk penambahan 8% kapur. Hasil pengujian UCS stabilisasi kapur ditunjukkan pada Gambar 3.5.

Berdasarkan hasil pengujian CBR, penambahan 4% kapur untuk material dari Tanjungsari_Sumedang mampu meningkatkan nilai CBR dari 4% menjadi 9% dan terus meningkat menjadi 19% untuk penambahan 6% kapur. Ketika penambahan kapur ditingkatkan lagi menjadi 8%, nilai CBR relatif tidak mengalami peningkatan, dalam arti bahwa nilai CBR relatif

sama dengan nilai CBR untuk penambahan 6% kapur. Untuk material dari Ciracas_Kuningan, penambahan 4% kapur mampu meningkatkan nilai CBR dari 18% menjadi 23% dan cenderung menurun kembali ketika penambahan kapur ditingkatkan menjadi 6% dan 8%. Dibandingkan dengan peningkatan nilai UCS, peningkatan nilai CBR untuk stabilisasi kapur ini relatif kecil. Hal tersebut menunjukkan bahwa pengaruh air terhadap peningkatan kekuatan material lempung yang distabilisasi dengan kapur masih cukup signifikan. Hasil pengujian CBR stabilisasi kapur ditunjukkan pada Gambar 3.6.



Gambar 3.5 Hasil pengujian UCS stabilisasi kapur, curing time 28 hari

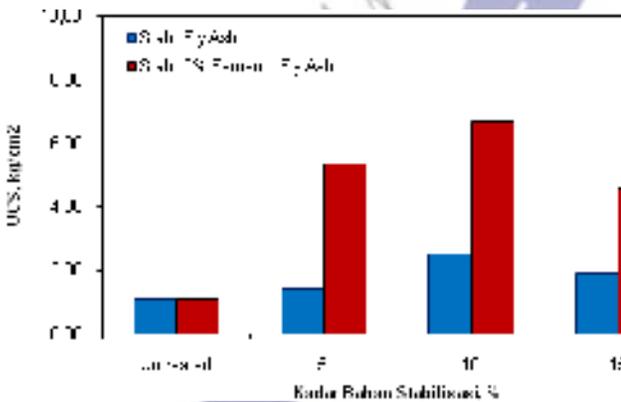


Gambar 3.6 Hasil pengujian CBR stabilisasi kapur, curing time 24 hari dan perendaman 4 hari

3.4.3 Stabilisasi *Fly Ash*

Stabilisasi *fly ash* hanya dilakukan untuk material dari Patrol_Cimahi. Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.7. Terlihat bahwa stabilisasi material dari Patrol_Cimahi dengan *fly ash* relatif tidak mempunyai pengaruh yang cukup signifikan terhadap peningkatan UCS. Hal tersebut logis karena tipe *fly ash* yang digunakan adalah *fly ash* kelas F, membutuhkan semen atau kapur sebagai aktivator. Pengaruh *fly ash* terhadap CBR tidak ditentukan.

Penambahan 2% semen (sebagai aktivator) untuk stabilisasi material dari Patrol_Cimahi dengan *fly ash* (kadar *fly ash* 3%, 8% dan 13%) relatif tidak cukup mampu meningkatkan nilai UCS secara cukup signifikan, lihat Gambar 3.7. Penggunaan semen yang lebih tinggi kemungkinan akan menghasilkan nilai UCS yang lebih tinggi.

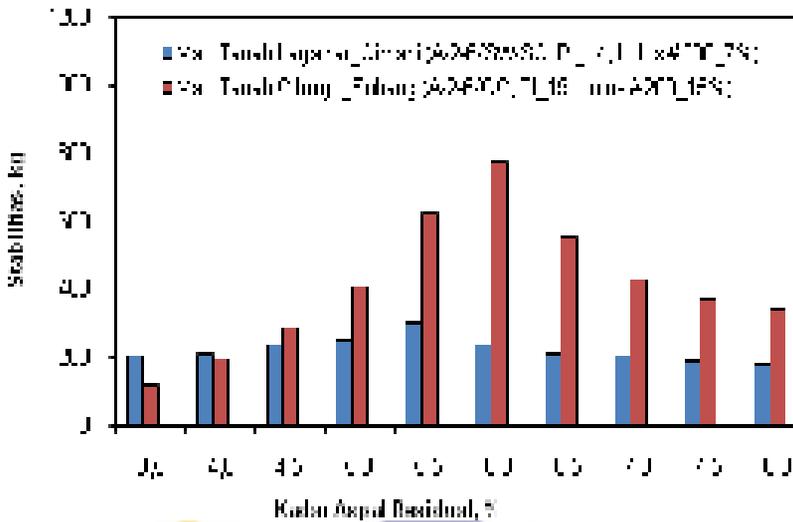


Gambar 3.7 Hasil pengujian UCS stabilisasi material dari Patrol_Cimahi dengan *fly ash* dan semen + *fly ash*, curing time 28 hari

3.4.4 Stabilisasi Aspal

Stabilisasi dengan aspal (aspal emulsi) dilakukan untuk material dari Lagadar_Cimahi dan Cibogo_Subang.

Pengujian yang dilakukan untuk stabilisasi dengan aspal emulsi ini adalah stabilitas Marshall (tanpa *immersion*). Hasil pengujian ditunjukkan pada Gambar 3.8. Untuk rentang kadar reridu aspal emulsi yang tinggi (3% - 8%), stabilitas cenderung meningkat sesuai meningkatnya kadar aspal sampai mencapai kadar aspal tertentu, stabilitas menurun kembali. Nilai stabilitas maksimum 304 kg untuk material dari Lagadar_Cimahi dan 775 kg untuk material dari Cibogo_Subang, masing-masing tercapai pada kadar residu aspal emulsi 5,5% dan 6,0%.



Gambar 3.8 Hasil pengujian stabilitas stabilisasi material dengan aspal emulsi

4

PENGEMBANGAN KOEFI SI EN KEKUATAN RELATI F

Dalam penelitian ini, koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan dengan stabilisasi ditentukan berdasarkan korelasinya dengan karakteristik kekuatan (UCS atau CBR untuk stabilisasi semen, kapur, *fly ash*), dan stabilitas untuk stabilisasi aspal. Dalam hal ini, persyaratan kekuatan atau stabilitas minimum yang harus dicapai ditetapkan terlebih dahulu.

Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam penetapan persyaratan kekuatan atau stabilitas minimum, sebagai berikut:

- Kekuatan atau stabilitas yang dapat dicapai di laboratorium – Dengan stabilisasi, persyaratan minimum yang ditetapkan harus bisa dicapai di laboratorium.

- Faktor efisiensi pencampuran di lapangan – Persentase kadar bahan stabilisasi yang diperlukan setelah memperhitungkan efisiensi pencampuran di lapangan sebaiknya tidak lebih dari 8% untuk stabilisasi semen dan kapur, dan 20% untuk stabilisasi *fly ash* dan semen-*fly ash*. Untuk stabilisasi dengan aspal, sebaiknya bisa dicapai pada kadar residu aspal 3% – 5%.
- Pelaksanaan lapangan – ketebalan padat setiap lapis material yang distabilisasi maksimum 30 cm.
- Beban lalu lintas yang diakomodasi – Dengan ketebalan yang secukupnya (tidak lebih dari 30 cm per lapis stabilisasi), mampu menampung beban lalu lintas sesuai rencana.

Setelah ditentukan persyaratan kekuatan minimum yang harus dicapai, selanjutnya ditentukan nilai koefisien kekuatan relatif berdasarkan korelasinya dengan UCS atau CBR sesuai Tabel 2.4 untuk stabilisasi dengan semen, kapur dan *fly ash*, dan berdasarkan korelasinya dengan stabilitas Marshall sesuai Gambar 2.25 untuk stabilisasi dengan aspal. Nilai koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan dengan stabilisasi ditunjukkan pada Tabel 5.5. Pada Tabel tersebut juga ditentukan persyaratan minimum untuk campuran beraspal lapis permukaan dan lapis timbunan pilihan, dan koefisien kekuatan relatifnya masing-masing (jika digunakan).

5

PROSEDUR DESAIN PERKERASAN LENTUR DENGAN STABILISASI UNTUK JALAN BERVOLUME LALU LINTAS RENDAH

5.1 Umum

Metode atau prosedur perancangan tebal perkerasan dengan stabilisasi untuk jalan bervolume lalu lintas rendah yang diusulkan dalam penelitian ini mengacu pada metode perancangan tebal perkerasan jalan bervolume lalu lintas rendah sesuai AASHTO.

5.2 Lalu Lintas

Lalu lintas, seperti beban dan konfigurasi sumbu, dan jumlah repetisi beban kendaraan yang akan melewati perkerasan, merupakan faktor paling penting yang harus dipertimbangkan dalam desain perkerasan lentur. Beberapa metode dapat digunakan untuk menganalisis pengaruh lalu lintas terhadap desain perkerasan lentur, di antaranya yang paling umum digunakan adalah metode *fixed vehicle*. Sesuai metode ini, desain

perkerasan ditentukan oleh jumlah repetisi beban sumbu tunggal standar (18-kip *equivalent single-axle load*, ESAL). Jika beban sumbu tunggal tidak sama dengan beban sumbu tunggal standar atau jika kendaraan yang ada memiliki dua atau lebih sumbu, maka harus dikonversikan terlebih dahulu dengan menggunakan faktor ekivalen beban sumbu (*equivalent axle load factor*, EALF) untuk menghasilkan beban yang ekivalen dengan beban sumbu tunggal standar dengan menggunakan persamaan 5.1.

$$\left(\frac{W_{tx}}{W_{t18}}\right) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(L_x + L_2) + 4,33 \log L_2 + \frac{G_t}{\beta_x} - \frac{G_t}{\beta_{18}} \quad (5.1a)$$

$$\log\left(\frac{4,2 - I_{pt}}{4,2 - 1,5}\right) \quad (5.1b)$$

$$0,40 + \frac{0,081(L_x + L_2)^{2,23}}{(SN + 1)^{2,19} L_2^{3,23}} \quad (5.1c)$$

$$i = \frac{W_{t18}}{W_{tx}} \quad (5.1d)$$

- W_{tx} = nilai beban sumbu x pada akhir waktu t.
 W_{t18} = nilai beban sumbu tunggal 18 kip (80 kN) pada waktu t.
 L_x = nilai beban dalam kip pada sumbu tunggal, satu set sumbu ganda, atau satu set sumbu *triple*.
 L_2 = kode dari sumbu (1 untuk sumbu tunggal, 2 untuk sumbu ganda, dan 3 untuk sumbu *triple*).
 SN = nilai struktural (*structural number*), fungsi dari ketebalan dan koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan.
 I_{pt} = indeks pelayanan akhir.
 G_t = fungsi dari p_t .
 β_{18} = nilai dari β_x ketika L_x sama dengan 18 dan L_2 sama dengan 1.
 $EALF$ = faktor ekivalen beban sumbu

Contoh:

Untuk $I_{pt} = 2,0$ dan $SN = 3$, tentukan EALF untuk beban sumbu tunggal 14 kip, beban sumbu ganda 32 kip dan beban sumbu *triple* 48 kip.

- Untuk sumbu tunggal, $L_x = 14$ dan $L_2 = 1$. Dari persamaan 5.1b, $G_t = \log(2,2/2,7) = -0,089$ dan dari persamaan 5.1c, $\beta_x = 0,40 + 0,081(14 + 1)^{3,23} / [(3 + 1)^{5,19} (1^{3,23})] = 0,782$. $\beta_{18} = 0,40 + 0,081(18 + 1)^{3,23} / [(3 + 1)^{5,19} (1^{3,23})] = 1,221$. Dari persamaan 5.1a, $\log(W_{tx}/W_{t18}) = 4,79 \log(18 + 1) -$

$4,79 \log(14 + 1) + 4,33 \log 1 + (-0,089/0,782) - (-0,089/1,221) = 0,451$
 atau $W_{tx}/W_{t18} = 2,825$. Dari persamaan 5.1d, $EALF = 1/2,825 = 0,354$.

- Untuk sumbu ganda, $L_x = 32$ dan $L_2 = 2$. Dari persamaan 5.1b, $G_t = \log(2,2/2,7) = -0,089$ dan dari persamaan 5.1c, $\beta_x = 0,40 + 0,081 (32 + 2)^{3,23}/[(3 + 1)^{5,19} (2^{3,23})] = 0,973$. $\beta_{18} = 0,40 + 0,081 (18 + 1)^{3,23}/[3 + 1)^{5,19} (1^{3,23})] = 1,221$. Dari persamaan 5.1a, $\log (W_{tx}/W_{t18}) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(32 + 2) + 4,33 \log 2 + (-0,089/0,973) - (-0,089/1,221) = 0,074$ atau $W_{tx}/W_{t18} = 1,187$. Dari persamaan 5.1d, $EALF = 1/1,187 = 0,843$.
- Untuk sumbu *triple*, $L_x = 48$ dan $L_2 = 3$. Dari persamaan 5.1b, $G_t = \log(2,2/2,7) = -0,089$ dan dari persamaan 5.1c, $\beta_x = 0,40 + 0,081 (48 + 3)^{3,23}/[(3 + 1)^{5,19} (3^{3,23})] = 0,973$. $\beta_{18} = 0,40 + 0,081 (18 + 1)^{3,23}/[3 + 1)^{5,19} (1^{3,23})] = 1,221$. Dari persamaan 5.1a, $\log (W_{tx}/W_{t18}) = 4,79 \log(18 + 1) - 4,79 \log(48 + 3) + 4,33 \log 3 + (-0,089/0,973) - (-0,089/1,221) = -0,007$ atau $W_{tx}/W_{t18} = 0,985$. Dari persamaan 5.1d, $EALF = 1/0,985 = 1,015$.

Tabel 5.1 – Tabel 5.3 menunjukkan faktor ekivalen beban sumbu tunggal, ganda dan *triple*, untuk berbagai nilai struktural dan $I_{Pt} = 2,0$.

Tabel 5.1 Faktor ekivalen beban untuk sumbu tunggal dan $I_{Pt} = 2,0$

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| 4 | 0,002 | 0,003 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 |
| 6 | 0,009 | 0,012 | 0,011 | 0,010 | 0,009 | 0,009 |
| 8 | 0,030 | 0,035 | 0,036 | 0,033 | 0,031 | 0,029 |
| 10 | 0,075 | 0,085 | 0,090 | 0,085 | 0,079 | 0,078 |
| 12 | 0,165 | 0,177 | 0,189 | 0,183 | 0,174 | 0,168 |
| 14 | 0,325 | 0,338 | 0,354 | 0,350 | 0,338 | 0,331 |
| 16 | 0,589 | 0,598 | 0,613 | 0,612 | 0,603 | 0,596 |
| 18 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 20 | 1,61 | 1,59 | 1,56 | 1,55 | 1,57 | 1,59 |
| 22 | 2,49 | 2,44 | 2,35 | 2,31 | 2,35 | 2,41 |
| 24 | 3,71 | 3,62 | 3,43 | 3,33 | 3,40 | 3,51 |
| 26 | 5,36 | 5,21 | 4,88 | 4,68 | 4,77 | 4,96 |
| 28 | 7,54 | 7,31 | 6,78 | 6,42 | 6,52 | 6,83 |
| 30 | 10,4 | 10,0 | 9,20 | 8,60 | 8,70 | 9,20 |
| 32 | 14,0 | 13,5 | 12,4 | 11,5 | 11,5 | 12,1 |
| 34 | 18,5 | 17,9 | 16,3 | 15,0 | 14,9 | 15,6 |

Tabel 5.1 Faktor ekivalen beban untuk sumbu tunggal dan IPt = 2,0

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|-------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 36 | 24,2 | 23,3 | 21,2 | 19,3 | 19,0 | 19,9 |
| 38 | 31,1 | 29,9 | 27,1 | 24,6 | 24,0 | 25,1 |
| 40 | 39,6 | 38,0 | 34,3 | 30,9 | 30,0 | 31,2 |
| 42 | 49,7 | 47,7 | 43,0 | 38,6 | 37,2 | 38,5 |
| 44 | 61,8 | 59,3 | 53,4 | 47,6 | 45,7 | 47,1 |
| 46 | 76,1 | 73,0 | 65,6 | 58,3 | 55,8 | 57,0 |
| 48 | 92,9 | 89,1 | 80,0 | 70,8 | 67,3 | 68,6 |
| 50 | 113,0 | 108,0 | 97,0 | 86,0 | 81,0 | 82,0 |

Tabel 5.2 Faktor ekivalen beban untuk sumbu ganda dan IPt = 2,0

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 4 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0002 | 0,0002 | 0,0002 |
| 6 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 | 0,001 |
| 8 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,003 | 0,002 |
| 10 | 0,007 | 0,008 | 0,008 | 0,007 | 0,006 | 0,006 |
| 12 | 0,013 | 0,016 | 0,016 | 0,014 | 0,013 | 0,012 |
| 14 | 0,024 | 0,029 | 0,029 | 0,026 | 0,024 | 0,023 |
| 16 | 0,041 | 0,048 | 0,050 | 0,046 | 0,042 | 0,040 |
| 18 | 0,066 | 0,077 | 0,081 | 0,075 | 0,069 | 0,066 |
| 20 | 0,103 | 0,117 | 0,124 | 0,117 | 0,109 | 0,105 |
| 22 | 0,156 | 0,171 | 0,183 | 0,174 | 0,164 | 0,158 |
| 24 | 0,227 | 0,244 | 0,260 | 0,252 | 0,239 | 0,231 |
| 26 | 0,322 | 0,340 | 0,360 | 0,353 | 0,338 | 0,329 |
| 28 | 0,447 | 0,465 | 0,487 | 0,481 | 0,466 | 0,455 |
| 30 | 0,607 | 0,623 | 0,646 | 0,643 | 0,627 | 0,617 |
| 32 | 0,810 | 0,823 | 0,843 | 0,842 | 0,829 | 0,819 |
| 34 | 1,06 | 1,07 | 1,08 | 1,08 | 1,08 | 1,07 |
| 36 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,38 | 1,38 |
| 38 | 1,76 | 1,75 | 1,73 | 1,72 | 1,73 | 1,74 |
| 40 | 2,22 | 2,19 | 2,15 | 2,13 | 2,16 | 2,18 |
| 42 | 2,77 | 2,73 | 2,64 | 2,62 | 2,66 | 2,70 |
| 44 | 3,42 | 3,36 | 3,23 | 3,18 | 3,24 | 3,31 |
| 46 | 4,20 | 4,11 | 3,92 | 3,83 | 3,91 | 4,02 |
| 48 | 5,10 | 4,98 | 4,72 | 4,58 | 4,68 | 4,83 |
| 50 | 6,15 | 5,99 | 5,64 | 5,44 | 5,56 | 5,77 |
| 52 | 7,37 | 7,16 | 6,71 | 6,43 | 6,56 | 6,83 |

Tabel 5.2 Faktor ekivalen beban untuk sumbu ganda dan IPT = 2,0

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|------|------|------|------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 54 | 8,77 | 8,51 | 7,93 | 7,55 | 7,69 | 8,03 |
| 56 | 10,4 | 10,1 | 9,30 | 8,80 | 9,00 | 9,40 |
| 58 | 12,2 | 11,8 | 10,9 | 10,3 | 10,4 | 10,9 |
| 60 | 14,3 | 13,8 | 12,7 | 11,9 | 12,0 | 12,6 |
| 62 | 16,6 | 16,0 | 14,7 | 13,7 | 13,8 | 14,5 |
| 64 | 19,3 | 18,6 | 17,0 | 15,8 | 15,8 | 16,6 |
| 66 | 22,2 | 21,4 | 19,6 | 18,0 | 18,0 | 18,9 |
| 68 | 25,5 | 24,6 | 22,4 | 20,6 | 20,5 | 21,5 |
| 70 | 29,2 | 28,1 | 25,6 | 23,4 | 23,2 | 24,3 |
| 72 | 33,3 | 32,0 | 29,1 | 26,5 | 26,2 | 27,4 |
| 74 | 37,8 | 36,4 | 33,0 | 30,0 | 29,4 | 30,8 |
| 76 | 42,8 | 41,2 | 37,3 | 33,8 | 33,1 | 34,5 |
| 78 | 48,4 | 46,5 | 42,0 | 38,0 | 37,0 | 38,6 |
| 80 | 54,4 | 52,3 | 47,2 | 42,5 | 41,3 | 43,0 |
| 82 | 61,1 | 58,7 | 52,9 | 47,6 | 46,0 | 47,8 |
| 84 | 68,4 | 65,7 | 59,2 | 53,0 | 51,2 | 53,0 |
| 86 | 76,3 | 73,3 | 66,0 | 59,0 | 56,8 | 58,6 |
| 88 | 85,0 | 81,6 | 73,4 | 65,5 | 62,8 | 64,7 |
| 90 | 94,4 | 90,6 | 81,5 | 72,6 | 69,4 | 71,3 |

Tabel 5.3 Faktor ekivalen beban untuk sumbu *triple* dan IPT = 2,0

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 2 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 | 0,0000 |
| 4 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 | 0,0001 |
| 6 | 0,0004 | 0,0004 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 | 0,0003 |
| 8 | 0,0009 | 0,001 | 0,0009 | 0,0008 | 0,0007 | 0,0007 |
| 10 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,002 | 0,001 |
| 12 | 0,004 | 0,004 | 0,004 | 0,003 | 0,003 | 0,003 |
| 14 | 0,006 | 0,007 | 0,007 | 0,006 | 0,006 | 0,005 |
| 16 | 0,010 | 0,012 | 0,012 | 0,010 | 0,009 | 0,009 |
| 18 | 0,016 | 0,019 | 0,019 | 0,017 | 0,015 | 0,015 |
| 20 | 0,024 | 0,029 | 0,029 | 0,026 | 0,024 | 0,023 |
| 22 | 0,034 | 0,042 | 0,042 | 0,038 | 0,035 | 0,034 |
| 24 | 0,049 | 0,058 | 0,060 | 0,055 | 0,051 | 0,048 |
| 26 | 0,068 | 0,080 | 0,083 | 0,077 | 0,071 | 0,068 |
| 28 | 0,093 | 0,107 | 0,113 | 0,105 | 0,098 | 0,094 |
| 30 | 0,125 | 0,140 | 0,149 | 0,140 | 0,131 | 0,126 |

Tabel 5.3 Faktor ekivalen beban untuk sumbu *triple* dan $IPT = 2,0$

| Beban sumbu, kips | Nilai struktural (<i>structural number, SN</i>) | | | | | |
|-------------------|---|-------|-------|-------|-------|-------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 |
| 32 | 0,164 | 0,182 | 0,194 | 0,184 | 0,173 | 0,167 |
| 34 | 0,213 | 0,233 | 0,248 | 0,238 | 0,225 | 0,217 |
| 36 | 0,273 | 0,294 | 0,313 | 0,303 | 0,288 | 0,279 |
| 38 | 0,346 | 0,368 | 0,390 | 0,381 | 0,364 | 0,353 |
| 40 | 0,434 | 0,456 | 0,481 | 0,473 | 0,454 | 0,443 |
| 42 | 0,538 | 0,560 | 0,587 | 0,580 | 0,561 | 0,548 |
| 44 | 0,662 | 0,682 | 0,710 | 0,705 | 0,686 | 0,673 |
| 46 | 0,807 | 0,825 | 0,852 | 0,849 | 0,831 | 0,818 |
| 48 | 0,976 | 0,992 | 1,015 | 1,014 | 0,999 | 0,987 |
| 50 | 1,17 | 1,18 | 1,20 | 1,20 | 1,19 | 1,18 |
| 52 | 1,40 | 1,40 | 1,42 | 1,42 | 1,41 | 1,40 |
| 54 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 | 1,66 |
| 56 | 1,95 | 1,95 | 1,93 | 1,93 | 1,94 | 1,94 |
| 58 | 2,29 | 2,27 | 2,24 | 2,23 | 2,25 | 2,27 |
| 60 | 2,67 | 2,64 | 2,59 | 2,57 | 2,60 | 2,63 |
| 62 | 3,10 | 3,06 | 2,98 | 2,95 | 2,99 | 3,04 |
| 64 | 3,59 | 3,53 | 3,41 | 3,37 | 3,42 | 3,49 |
| 66 | 4,13 | 4,05 | 3,89 | 3,83 | 3,90 | 3,99 |
| 68 | 4,73 | 4,63 | 4,43 | 4,34 | 4,42 | 4,54 |
| 70 | 5,40 | 5,28 | 5,03 | 4,90 | 5,00 | 5,15 |
| 72 | 6,15 | 6,00 | 5,68 | 5,52 | 5,63 | 5,82 |
| 74 | 6,97 | 6,79 | 6,41 | 6,20 | 6,33 | 6,56 |
| 76 | 7,88 | 7,67 | 7,21 | 6,94 | 7,08 | 7,36 |
| 78 | 8,88 | 8,63 | 8,09 | 7,75 | 7,90 | 8,23 |
| 80 | 9,98 | 9,69 | 9,05 | 8,63 | 8,79 | 9,18 |
| 82 | 11,2 | 10,8 | 10,1 | 9,60 | 9,80 | 10,2 |
| 84 | 12,5 | 12,1 | 11,2 | 10,6 | 10,8 | 11,3 |
| 86 | 13,9 | 13,5 | 12,5 | 11,8 | 11,9 | 12,5 |
| 88 | 15,5 | 15,0 | 13,8 | 13,0 | 13,2 | 13,8 |
| 90 | 17,2 | 16,6 | 15,3 | 14,3 | 14,5 | 15,2 |

Selanjutnya, ditentukan jumlah total ekivalen beban sumbu tunggal standar selama umur rencana sesuai persamaan 5.2. Untuk desain perkerasan jalan berlalu lintas rendah, AASHTO merekomendasikan jumlah total ekivalen beban sumbu tunggal standar selama umur rencana maksimum 1.000.000.

$$W_{18} = w_{18} \times \left[\frac{(1+g)^n - 1}{g} \right] \quad (5.2a)$$

$$= 365 \times D_L \times \hat{w}_{18} \quad (5.2b)$$

- $W_t = W_{18}$ = jumlah total beban sumbu tunggal standar selama umur rencana
 w_{18} = jumlah beban sumbu tunggal standar selama 1 tahun
 g = pertumbuhan lalu lintas
 n = umur rencana, tahun
 D_L = faktor distribusi lajur, ditunjukkan pada Tabel 5.4
 = jumlah beban sumbu tunggal standar untuk 1 arah per hari.

Tabel 5.4 Nilai pendekatan untuk koefisien distribusi kendaraan per lajur rencana, D_L

| Jumlah lajur | Kendaraan ringan (mobil penumpang) | | Kendaraan berat (truk dan bus) | |
|--------------|------------------------------------|--------|--------------------------------|--------|
| | 1 arah | 2 arah | 1 arah | 2 arah |
| 1 | 1,00 | 1,00 | 1,00 | 1,00 |
| 2 | 0,60 | 0,50 | 0,70 | 0,50 |
| 3 | 0,40 | 0,40 | 0,50 | 0,475 |
| 4 | 0,30 | 0,30 | 0,40 | 0,45 |
| 5 | - | 0,25 | - | 0,425 |
| 6 | - | 0,20 | - | 0,40 |

Lajur rencana merupakan salah satu lajur lalu lintas dari suatu ruas jalan yang menampung lalu lintas terbesar. Jika jalan tidak memiliki tanda batas lajur, jumlah lajur ditentukan berdasarkan lebar perkerasan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Nilai pendekatan untuk menentukan jumlah lajur berdasarkan lebar perkerasan

| Lebar perkerasan, L | Jumlah lajur |
|------------------------------------|--------------|
| $L < 4,50$ m | 1 |
| $4,50 \text{ m} \leq L < 8,00$ m | 2 |
| $8,00 \text{ m} \leq L < 11,25$ m | 3 |
| $11,25 \text{ m} \leq L < 15,00$ m | 4 |
| $15,00 \text{ m} \leq L < 18,75$ m | 5 |
| $18,75 \text{ m} \leq L < 22,50$ m | 6 |

5.3 Tingkat Kepercayaan

Pada prinsipnya, konsep tingkat kepercayaan (*reliability*, R) ini adalah cara untuk mengakomodasi beberapa faktor ketidakpastian dalam proses desain, untuk menjamin berbagai variasi alternatif desain akan bertahan selama umur rencana. Tingkat kepercayaan yang digunakan harus meningkat sesuai meningkatnya volume lalu lintas, kesulitan untuk mengalihkan lalu lintas dan ekspektasi publik. Tabel 5.6 menunjukkan tingkat kepercayaan yang direkomendasikan AASHTO untuk berbagai variasi klasifikasi fungsional jalan. Dari Tabel tersebut terlihat bahwa jalan lokal, yang umumnya dikategorikan sebagai jalan bervolume lalu lintas rendah, tingkat kepercayaannya 50% – 80%. Akan tetapi untuk kepraktisan, digunakan tingkat kepercayaan 75%.

Tabel 5.6 Tingkat kepercayaan berbagai variasi klasifikasi fungsional jalan

| Fungsional jalan | Tingkat kepercayaan yang direkomendasikan, % | |
|----------------------|--|----------------------------|
| | Perkotaan (<i>urban</i>) | Terpencil (<i>rural</i>) |
| Jalan bebas hambatan | 85 – 99,9 | 85 – 99,9 |
| Jalan arteri | 80 – 99 | 75 – 95 |
| Jalan kolektor | 80 – 95 | 75 – 95 |
| Jalan lokal | 50 – 80 | 50 – 80 |

Dalam persamaan umum desain perkerasan lentur (persamaan 5.7), tingkat kepercayaan dinyatakan dengan hasil kali antara deviasi normal (*normal deviate*, Z_R) dan deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*, S_o). Z_R ditentukan berdasarkan tingkat kepercayaan sesuai Tabel 5.6. Dari Tabel 5.7 terlihat bahwa untuk tingkat kepercayaan 75%, $Z_R = -0,674$. So berkisar antara 0,35 – 0,45.

Tabel 5.7 Deviasi normal untuk berbagai variasi tingkat reliabilitas

| Tingkat kepercayaan, % | Deviasi normal, Z_R | Tingkat kepercayaan, % | Deviasi normal, Z_R |
|------------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| 50 | 0,000 | 93 | -1,476 |
| 60 | -0,253 | 94 | -1,555 |
| 70 | -0,524 | 95 | -1,645 |
| 75 | -0,674 | 96 | -1,751 |
| 80 | -0,841 | 97 | -1,881 |
| 85 | -1,037 | 98 | -2,054 |
| 90 | -1,282 | 99 | -2,327 |
| 91 | -1,340 | 99,9 | -3,090 |
| 92 | -1,405 | 99,99 | -3,750 |

5.4 Indeks Pelayanan

Indeks pelayanan (*serviceability index*) perkerasan didefinisikan sebagai kemampuan perkerasan melayani arus lalu lintas. Untuk desain, indeks pelayanan ini dinyatakan dengan *present serviceability index* (ΔPSI), yaitu selisih antara indeks pelayanan awal (I_{p_o}) dan indeks pelayanan akhir (I_{p_t}). Oleh karena itu, untuk menentukan ΔPSI dalam persamaan umum AASHTO, indeks pelayanan awal (I_{p_o}) dan indeks pelayanan akhir (I_{p_t}) harus ditentukan terlebih dahulu. Untuk jalan bervolume lalu lintas rendah, AASHTO menetapkan indeks pelayanan awal (I_{p_o}) = 4,2 dan indeks pelayanan akhir (I_{p_t}) = 2,0.

5.5 Karakteristik Kekuatan Tanah Dasar

Karakteristik kekuatan tanah dasar yang diperlukan untuk desain perkerasan lentur dinyatakan dengan modulus resilien (M_R). Modulus resilien ini dapat ditentukan langsung melalui pengujian laboratorium atau berdasarkan korelasinya dengan CBR, *R-value*, kadar lempung, kadar air, indeks plastisitas, dsb. Berikut ini adalah korelasi antara modulus resilien dan CBR (AASHTO'93).

$$\log(M_R) = 1500 \times \text{CBR} \quad (5.3)$$

Nilai CBR tanah dasar per titik pengujian adalah nilai CBR yang mewakili untuk kedalaman 100 cm. Jika untuk kedalaman tersebut, nilai CBR-nya bervariasi, maka nilai CBR yang mewakili pada titik pengujian tersebut ditentukan dengan menggunakan persamaan 5.4.

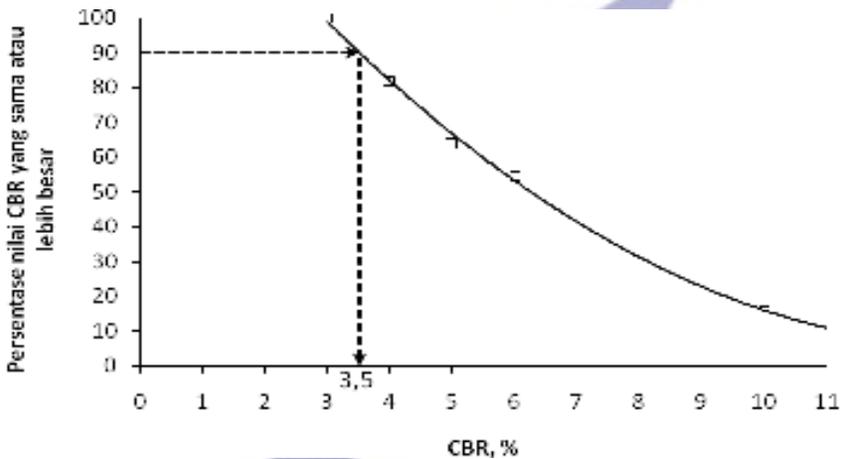
$$I = \left(\frac{h_1 \times \text{CBR}_1^{1/3} + h_2 \times \text{CBR}_2^{1/3} + \dots + h_n \times \text{CBR}_n^{1/3}}{h_1 + h_2 + \dots + h_n} \right)^3 \quad (5.4)$$

- CBR_R = CBR yang mewakili setiap titik pengujian
- $\text{CBR}_1, \text{CBR}_2, \dots, \text{CBR}_n$ = nilai CBR setiap lapisan sampai kedalaman 100 cm
- h_1, h_2, \dots, h_n = ketebalan masing-masing lapisan

Untuk suatu segmen ruas jalan, CBR rencana ditentukan dengan cara grafis. Misalkan: nilai CBR (%) suatu segmen ruas jalan adalah 3, 4, 3, 6, 6, 5, 11, 10, 6, 6 dan 4. Nilai CBR tersebut disusun secara tebelaris mulai dari yang paling kecil sampai yang paling besar, selanjutnya tentukan jumlah nilai CBR yang sama atau lebih besar dan hitung persentasenya terhadap jumlah data CBR yang ada, lihat Tabel 5.8. Plotkan dalam grafik hubungan antara nilai CBR dan persentase nilai CBR yang sama atau lebih besar. Dari grafik tersebut ditentukan nilai CBR desain, yaitu nilai CBR pada persentase nilai CBR yang sama atau lebih besar = 90, lihat Gambar 5.1. Dalam kasus ini, nilai CBR desain = 3,5%.

Tabel 5.8 Tipikal data CBR

| No. Titik | CBR | CBR, mulai dari yang paling kecil sampai yang paling besar | Jumlah data nilai CBR yang sama atau lebih besar | Persentase jumlah data CBR yang sama atau lebih besar |
|-----------|-----|--|--|---|
| 1 | 3 | 3 | 11 | $11/11 \times 100 = 100\%$ |
| 2 | 4 | 3 | | |
| 3 | 3 | 4 | 9 | $9/11 \times 100 = 81,82\%$ |
| 4 | 6 | 4 | | |
| 5 | 6 | 5 | 7 | $7/11 \times 100 = 63,64\%$ |
| 6 | 5 | 6 | 6 | $6/11 \times 100 = 54,55\%$ |
| 7 | 11 | 6 | | |
| 8 | 10 | 6 | | |
| 9 | 6 | 6 | | |
| 10 | 6 | 10 | 2 | $2/11 \times 100 = 18,18\%$ |
| 11 | 4 | 11 | 1 | $1/11 \times 100 = 9,09\%$ |



Gambar 5.1 Tipikal penentuan CBR desain

5.6 Nilai Struktural

Nilai struktural (*structural number*,) menunjukkan kemampuan atau kapasitas daya dukung perkerasan yang diperlukan untuk mendukung beban lalu lintas yang akan diakomodasi. Nilai struktural dapat ditentukan dengan menggunakan nomogram sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 5.2. Nilai struktural yang diperoleh merupakan nilai struktural minimum

Tabel 5.9 Koefisien kekuatan relatif lapis permukaan beraspal, lapis fondasi dan fondasi bawah yang distabilisasi dan lapis timbunan pilihan untuk perkerasan jalan lalu lintas rendah

| Tipe bahan stabilisasi dan kegunaan | Persyaratan minimum | | | Koefisien Kekuatan Relatif, a_i |
|---|-----------------------|-------------------|--------------------|-----------------------------------|
| | UCS, kg/cm^2 | CBR, % | Stabilitas, kg | |
| Lapis permukaan beraspal (<i>hot mix asphalt</i> , HMA) | | | 550 ⁽¹⁾ | 0,33 |
| Stabilisasi semen: | | | | |
| - Lapis fondasi | 12 ⁽²⁾ | 50 ⁽⁴⁾ | | 0,12 |
| - Lapis fondasi bawah | 7 ⁽²⁾ | 30 ⁽⁴⁾ | | 0,11 |
| Stabilisasi kapur: | | | | |
| - Lapis fondasi | | 50 ⁽⁵⁾ | | 0,12 |
| - Lapis fondasi bawah | | 30 ⁽⁵⁾ | | 0,11 |
| Stabilisasi <i>fly ash</i> : | | | | |
| - Lapis fondasi | 12 ⁽³⁾ | 50 ⁽⁵⁾ | | 0,12 |
| - Lapis fondasi bawah | 7 ⁽³⁾ | 30 ⁽⁵⁾ | | 0,11 |
| Stabilisasi bahan kimia non tradisional: | | | | |
| - Lapis fondasi | | 50 ⁽⁴⁾ | | 0,12 |
| - Lapis fondasi bawah | | 30 ⁽⁴⁾ | | 0,11 |
| Stabilisasi aspal | | | | |
| - Lapis fondasi | | | 225 ⁽⁶⁾ | 0,17 |
| Lapis timbunan pilihan (<i>select material</i>) | | 10 ⁽⁷⁾ | | 0,08 |
| Keterangan: | | | | |
| (1) Stabilitas ditentukan sesuai RSNI M-01-2003, Metode pengujian campuran beraspal panas dengan dengan alat Marshall | | | | |
| (2) UCS ditentukan setelah <i>curing time</i> 7 hari | | | | |
| (3) UCS ditentukan setelah <i>curing time</i> 28 hari | | | | |
| (4) CBR ditentukan setelah <i>curing time</i> 3 hari di dalam ruang lembab dan 4 hari direndam di dalam air | | | | |
| (5) CBR ditentukan setelah <i>curing time</i> 24 hari di dalam ruang lembab dan 4 hari direndam di dalam air | | | | |
| (6) Stabilitas ditentukan pada contoh uji yang dipadatkan dengan jumlah tumbukan 50 kali/bidang (tanpa direndam), sesuai <i>Asphalt Institute Manual Series</i> No. 14 (MS-14). | | | | |
| (7) CBR ditentukan setelah direndam di dalam air selama 4 hari | | | | |

5.8 Ketebalan

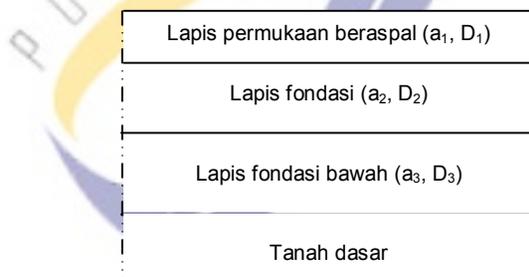
Setelah nilai struktural ditentukan dan diikuti penetapan nilai koefisien kekuatan relatif lapis perkerasan, selanjutnya ketebalan didesain sedemikian (tidak boleh kurang dari ketebalan minimum sesuai Tabel 5.10) sehingga menghasilkan nilai struktural yang sama atau lebih besar dari nilai struktural yang diperoleh sesuai butir 5.6.

Tabel 5.10 Ketebalan minimum lapis perkerasan jalan lalu lintas rendah

| Lapis perkerasan | Ketebalan minimum |
|--|-------------------|
| Lapis permukaan permukaan beraspal panas | 1,6 in (4,0 cm) |
| Lapis fondasi | 6 in (15 cm) |
| Lapis fondasi bawah | 6 in (15 cm) |
| Lapis timbunan pilihan | 6 in (15 cm) |

Contoh:

Perkerasan didesain terdiri dari tiga lapis sesuai Gambar 5.3.



Gambar 5.3 Desain perkerasan

Apabila ketebalan lapis permukaan beraspal () dan lapis fondasi bawah () ditetapkan, maka ketebalan lapis fondasi () dihitung dengan menggunakan persamaan 5.6.

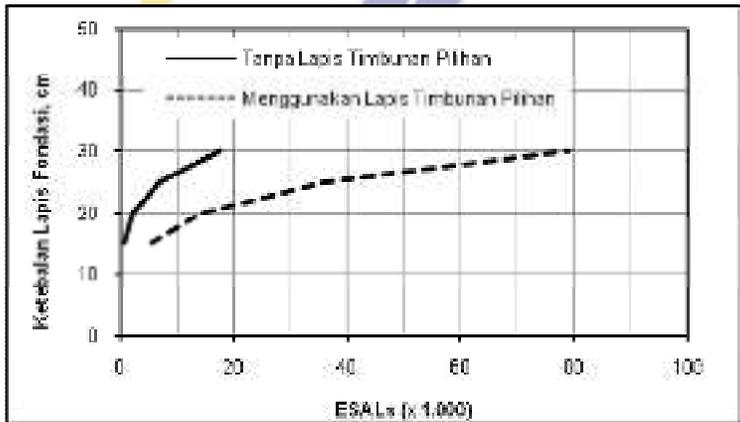
$$a_2 = \frac{SN - a_1 D_1 - a_3 D_3}{D_2} \quad (5.6)$$

Cara lain untuk mendesain ketebalan, terutama jika ingin menentukan beban lalu lintas yang bisa diakomodasi, adalah dengan menggunakan beberapa variasi ketebalan (tetapi tidak boleh kurang dari ketebalan minimum sesuai Tabel 5.10), dan untuk setiap variasi ketebalan tersebut, ditentukan nilai struktural perkerasan menggunakan persamaan 5.5. Selanjutnya ditentukan beban lalu lintas yang bisa diakomodasi sesuai persamaan 5.7.

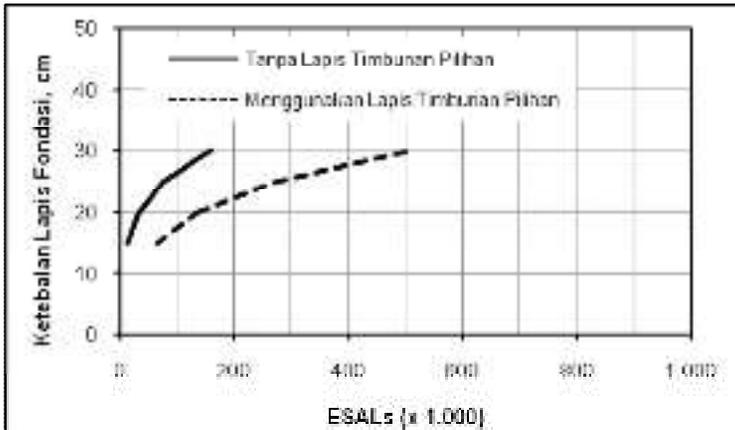
$$(W_{18}) = Z_R S_D + 9.36 \log_{10}(SN + 1) - 0.20 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{(4.2 - 1.8)} \right]}{0.40 + \frac{1.44}{(SN + 1)^{0.19}}} + 2.32 \log_{10}(M_R) - 8.07 \quad (5.7)$$

- W_{18} - Lalu lintas desain (18-Kip ESAL)
- Z_R - Deviasi normal
- S_D - Deviasi standar keseluruhan (*overall standard deviation*)
- SN - Nilai struktural (*structural number*)
- ΔPSI - Selisih antara indeks pelayanan awal dan akhir
- M_R - Modulus resilien

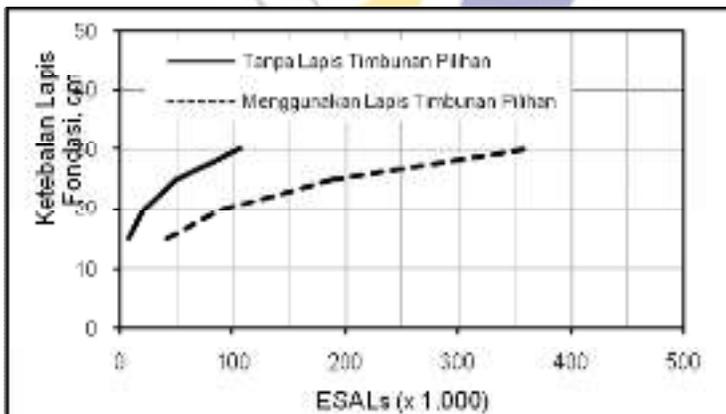
Gambar 5.4 – Gambar 5.9 menunjukkan tipikal desain ketebalan lapis material yang distabilisasi dan jumlah beban lalu lintas (W_{18} = ESAL) yang bisa diakomodasi.



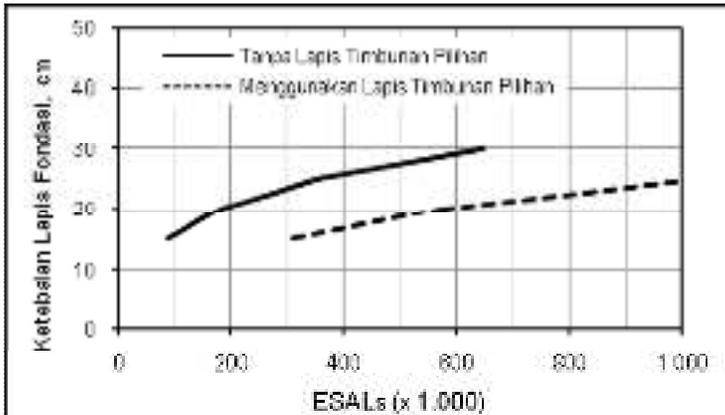
Gambar 5.4 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dan tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%.



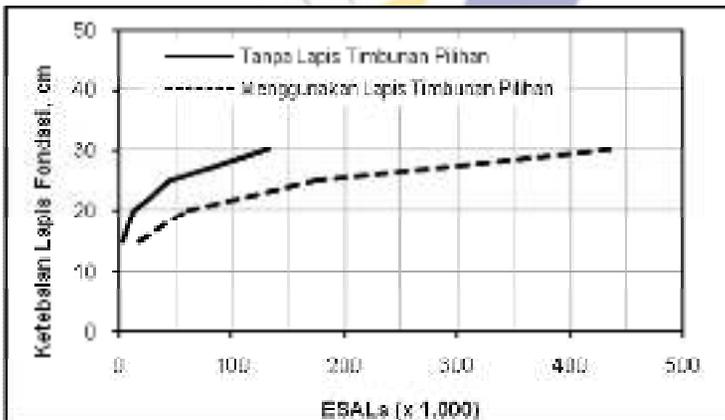
Gambar 5.5 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA). Ketebalan lapis fondasi bawah yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash 15 cm. CBR tanah dasar 6%.



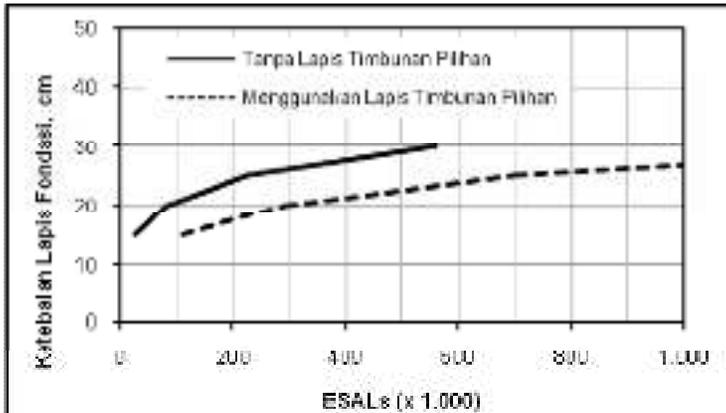
Gambar 5.6 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan yang menggunakan lapis HMA dengan ketebalan 4 cm. Tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%.



Gambar 5.7 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash untuk perkerasan yang menggunakan lapis HMA dengan ketebalan 1,6 in (4 cm) dan lapis fondasi bawah yang distabilisasi semen/ kapur/ fly ash/ semen-fly ash dengan ketebalan 15 cm. CBR tanah dasar 6%.



Gambar 5.8 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi aspal untuk perkerasan tanpa lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dan tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%.



Gambar 5.9 Desain tebal lapis fondasi yang distabilisasi aspal untuk perkerasan menggunakan lapis permukaan beraspal struktural (HMA) dengan ketebalan 4 cm, tanpa lapis fondasi bawah. CBR tanah dasar 6%.



6

PENUTUP

6.1 Kesimpulan

- Hasil pengujian laboratorium menunjukkan bahwa efektifitas stabilisasi tergantung banyak faktor, antara lain tipe material yang distabilisasi, tipe bahan stabilisasi, dan penggunaan material setelah distabilisasi dalam hal ini terkait kriteria kekuatan minimum yang digunakan.
- Stabilisasi semen untuk material Patrol_Cimahi (A-2-6/SC), Ciracas_Kuningan (A-7-5/SM) dan Cibogo_Subang (A-2-6/GC) mampu menghasilkan nilai UCS secara berturut-turut 21,85 kg/cm², 13,10 kg/cm² dan 29,75 kg/cm², dan nilai CBR 97%, 79% dan > 100%. Peningkatan nilai UCS relatif berbanding lurus dengan peningkatan nilai CBR, sehingga untuk desain dapat digunakan salah satu diantara UCS atau CBR.
- Stabilisasi kapur untuk material dari Tanjungsari_Sumedang (A-7-5/MH) dan Ciracas_Kuningan (A-7-5/SM) mampu menghasilkan nilai UCS secara

berturut-turut 23,80 kg/cm² dan 5,75 kg/cm², dan nilai CBR 19% dan 21%. Peningkatan nilai UCS tidak sebanding dengan peningkatan nilai CBR, dalam arti peningkatan UCS relatif lebih tinggi dibandingkan dengan peningkatan CBR. Oleh karena itu, untuk desain disarankan menggunakan kriteria CBR.

- Stabilisasi dengan *fly ash* (kelas F) untuk material dari Patrol_Cimahi (A-2-6/SC) relatif tidak mampu meningkatkan nilai UCS secara cukup signifikan. Nilai UCS yang diperoleh sangat kecil, yaitu sekitar 2,49 kg/cm². Penambahan 2% semen sebagai aktivator mampu meningkatkan nilai UCS sampai 6,70 kg/cm². Penambahan semen lebih dari 2% kemungkinan mampu menghasilkan nilai UCS yang lebih tinggi.
- Stabilisasi dengan aspal emulsi mampu menghasilkan nilai stabilitas sampai 253 kg untuk material dari Lagadar_Cimahi (A-2-6/SW-SC) dan 405 kg untuk material dari Cibogo_Subang ((A-2-6/GC).
- Mengacu pada hasil pengujian sebagaimana diuraikan di atas dan dan hasil kajian data sekunder, dan dengan mempertimbangkan faktor efisiensi pencampuran di lapangan, ketebalan maksimum dan beban lalu lintas rencana, maka untuk stabilisasi semen, kapur, *fly ash*, semen-*fly ash* dan bahan kimia non radisonal, ditetapkan kriteria minimum UCS 12 kg/cm² dan/atau CBR 50% untuk lapis fondasi dan UCS 7 kg/cm² dan/atau CBR 30% lapis fondasi bawah. Untuk stabilisasi dengan aspal, ditetapkan kriteria minimum stabilitas 225 kg.
- Koefisien kekuatan relatif ditentukan berdasarkan korelasinya dengan UCS atau CBR untuk stabilisasi semen, kapur, *fly ash*, semen-*fly ash* dan bahan kimia non tradisional, dan stabilitas untuk stabilisasi dengan aspal. Untuk stabilisasi semen, kapur, *fly ash*, semen-*fly ash* dan bahan kimia non tradisional, nilai koefisien kekuatan relatif 0,12 untuk lapis fondasi dan 0,11 untuk lapis fondasi bawah. Untuk stabilisasi dengan aspal, nilai koefisien kekuatan relatif 0,17.
- Dengan ditetapkannya koefisien kekuatan relatif, ketebalan lapis perkerasan yang distabilisasi dapat ditentukan. Ketebalan lapis perkerasan ini tergantung jumlah beban lalu lintas yang akan

diakomodasi. Ketebalan yang diperlukan semakin tinggi sesuai semakin tingginya beban lalu lintas yang akan diakomodasi.

- Desain perkerasan satu lapis menggunakan stabilisasi semen, kapur, *fly ash*, kombinasi semen-*fly ash* dan bahan kimia non tradisional relatif tidak efektif, hanya mampu mengakomodasi beban lalu lintas (ESAL) sekitar 20.000, kecuali jika ditambahkan lapis material timbunan pilihan dengan ketebalan minimum 15 cm.

6.2 *Saran*

Diperlukan kajian lapangan kinerja lapis perkerasan dengan stabilisasi, untuk menjamin keandalan metode desain yang diusulkan ini, terutama penentuan kriteria kekuatan dan stabilitas minimum yang dalam hal ini adalah terkait dengan penentuan koefisien kekuatan relatif, dan kriteria-kriteria lain yang mungkin perlu dimodifikasi untuk menyesuaikan dengan kondisi lapangan.

Daftar Pustaka

After Van Till et.al (1972) dalam Huang Y. H. (1993). **Pavement Analysis and Design**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

American Association of State Highway and Transportation Officials (1993). **AASHTO Guide for Design of Pavement Structure**. 444 N. Capitol Street, N. W., Suite 249 Washington, D.C. 20001.

Arora, P. L., Crowther, L and Akhter, G. (1996). **Soil Stabilization for Low-volume Roads**. Sheladia Associates, Inc. and Federal Highway Administration.

Asphalt Institute. **Cold Mix Design**. Asphalt Institute Manual Series No. 14 (MS-14).

Baker, B., Wourms, O., Berthelot C., Gerbrandt R. (2000). **Cold In-Place Recycling Using Asphalt Emulsion for Strengthening for Saskatchewan Low Volume Roads**. Canadian Technical Asphalt Association Proceedings, 45th Annual Conference, Vol. XLVII, pp 145 – 166.

Bergeson, K. L and Barnes, A. G. (1998). **Iowa Thickness Desain Guide for Low Volume Roads Using Reclaimed Hydrated Class C Fly Ash Bases**. Transportation Conference Proceeding. Departement of Civil and Construction Engineering, Iowa State University, Ames, Iowa 50011.

Bullen, F. (2003). **Design and Construction of Low-Cost, Low-Volume Roads in Australia**. Paper No. LVR8-1116, TRR 1819, School of Engineering, University of Tasmania, Hobart, Australia.

Austrroads (1998). **Guide to Stabilization in Roadworks**. Sydney.

Cook, J. R., and Gourley, C. S (2003). **A Framework for the Appropriate Use of Marginal Materials**. World Road Association-(PIARC), Technical Committee C12 Seminar, Mongolia.

Department of The Army, Navy, and The Air Force (1994). **Soil Stabilization for Pavements**. Army TM 5-822-14, Air Force AFJMAN 32-1019, Washington, DC.

Edil, T. B., Acosta H. A. and Benson C. H. (2006). **Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash**. *Journal of Material in Civil Engineering* © ASCE.

Fransisko, S. dan Suaryana, N. (2011). **Kajian Laboratorium Stabilisasi Berbasis Aspal dan Bahan Kimia**. Naskah Ilmiah. Puslitbang Jalan dan Jembatan, Bandung.

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.

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.

Huang Y. H. (1993). **Pavement Analysis and Design**. Prentice Hall, Englewood Cliffs, New Jersey 07632.

Indoria, R. P. (2009). **Use of Locally Available Materials in Road Construction**. Indian Highways.

Ingles, O. G. and Metcalf, J. B. (1979). **Soil Stabilization Principles and Practice**. Butterworths Pty. Limited, Sydney-Melbourne-Brisbane, Australia.

Prusinski, J. R. and Bhattacharja, S. **Effectiveness of Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils**. Transportation Research Record, Vol. 1, No. 1652, TRB, Nasional Research Council, Washington, D.C., 1999, pp 215 – 227.

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. Departement of Transportation Federal Highway Administration (FHWA).

Little D. N. (1999). **Evaluation of Structural Properties of Lime Stabilized Soils and Aggregates**. Volume I: Summary of Findings, Prepared for National Lime Association.

Portland Cement and Lime in Stabilizing Clay Soils. Transportation Research Record, Vol. 1, No. 1652, TRB, Nasional Research Council, Washington, D.C., 1999, pp 215 – 227.

Siddique, A and Rajbongshi, B. (2002). **Mechanical Properties of a Cement Stabilized Coastal Soil for Use in Road Construction.** Journal of Civil Engineering, The Institution of Engineers, Bangladesh, Vol. CE30, No. 1.

Soil Stabilization for Road and Airfields. FM 5-410, Chap. 9.

Tuncer B. Edil, Hector A. Acosta and Craig H. Benson (2006). **Stabilizing Soft Fine-Grained Soils with Fly Ash.** Journal of Material in Civil Engineering © ASCE.



