

PEMANFAATAN MATERIAL TEMPATAN UNTUK BAHAN JALAN SEBAGAI UPAYA EFISIENSI DAN PENERAPAN GREEN CONSTRUCTION PADA PEMBANGUNAN JALAN

Ir. Arif Widiyanto
(HP/JI No. B-14549)

PT. Harap Panjang, Jl. Tuanku Tambusai No. 389 Pekanbaru-28282
Telp. 0761-20512 Fax. 0761- 37414, Email: arif@durixp.net

ABSTRAK

Keterbatasan sumber daya alam untuk bahan jalan, minyak bumi (bahan bakar) dan issue lingkungan menjadi pendorong untuk memanfaatkan kembali material tempatan untuk pembangunan dan ataupun rehabilitasi jalan. Pembangunan jalan secara konvensional pada umumnya adalah dengan menggunakan material batuan standar yang didatangkan dari sumber material (*quary*). Adapun pada kasus rehabilitasi jalan, existing perkerasan yang telah terdeformasi struktural yang pada umumnya mengandung bahan jalan dengan kualitas masih mendekati baik (*reasonable quality roadbase*), penanganan kerusakan dilakukan dengan membuang bahan perkerasan lama dan menggantinya dengan bahan jalan baru. Kemudian menambahkan lapisan baru di atasnya (*overlay*) setelah bagian yang rusak ditangani secara lokal. Dengan cara yang demikian, disamping boros penggunaan material, juga terkadang tidak mencapai titik sasaran kerusakan jalan. Cara ini sudah terbukti tidak dapat menangani akar masalah karena kerusakan lapisan bawah akan cepat merambat ke lapisan permukaan jalan.

Cara terbaru yang saat ini dicoba-terapkan di Indonesia adalah dengan teknik stabilisasi atau teknologi daur ulang (*recycling*). Dengan teknologi ini, lapisan perkerasan yang sudah rusak akut digali dan dihancurkan menjadi butiran-butiran kecil, kemudian diaduk dengan memberi bahan pengikat tertentu dan selanjutnya dipadatkan kembali untuk menjadi lapis perkerasan baru. Jenis bahan pengikat yang secara umum digunakan adalah semen, kapur, aspal atau campuran semen dengan bahan pengikat lain yang berhidrasi rendah. Dalam teknik stabilisasi ini, proses pengadukan dapat dilakukan ditempat (*in-place*) atau di lokasi mesin pencampuran (*in-plant*). Teknologi ini terbukti dapat mengatasi sumber kerusakan secara efektif, ekonomis, praktis dan ramah lingkungan.

Dengan melakukan penyelidikan awal (*site investigation*), pembuatan rencana campuran, perencanaan struktural perkerasan dan prosedur pelaksanaan yang benar, kinerja yang handal perkerasan terstabilisasi dapat dicapai. Tulisan ini menguraikan karakteristik perkerasan, pengenalan proses stabilisasi dengan peralatan modern, peningkatan struktur perkerasan, tindakan preventif untuk meminimalisasi keretakan pada perkerasan terstabilisasi dan keunggulan teknik stabilisasi/ daur ulang untuk pembangunan dan atau rehabilitasi jalan yang berwawasan *green construction*.

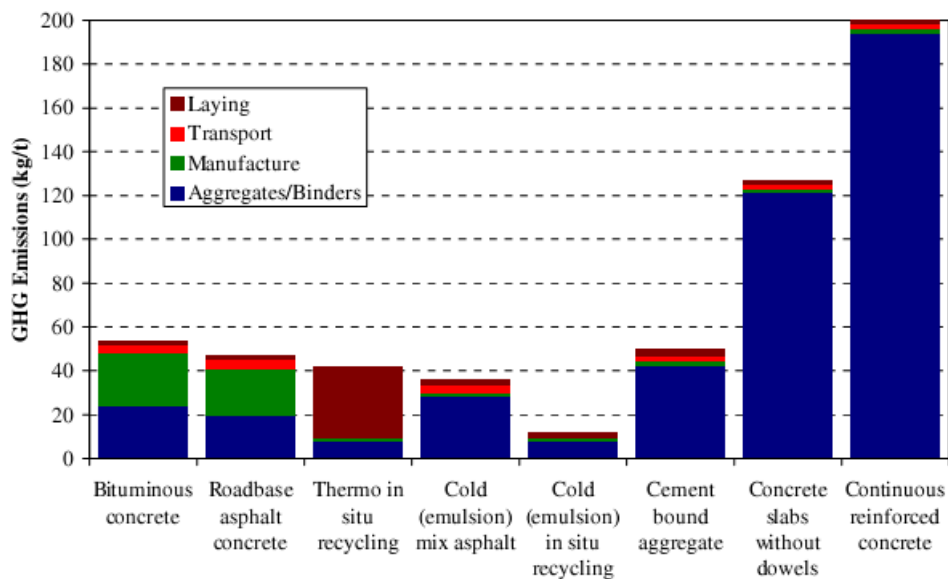
Kata Kunci: Efisiensi, ,bahan ikat, daur ulang bahan jalan, keunggulan, ramah lingkungan.

1. PENDAHULUAN

Konferensi Perserikatan Bangsa Bangsa mengenai Pembangunan dan Lingkungan yang diselenggarakan di Rio de Janeiro (Brazil), Juni 2002 yang dihadiri 178 negara, telah menghasilkan kesepakatan tentang pembangunan berkelanjutan yang dikenal dengan Agenda 21. Komitmen hasil konferensi tersebut memberi arahan bagaimana negara dapat berkerja secara kolektif untuk mereduksi penggunaan sumber daya alam yang terbatas, efisien dalam penggunaan bahan bakar, meminimalkan material buangan (*waste material*) dan perlindungan terhadap lingkungan. Konsekwensinya adalah bahwa dengan kebijaksanaan ini telah meningkatkan tekanan di industri di seluruh dunia, termasuk industri konstruksi jalan untuk menciptakan desain, solusi tentang produk yang berkelanjutan dan rendah dalam biaya perawatan.

Harapan tentang kepedulian terhadap issue lingkungan ini juga telah di sampaikan oleh Menteri Pekerjaan Umum, 2006 tentang penghematan bahan untuk konstruksi bahan jalan, di Malang. Bahwa pembangunan infrastruktur secara umum dapat menyebabkan eksploitasi sumberdaya alam yang luar biasa. Meskipun industri konstruksi adalah salah satu motor penggerak kegiatan ekonomi, tetapi industri ini juga sekaligus merupakan konsumen sumberdaya alam tak terbaharukan yang sangat rakus. Maka dibutuhkan inovasi untuk mengurangi material, mendorong penggunaan kembali material, mendaur ulang material dan mengurangi buangan material. Penggunaan material setempat juga harus didayagunakan dengan teknik stabilisasi yang ramah lingkungan.

Dengan teknik stabilisasi, material tempatan (*eksisting*) jalan yang telah terdeformasi secara struktural yang pada dasarnya merupakan jenis material yang cukup baik (*reasonable quality roadbase*), diberdayakan kembali untuk dijadikan bahan jalan yang baik (Widiyanto, Loadman 2005) dengan demikian dapat mengkonservasi batuan *aggregate*, mengeliminasi problem material buangan (*disposal material*), mereduksi lintasan transportasi material, dan menghemat konsumsi bahan bakar emisi gas rumah kaca (Cappat and Bilal, 2004). Pernyataan ini sebagaimana di ilustrasikan pada **gambar 1**, sebagai berikut:



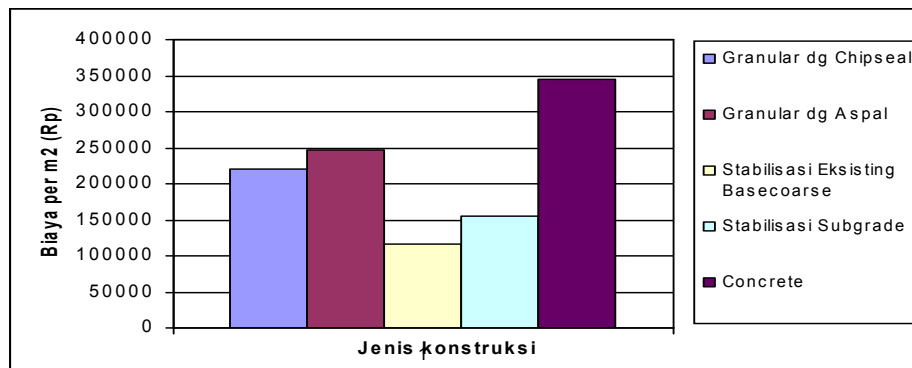
Gambar 1. Emisi gas buang rumah kaca yang ditimbulkan pada berbagai konstruksi jalan (after Chappat et al, 2004)

2. TEKNOLOGI DAUR ULANG PERKERASAN

Pembangunan jalan baru dan ataupun rehabilitasi jalan pada umumnya perkerasannya dibangun secara konvensional dengan menggunakan bahan batuan dengan kualitas tertentu dari quarry. Material tersebut adalah termasuk material yang tidak dapat diperbaharui (*non renewable resource*), sehingga penggunaan secara terus menerus akan menghabiskan sumber batuan tersebut. Oleh karena itu, konservasi sumber batuan adalah menjadi satu bahan pertimbangan bagi engineer jalan untuk merencanakan/ mendesain perkerasan jalan. Sehubungan dengan hal ini, maka teknologi daur ulang adalah proses ideal untuk menjaga konservasi sumber daya alam batuan, dan penghematan bahan bakar (Wilmot T, 2006).

Dibeberapa wilayah di Indonesia, dimana sumber batuan diperoleh jauh dari lokasi jalan yang dibangun, pembangunan jalan memerlukan biaya yang tinggi. Dengan teknik stabilisasi yang bisa memanfaatkan material tempatan, bisa mereduksi biaya hingga berkisar antara 30 – 50%. **Gambar 2** mengilustrasikan besaran biaya yang dibutuhkan pada 5 model perkerasan untuk meningkatkan kinerja perkerasan untuk mencapai nilai konstruksi untuk melayani desain trafik sebesar 4,5 juta Esa's, study kasus di Duri, Riau (Widiyanto, Loadsman, 2005).

Dari gambar 1 dan gambar 2, memberi gambaran bahwa teknologi stabilisasi dengan menggunakan material tempatan (*insitu stabilisation*) akan dapat mengkonservasi sumber daya alam, menghemat biaya konstruksi dan pada akhirnya proses ini akan menjadi penyangga pembangunan yang berkelanjutan yang berwawasan green construction.



Gambar 2. Perbandingan biaya yang ditimbulkan dari berbagai jenis konstruksi

Menurut (Tom D Wilmot, 2006), stabilisasi existing perkerasan adalah proses dimana material existing perkerasan jalan atau material dimana tidak cocok sebagai bahan perkerasan jalan, ditingkatkan nilai propertiesnya sehingga dapat di gunakan sebagai bagian dari perkerasan jalan. Prosesnya adalah dengan cara menambah bahan pengikat (*binder*) dengan presentase tertentu pada existing material, mencampur, memadatkan dan membentuk kembali. Perbaikan sifat teknisnya (*index properties*) akan tampak pada:

- Peningkatan kekuatan
- Perbaikan sifat sementasi
- Perbaikan gradasi material
- Meningkatkan ketahanan material (*durabilitas*), dan
- Memperbaiki sifat kedap air (*waterproofing*).

3. PROSES STABILISASI

Dalam teknik stabilisasi, proses pengadukan dapat dilakukan ditempat (*in-place*) atau di lokasi mesin pencampuran (*in-plant*); (Widiyanto, 2005). Di beberapa literatur telah banyak di bahas mengenai methodologi stabilisasi, namun di sini akan di uraikan proses dari stabilisasi secara *inplace* berdasarkan *Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung Di Tempat dengan Bahan Serbuk Pengikat* (2010), sebagai berikut:

Section jalan yang akan di stabilisasi lebih dahulu di siapkan untuk mendapatkan design cross section yang di tentukan, kemudian bahan pengikat yang berbentuk serbuk ditebar dengan hati-hati pada permukaan jalan. Proses ini di kerjakan dengan peralatan khusus (*binder spreader*) yang mampu menebar dengan akurasi 10% dari design rate. Jenis binder yang di tebar dengan alat ini bisa semen, kapur (*quicklime*) ataupun berbagai jenis serbuk polymer. Setelah mencapai design rate, bahan pengikat di campur dengan bahan perkerasan jalan menggunakan mesin pencampur (*stabiliser/ reclaimers*). Mesin ini di desain mampu mengaduk kedua bahan campuran secara homogen sampai kedalaman 500mm. Untuk pekerjaan jalan, biasanya di batasi sampai kedalaman maximum 350mm, agar di dapat nilai kepadatan yang baik/ merata pada material terstabilisasi.

Selama proses pencampuran, air di tambahkan untuk mencapai kadar air yang di tentukan (*optimum*) untuk dapat mencapai nilai kepadatan maximum. Idealnya, untuk mereduksi retak refleksi, aplikasi kadar air dibatasi pada 0 – 2% dibawah kadar air optimum (OMC) pada saat pemadatan berlangsung. Sesegera pemadatan dilakukan mengikuti proses pencampuran. Permukaan perkerasan kemudian di *shaping/* di grade untuk mencapai desain cross section. Perkerasan siap untuk di tambah dengan lapis permukaan (*wearing course*), atau di biarkan sebagai perkerasan tanpa lapis permukaan (*unsealed roadway*). Proses dengan menggunakan foamed bitumen sebagai bahan binder dilakukan sebagaimana di terangkan di atas, kecuali dengan menggunakan busa bitumen panas pada mesin pencampur.

Alur dari proses stabilisasi dapat di lihat pada **gambar 3**. Proses ini membutuhkan keahlian khusus dan persiapan yang matang sebelum konstruksi berlangsung. Jumlah binder yang di butuhkan pada umumnya berkisar antara 2 s/d 5% dari berat kering material. Penggunaan bahan ikat (semen) melebihi jumlah tersebut akan menaikkan kekuatan, namun hidrasi yang ditimbulkan semasa proses reaksi akan mengakibatkan keretakan pada lapis terstabilisasi yang akan menurunkan kinerja perkerasan.

4. ANASISIS DESAIN DAN TESTING

Aspek Desain

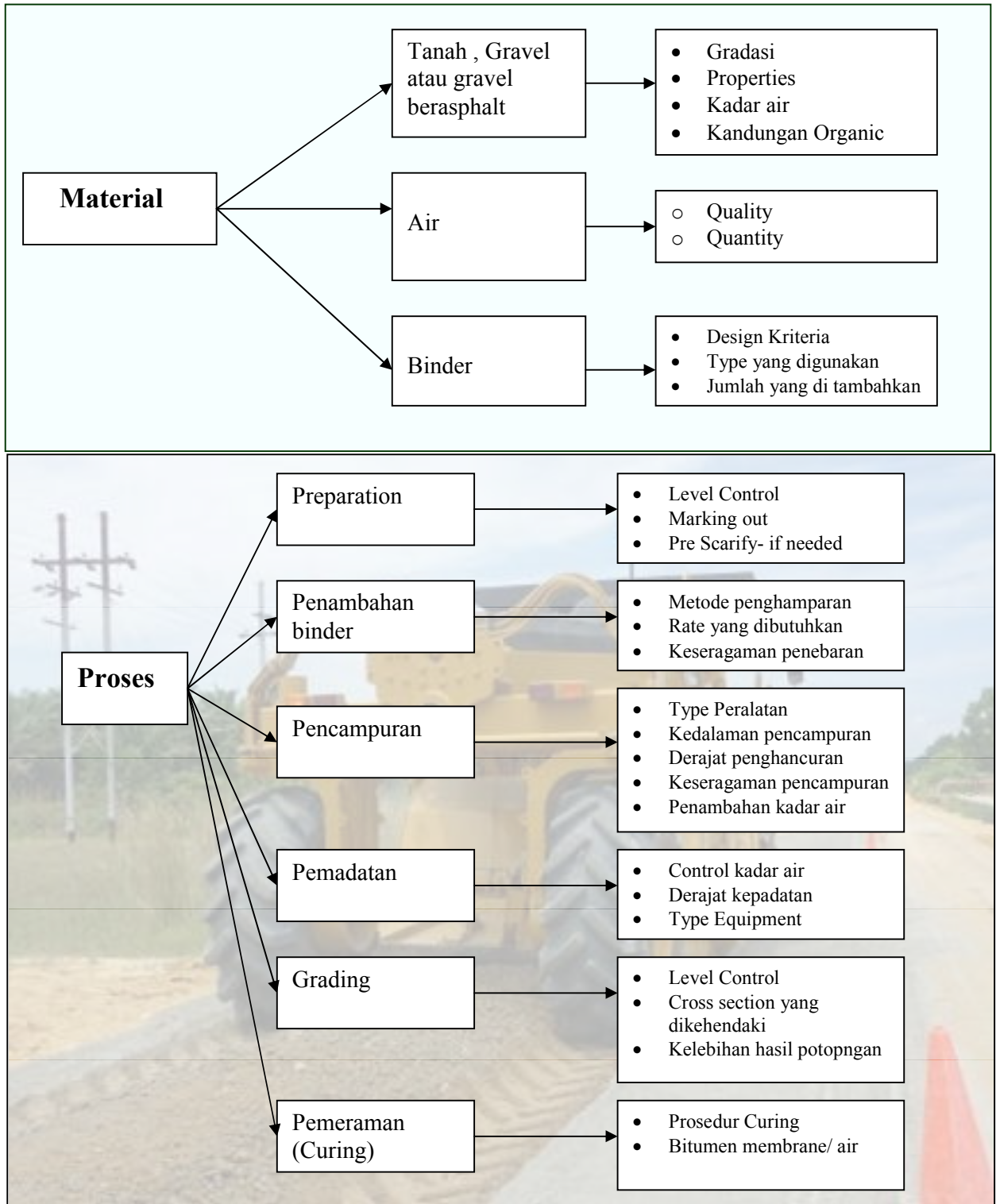
Ada 2 (dua) aspek penting yang menentukan keberhasilan stabilisasi perkerasan jalan, yaitu:

- Mix design dari material perkerasan jalan; dan
- Struktural design dari perkerasan jalan yang mana material perkerasan jalan tersebut akan di stabilisasi.

Kedua aspek tersebut di atas saling berhubungan, sebagaimana kinerja perkerasan jalan konvensional adalah tergantung dari ketebalan dan komposisi dari material perkerasan jalan yang digunakan. Pada perkerasan jalan terstabilisasi, proses struktural desain juga tergantung dari karakteristik material perkerasan jalan terstabilisasi.

Material mix desain

Aspek rencana pencampuran material yang akan distabilisasi memerlukan investigasi awal pada existing perkerasan. Dan juga pengetahuan dari material yang akan distabilisasi dan mempertimbangkan ketersediaan bahan pengikat (*stabilizing agent*).



Gambar 3. Overview Proses Stabilisasi

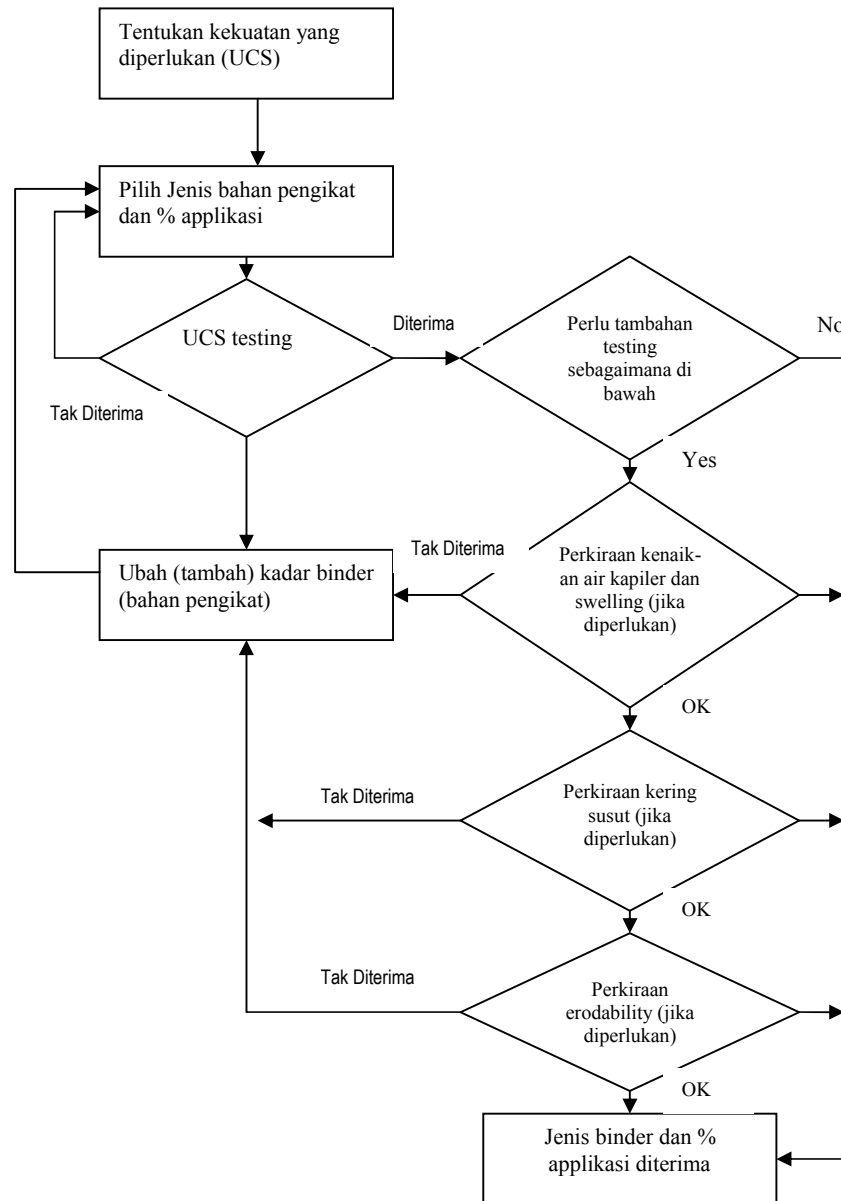
Perencanaan campuran (*mix design*) ini berguna untuk mengetahui karakteristik material perkerasan terstabilisasi, yaitu:

- ⇒ Kekuatan (compressive and shear)
- ⇒ Ketahanan (durability)
- ⇒ Kembang susut (shrinkage sharakteristic)
- ⇒ Masa pengikatan (setting time and curing characteristic)
- ⇒ Ketahanan terhadap perubahan kadar air
- ⇒ Kekakuan (stiffness)
- ⇒ Fatigue performance

Pemilihan bahan pengikat yang tepat menjadi hal yang sangat menentukan untuk mendapatkan karakteristik tersebut. Table 1 dan gambar 4 berikut ini, memberikan petunjuk awal bagi para engineer didalam memilih bahan pengikat untuk penyelidikan laboratorium. Berdasarkan *Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung Di Tempat dengan Bahan Serbuk Pengikat* (2010), pemilihan bahan pengikat, sebagai berikut:

Indeks Plastisitas (PI)	Lebih besar 25% lolos 0,075 mm			Lebih kecil 25% lolos 0,075 mm		
	PI≤10	10<PI<20	PI≥20	PI≤6 PI x % lolos #75µm≤60	PI≤10	PI>10
Jenis bahan stabilisasi						
Semen dan campuran bahan bersifat semen						
Kapur						
Polimer						
Keterangan:						
<div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: black; margin-right: 5px;"></div> : dianjurkan </div> <div style="display: flex; align-items: center; margin-bottom: 5px;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: #cccccc; margin-right: 5px;"></div> : dipertimbangkan </div> <div style="display: flex; align-items: center;"> <div style="width: 15px; height: 15px; background-color: white; border: 1px solid black; margin-right: 5px;"></div> : tidak dianjurkan </div>						

Tabel 1. Pedoman awal untuk pemilihan bahan pengikat untuk stabilisasi



Gambar 4. Flowchart yang memperlihatkan berbagai macam testing yang di kehendaki untuk menentukan jenis dan presentase bahan pengikat.

Struktural Desain

Stabilisasi material tidak dapat di rencanakan tanpa pertimbangan dari komposisi dan struktural desain dimana keduanya akan saling ketergantungan. Kinerja dari perkerasan jalan yang termasuk di dalamnya lapis perkerasan terstabilisasi akan tergantung dari beberapa faktor:

- Kekuatan tanah dasar
- Tabal dan kekakuan dari lapis terstabilisasi dan lapis perkerasan yang lainnya (termasuk lapis aus- wearing surface)
- Desain trafik; dan
- Kondisi lingkungan- temperatur, kelembaban dan kondisi sistem drainase.

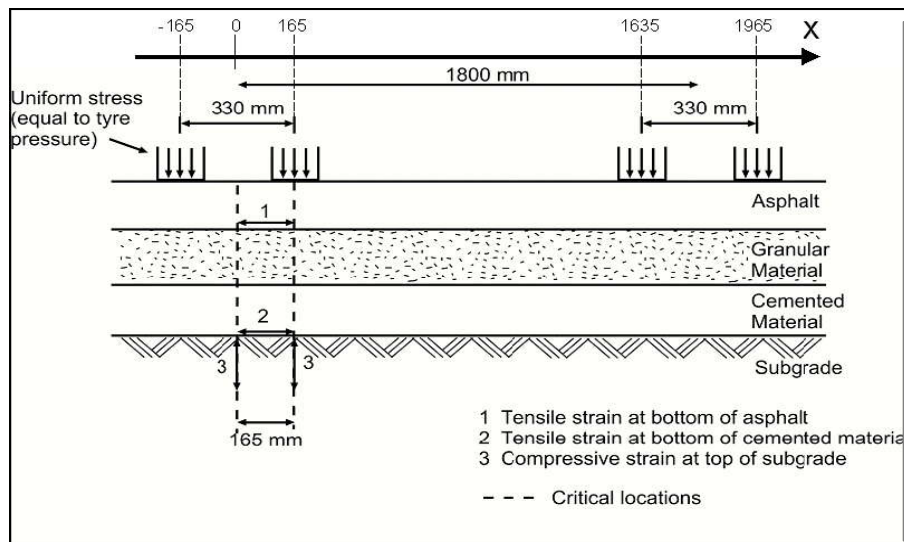
Struktural desain dari perkerasan lapis terstabilisasi (*unbound material*) direncanakan dengan prosedur perkerasan lentur (*flexible pavement*). Persamaan dasar perkerasan lentur berdasarkan metode empiris (AASHTO 1993): adalah sebagai berikut ;

$$\log_{10} W_{18} = Z_R S_o + 9,36 \log_{10} (SN + 1) - 0,2 + \frac{\log_{10} \left[\frac{\Delta PSI}{4,2 - 1,5} \right]}{0,4 + \frac{1094}{(SN + 1)^{5,19}}} + 2,32 \times \log_{10} M_R - 8,07$$

- W_{18} = Jumlah beban ekuivalen (ESAL).
- Z_R = Standar deviasi normal.
- S_o = Standar gabungan kesalahan dari lalu-lintas dan perkiraan performance.
- ΔPSI = Perbedaan antara desain awal kemampu-layanan untuk p_o dan desain terminal serviceability index.
- M_R = Resilient modulus tanah dasar (psi).
- SN = Structural Number

Berdasarkan *A guide to the structural design of road pavements- Austroads 2004*, yang menggunakan metode mekanistik mengubah secara total asumsi- asumsi yang digunakan pada metode empiris, yaitu yang semula mengandalkan “full scale test”, menjadi metode yang mengembangkan kaidah- kaidah teoritis dan karakteristik material perkerasan, dilengkapi dengan perhitungan secara eksak terhadap respon struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan. Jadi, pada metode mekanistik, karakteristik dari setiap lapisan perkerasan tidak lagi dinyatakan oleh *layer coefficient* melainkan oleh suatu besaran “intrinsik” material yang dinamakan *stiffness modulus* untuk lapis beraspal, *flexural modulus* untuk lapis cemented- stabilisasi dan *resilient modulus* untuk lapis agregat maupun lapis tanah dasar.

Austroads menguraikan perencanaan perkerasan didasarkan pada analisa structural dari multi layer sistim pada beban traffic standard. Letak posisi tegangan kritis dalam permodelan perkerasan dan kondisi beban traffic, sebagaimana terlihat pada Gambar 5 berikut:



Gambar 5, Permodelan perkerasan untuk analisa secara mekanistik (after Austroad-2004)

Analisis Variasi Pembebanan

Variasi berbagai pembebanan akan berakibat pada perilaku fatigue dan rutting, deformasi permanent. Untuk menganalisis pengaruh variasi pembebanan terhadap perilaku fatigue pada lapis aspal, dilakukan perbandingan antar variasi berdasarkan jumlah repetisi beban kriteria fatigue, seperti terlihat pada persamaan 1.

$$N_f = \left(\frac{6918 \times (0.856 \times V_B + 1.08)}{S_{mix}^{0.36} \times \mu_\epsilon} \right)^5 \dots\dots\dots (1)$$

Dimana:

- N_f = Jumlah repetisi beban yang diijinkan criteria fatigue untuk lapis aspal
- V_B = Kadar aspal dalam campuran, dinyatakan sebagai prosen volume
- S_{mix} = Stiffness modulus campuran, MPa
- μ_ε = Regangan tarik (*tensile strain*) horizontal maximum pada permukaan bawah lapis aspal, Microstrain

Hubungan perilaku fatigue pada lapis *cemented material*, ditentukan dengan persamaan 2 berikut di bawah ini.

$$N_c = \left(\frac{(113000/E^{0.804} + 191)}{\mu_\epsilon} \right)^{12} \dots\dots\dots (2)$$

Dimana:

- N_f = Jumlah repetisi beban yang diijinkan criteria fatigue untuk lapis *cemented*
- E = Modulus lapis *cemented material*, Mpa
- μ_ε = Regangan tekan (*vertical strain*) vertikal maximum pada permukaan bawah lapis aspal, Microstrain

Adapun terhadap perilaku rutting, deformasi permanen, dihitung dengan menggunakan persamaan 3, sebagai berikut:

$$N_p = \left(\frac{9300}{\mu_\epsilon} \right)^7 \dots\dots\dots (3)$$

Dimana:

- N_p = Jumlah repetisi beban terkait kriteria *permanent deformation*
- μ_ε = Regangan tekan vertical maximum pada permukaan atas lapis subgrade, microstrain

Analisis Lapis Terstabilisasi pada Metoda Mekanistik Empiris

Seiring dengan perkembangan analisis struktur yang berbasis komputer, tegangan dan regangan yang terjadi pada struktur perkerasan dapat didekati dengan melibatkan kondisi anisotropik, kondisi interface yang tidak kasar dan variasi tipe pembebanan. Analisis terhadap kondisi elastis setiap lapis perkerasan, sensitifitas terhadap perubahan beban dan perubahan sifat material dapat dihitung dengan lebih cermat. Salah satu program komputer yang dapat digunakan adalah CIRCLY yang dapat menganalisis multi layer sistem perkerasan. Seperti tercantum pada tabel 2, 3 dan 4, tiga macam tebal perkerasan standar telah dianalisa untuk merespon beban (Rahmat, 2007 dan Widiyanto, 2008).

a) Sifat material setiap lapisan

Lapisan	Modulus Elastisitas		Poisson Ratio
	MPa	Psi	
Asphalt	600	87000	0.35
Aggregate Base	350	50750	0.40
Subgrade	50	7500	0.45

Tabel 2. Sifat material perkerasan standar

b) Tebal Lapisan

Jenis Perkerasan	Tebal Lapis Perkerasan (mm)		Traffic Design (ESA's)
	Asphalt	Aggregate Base	
A. Perkerasan Tipis	50	150	1.95×10^4
B. Perkerasan Manengah	100	200	7.25×10^5
C. Perkerasan Tebal	200	200	1.98×10^6

Tabel 3. Tebal perkerasan standard an nilai structural masing-masing jenis perkerasan

c) Kondisi Pembebanan

Beban Roda = 9000 lbs (40 kN)

Tekanan Ban = 108750 Psi (750 kPa)

d) Jumlah beban = 1

Dalam menganalisis respons utama dari program CIRCLY, diperoleh:

- Lendutan pada permukaan perkerasan
- Tegangan tarik horisontal pada dasar lapis aspal
- Tegangan tekan vertikal pada bagian atas lapis tanah dasar (*subgrade*)

Untuk mendemonstrasikan sensitivitas analisis terhadap perubahan beban dan sifat (*properti*) material yang digunakan dibandingkan dengan perkerasan standar, maka dibuat variasi pembebanan, perubahan kekuatan tanah dasar, peningkatan dan penurunan struktural (*modulus*) perkerasan, sebagai berikut:

- Beban roda ditingkatkan (tekanan ban) tinggi, ditingkatkan dari 108750 Psi (750 kPa) menjadi 217500 Psi (1500 kPa). Hal ini untuk mengilustrasikan respon perkerasan yang berbeda dari tekanan ban truk standard ke beban yang ekstrim atau overload.
- Lapis perkerasan (*base layer*) distabilisasi, meningkatkan modulus lapis perkerasan dari 50750 Psi (350 MPa) menjadi 435000 Psi (3000 MPa). Hal ini

untuk mengilustrasikan pengaruh terhadap perbaikan kekuatan struktural lapis perkerasan.

- Subgrade distabilisasi, meningkatkan modulus subgrade dari 7500 Psi (52 MPa) menjadi 87000 Psi (600 MPa) sedalam 300mm. Hal ini untuk mengetahui pengaruh perbaikan lapis tanah dasar (*subgrade*).
- Lapis aggregate (*base layer*) diganti dengan aspal, meningkatkan modulus base dari 50750 Psi (350 MPa) menjadi 406000 (2800 MPa). Hal ini untuk meningkatkan kapasitas struktural perkerasan.

Dari simulasi input tersebut di atas, maka prosentase perubahan respon pada perkerasan, dapat di lihat, sebagaimana pada **tabel 4**, berikut:

	Jenis Perkerasan	Persen respon perubahan dari Perkerasab Standar		
		Lendutan Permukaan	Tegangan Tarik pada lapisAspal	Tegangan Tekan pada Subgrade
Tekanan ban tinggi	A	+53	+100	+99
	B	+68	+100	+99
	C	+79	+100	+98
Base layer distabilisasi (200mm)	A	-48	-91	-98
	B	-48	-93	-74
	C	-40	-97	-67
Subgrade distabilisasi	A	-57	-71	-58
	B	-55	-60	-69
	C	-52	-35	-21
Base aggregate diganti dengan aspal	A	-45	-87	-70
	B	-47	-98	-81
	C	-39	-89	-56

Tabel 4. Perbandingan perubahan respon dari perkerasan standar

Berdasarkan perhitungan pada **tabel 4**, tersebut diperoleh pengertian, sebagai berikut:

Peningkatan tekanan kontak ban dari 108750 Psi (750 kPa) menjadi 217500 Psi (1500 kPa) akan mengakibatkan meningkatnya tegangan tarik/ tensile strain pada lapis perkerasan aspal baik pada perkerasan tipis (A), perkerasan menengah (B) maupun tebal bertambah sebesar 100% dari beban normal. Begitu juga pada tegangan tekan pada subgrade bertambah menjadi 2 kali lipat. Adapun lendutan permukaan perkerasan meningkat sebesar 53% pada perkerasan tipis, 68% pada perkerasan menengah dan 79% pada perkerasan tebal. Dari perhitungan ini terlihat bahwa bila perkerasan jalan mengalami pembebanan berlebih (*over load*), akan berakibat naiknya lendutan, tegangan tarik pada lapis bawah aspal ataupun tegangan tekan pada lapis atas subgrade.

Bila aggregate base layer (*unbound granulas base*) distabilisasi, dalam arti ditingkatkan modulusnya dari 350 MPa menjadi 3000 MPa (*Cemented bound granulas base*). Nilai 3000 MPa ini setara dengan kira- kira 4.0 MPa bila di tes dengan unconfined compressive strength (UCS). Dari analisis terlihat bahwa lendutan permukaan akan turun sebesar rata 45%, tegangan tarik pada aspal turun dengan significant sebesar 91% pada lapis tipis, 93% pada lapis menengah dan 97% pada lapis tebal. Begitu juga tegangan tekan pada subgrade, menurun secara significant.

Bila subgrade ditingkatkan dari kira- kira CBR standar 5% (55 MPa) menjadi 50% (450 MPa), maka lendutan permukaan untuk semua jenis perkerasan berkurang, tegangan tarik juga

berkurang untuk semua jenis perkerasan. Tegangan tarik pada AC juga berkurang dan juga menurunnya tegangan tekan pada lapis subgrade untuk semua jenis perkerasan, baik perkerasan tipis, menengah ataupun perkerasan tebal.

Bila lapis base aggregate yang standar diganti dengan lapis aspal treated base (ATB), yang berarti konstruksi merupakan full depth asphalt, diperoleh bahwa lendutan untuk semua jenis perkerasan menurun secara signifikan dengan rata-rata penurunan sebesar 43% tegangan tarik yang terjadi pada lapis AC juga menurun secara signifikan sebesar 87% pada perkerasan tipis, 98% pada perkerasan sedang dan 89% pada perkerasan tebal. Begitu juga tegangan tekan pada subgrade, menurun sebesar 70% pada perkerasan tipis, 81% pada perkerasan sedang dan 56% pada perkerasan tebal.

Hasil analisis tersebut di atas menunjukkan bahwa full depth asphalt, menambah kekakuan pada lapis subgrade dan atau lapis base layer dengan stabilisasi adalah merupakan konstruksi yang paling baik dari segi struktural. Dari beberapa kajian, konstruksi dengan stabilisasi akan lebih ekonomis dan lebih mampu mengkonservasi sumber daya alam dibandingkan dengan full depth asphalt.

Analisis Keruntuhan pada Perkerasan Terstabilisasi

Salah satu bagian terpenting dari proses desain perkerasan adalah bagian empiris yaitu rumus yang digunakan untuk menghitung jumlah ulangan beban sampai struktur jalan mencapai keruntuhan (Sugeng, 2007). Hal ini didapat dengan mengamati kinerja perkerasan yang berkaitan dengan berlanjutnya keruntuhan pada awal regangan akibat berbagai macam pembebanan. Dikenal dengan dua kriteria keruntuhan, yaitu yang berkaitan dengan kelelahan (*fatigue*) pada asphalt- biasanya berkaitan dengan keretakan yang terjadi, lapisan terstabilisasi pada depresi. Kriteria yang lain adalah terjadinya alur/ rutting pada subgrade. Dikembangkan pula kriteria keruntuhan berdasarkan besaran lendutan, yang hal ini digunakan pada keadaan khusus.

Pada **tabel 5** di bawah ini di sajikan kriteria keruntuhan perkerasan dalam jumlah lintasan dari berbagai variable beban dan variable kekakuan lapis perkerasan untuk mengetahui jenis keruntuhan (*failure*), apa berupa *fatigue* atau *rutting*. Dengan output pada tabel tersebut, sekaligus dapat diketahui pula keruntuhan pada lapis mana yang terlebih dulu terjadi, apakah pada lapis aspalnya, base layer-nya ataukah pada subgrade-nya (Widiyanto,2008).

Jenis Perkerasan	Jumlah lintasan sampai terjadi keruntuhan						
	Kriteria	Beban standar	Beban ban tinggi	Stabilisasi base layer (200mm)	Stabilisasi base layer (300mm)	Stabilisasi subgrade	Aggregate Base diganti aspal
Perkerasan tipis	Fatigue-Aspal	3.00E+05	9.35E+03	1.00E+37	1.00E+37	1.35E+08	1.00E+37
	Fatigue-Base	n/a	n/a	4.48E+03	4.39E+06	n/a	7.04E+06
	Rutting- Subgrade	1.95E+04	1.50E+02	9.90E+08	4.15E+10	8.55E+06	1.02E+08
Perkerasan menengah	Fatigue-Aspal	7.25E+05	9.80E+03	1.00E+37	1.00E+37	1.68E+07	1.00E+37
	Fatigue-Base	n/a	n/a	4.17E+04	1.32E+07	n/a	9.17E+07
	Rutting- Subgrade	3.50E+06	2.23E+03	3.19E+09	9.80E+10	6.25E+07	3.55E+09
Perkerasan tebal	Fatigue-Aspal	1.98E+06	6.17E+04	1.00E+37	1.00E+37	3.29E+07	1.00E+37
	Fatigue-Base	n/a	n/a	2.18E+06	2.92E+08	n/a	4.88E+08
	Rutting- Subgrade	1.22E+07	9.52E+04	2.64E+10	4.90E+11	1.01E+08	2.90E+10

Tabel 5. Kriteria keruntuhan dan ketahanan per-layer perkerasan

Dari summary perhitungan di **tabel 5**, diperoleh pengertian bahwa:

- Pada perkerasan jalan yang dilewati lalu lintas dengan beban standar, pada perkerasan tipis keruntuhan terjadi lebih dahulu pada subgrade yaitu runtuh pada lintasan 19.500 kendaraan kemudian diikuti keruntuhan pada lapisan aspalnya dengan 300.000 lintasan. Sebaliknya, pada perkerasan menengah dan perkerasan tebal keruntuhan terjadi lebih dahulu pada lapisan aspal, baru disusul keruntuhan pada lapisan subgradenya. Pada perkerasan menengah aspal runtuh pada 72500 lintasan, kemudian subgrade runtuh pada 3.50 juta lintasan. Perkerasan tebal dengan aspal runtuh pada 1.98 juta lintasan dan subgradenya pada 12.20 juta lintasan kendaraan.
- Pada perkerasan yang dibebani lalu lintas berat, untuk perkerasan tipis dimulai pada lapisan subgrade yaitu runtuh pada lintasan 150 kendaraan dan kemudian diikuti dengan keruntuhan pada lapis aspal ketika lintasan kendaraan mencapai 9350. Begitu juga pada perkerasan menengah, subgrade mulai runtuh pada 2230 lintasan kendaraan dan aspalnya pada lintasan 9800 kendaraan. Pada perkerasan tebal, keruntuhan terjadi pada lapis aspal, yaitu pada 61700 lintasan dan diikuti pada lapisan subgrade pada lintasan 95000 kendaraan.
- Bila perkerasan pada lapis dasarnya yang semula *aggregat base biasa (unbound granular base)* distabilisasi –*cemented material (bound granular base)* dengan ketebalan 200mm, maka lapisan base (*cemented*) akan runtuh terlebih dahulu. Pada perkerasan tipis runtuh pada 4480 lintasan kendaraan, perkerasan menengah runtuh pada 41700 lintasan kendaraan dan perkerasan tebal runtuh pada lintasan 2.18 juta kendaraan.
- Bila stabilisasi pada base layernya dinaikkan menjadi 300mm ketebalannya, maka ketahanan perkerasan meningkat signifikan. Keruntuhan tetap terjadi lebih dahulu pada lapisan base (*cemented*), diikuti pada lapisan subgrade dan kemudian aspalnya. Pada perkerasan tipis ke tebal lapisan *cemented* akan runtuh pada lintasan kendaraan, berturut-turut pada 4.39 juta, 13.20 juta dan 292.0 juta. Konstruksi ini setara dibanding dengan jenis konstruksi *aggregate base* diganti dengan aspal (*full depth asphalt*). Output ini juga memberi pengertian bahwa tebal konstruksi terstabilisasi (*cemented layer*) sangat sensitif terhadap masa pelayanan jalan.
- Bila perkerasan ditingkatkan kekuatan subgradenya (subgrade distabilisasi), untuk perkerasan tipis dan menengah keruntuhan dimulai pada subgradenya, lalu diikuti pada lapisan aspalnya. Sedangkan pada perkerasan tebal keruntuhan dimulai pada lapis aspal dan baru kemudian diikuti keruntuhan pada lapis subgradenya.

5. FAKTOR YANG PERLU DIPERHATIKAN PADA STABILISASI PERKERASAN JALAN

Disamping serangkaian keberhasilan/ kehandalan mengenai kinerja perkerasan terstabilisasi dan keuntungan lingkungan dari penggunaan kembali bahan jalan yang ada, efek hidrasi bahan pengikat (perilaku *viscohydraulic*- semen) perlu diperhatikan. Penggunaan semen yang berlebihan meski meningkatkan kekuatan lapis terstabilisasi, namun bisa menurunkan kinerja perkerasan dikarenakan terjadinya retak (*pavement cracking*) perkerasan terstabilisasi.

Keretakan pada lapis terstabilisasi, terjadi karena berbagai sebab (PCA, 2003). Beberapa jenis keretakan mengindikasikan bahwa terjadi *failure* pada perkerasan jalan, seperti *fatigue cracking*, *thermal cracking* dan keretakan yang disebabkan oleh keruntuhan pada lapis pondasi. Jenis keretakan yang lain seperti *reflective cracking* pada stabilisasi perkerasan jalan dengan semen adalah merupakan retak alamiah atau merupakan *cosmestic* didalam perkerasan terstabilisasi. Retak ini masih bisa melayani beban lalu lintas dalam beberapa tahun dengan tanpa perawatan.

Keretakan yang lebar (>4mm), lebih disebabkan karena kehilangan kadar air yang berlebih, susut (*shrinkage*) daripada hidrasi dan ataupun perubahan temperatur. Keretakan yang lebar ini disebabkan beberapa faktor, antara lain:

- ✚ Pematatan perkerasan terstabilisasi dilakukan pada kadar air yang tinggi (di atas *optimum moisture content* -OMC)
- ✚ Bahan jalan yang distabilisasi dari tanah (soil cement) yang mengandung kadar lempung yang tinggi.
- ✚ Kehilangan kadar air dengan segera
- ✚ Gagal untuk mencapai derajat kepadatan yang ditentukan
- ✚ Terlalu banyak dalam pemakaian bahan pengikat (terutama semen). Hidrasi yang ditimbulkan selama reaksi, menyerap konsumsi air, sehingga meningkatkan kembang susut (*shrinkage*). Disamping itu jumlah semen yang terlalu banyak, menjadikan perkerasan terstabilisasi menjadi kaku (rigid) dan over strength. kelebihan kekakuan dan kekuatan inilah yang menimbulkan regangan berlebih, sehingga menyebabkan keretakan.

Penggunaan jenis bahan pengikat yang mengarah ke perilaku perkerasan yang *viscoelastic* (*bitumen, fly ash, GGBS*) atau semen modifikasi dapat mereduksi keretakan perkerasan terstabilisasi (Widiyatmoko I, Sunarjono, S, 2007)

6. KESIMPULAN

Teknologi stabilisasi merupakan salah satu hasil rekayasa engineering untuk peningkatan daya dukung jalan yang ekonomis dan berwawasan lingkungan. Efisiensi teknologi ini terutama pada kemampuannya untuk meningkatkan sifat teknis material dengan penggunaan kembali material perkerasan lama.

Dengan adanya metode perhitungan perkerasan secara mekanistik, kita dapat menganalisis suatu struktur perkerasan yang berkaitan dengan kinerjanya. Juga dapat menghitung berbagai variasi input dalam desain serta menghitung keruntuhan di setiap layer perkerasan dengan tepat.

Struktural jalan akan mempunyai layanan yang lebih panjang bila dilakukan penambahan kekakuan (*modulus*) pada setiap lapisannya. Stabilisasi dengan memperkuat lapisan subgrade dan ataupun pada lapisan base layer merupakan salah satu alternative untuk menambah kekakuan dan memperpanjang layanan perkerasan yang ekonomis dibandingkan metode metode konvensional (*overlay*).

Beberapa hal perlu diperhatikan untuk mengurangi resiko keretakan pada lapis perkerasan terstabilisasi, baik dalam pemilihan bahan pengikat, aplikasi kadar air dan ataupun proses pelaksanaan stabilisasi perkerasan. Begitu juga mengenai penyelidikan awal (*site investigation*), desain campuran dan desain struktural perkerasan.

Pemilihan bahan ikat (*binder*) yang tepat dapat mengurangi resiko keretakan pada perkerasan terstabilisasi. Perlu diperhatikan bahwa tidak semua jenis bahan perkerasan dapat diperbaiki sifat materialnya (*material properties*) dengan teknik stabilisasi. Perkerasan yang mempunyai masalah „lemah“ pada masing2 lapisan, seperti kekuatan rendah pada lapis *subgrade*, lapis di bawah pondasi bermasalah (*geotechnical problem*), granular terkontaminasi bahan yang merugikan, lapis aspal yang „lemah“ yang mudah terjadinya deformasi permanen, kemungkinan tidak cocok untuk diperbaiki dengan sistim stabilisasi (daur ulang).

Para engineer jalan harus mulai mempertimbangkan metode peningkatan dan atau rehabilitasi jalan yang handal. Pertimbangan tersebut mulai dari perencanaan dan kebutuhan biaya langsung yang ditimbulkannya. Disamping itu biaya lingkungan akibat dari dampak pembangunan harus menjadi bahan pertimbangan pula. Beberapa faktor yang lain yang menjadi pertimbangan dalam mendesain perkerasan dan ataupun merehabilitasi perkerasan jalan adalah seperti kerusakan akses jalan yang dilewati sebagai akibat pengangkutan bahan jalan, konservasi sumberdaya alam, konsumsi energi sebagai akibat pembangunan jalan dan emisi gas buang sehingga dengan teknik stabilisasi (daur ulang) mereduksi hal tersebut dan dapat menunjang program pemerintah dalam pembangunan yang berwawasan lingkungan seiring dengan konsep *green construction*.

7. REFERENSI

Chappat, M. and Bilal, J. (2004). "*Ecological Pavement Life Cycle Analysis of Standard Pavement Structures*", 3rd Euroasphalt and Eurobitumen Congress. Vienna 2004. Paper 221.

Arif Widiyanto, Terence C Loadsman (2005), *Penerapan Teknologi Stabilisasi Sebagai Upaya Effisiensi dalam Rehabilitasi dan Peningkatan Jalan di Indonesia*, Proceeding Simposium Nasional IV Rekayasa Aplikasi dan Perancangan Industri, Fakultas Teknik UMS, Surakarta. -ISSN 1412-9612-

Djoko Kirmanto, Syahdanulirwan (2006), Sambutan Menteri Pekerjaan Umum Seminar Nasional-Peranan Teknik Sipil dalam Pembangunan Nasional, FT Sipil UMM.

Tom D Wilmot (2006) *The Importance of Stabilisation Techniques for Pavement Construction*, 22nd ARRB Conference- Research into Practice, Canberra, Australia

Arif Widiyanto (2007), *Inovasi Penanganan Jalan Bermasalah dengan Memahami Perilaku Perkerasan dan Mekanisme Kerusakannya*, Proceeding Simposium Nasional VI Rekayasa Aplikasi dan Perancangan Industri, Fakultas Teknik UMS, Surakarta.

Arif Widiyanto (2008), *Peningkatan Struktur Jalan Dengan Metode Daur Ulang Untuk Mendukung Pembangunan Berkelanjutan*, Proceeding Konferensi Regional Teknik Jalan 10, Surabaya

Arif Widiyanto, Tom D Wilmot (2009), *Recent Developments in Binder Technology for Road Pavement Rehabilitation Using Insitu Ttabilisation*, Proceeding One Day Road Stabilisation Conference, Center of road research and development (Pusjatan), Balitbang PU, Bandung

Austab (2002)*Model Specification for Insitu Stabilisation of Local Government Roads using Cementitious Binder including Lime – Version D*

Austrroads 2004, *Pavement Design – A Guide to The Structural Design of Road Pavements*, Austrroads, Sidney, New South Wales

Wardle, L.J (2005), *CIRCLY 5 User Manual*, Mincad Systems P/L, Richmond South, Victoria, Australia

Mukhlis (2006), *Kinerja Modulus Resilien dan Kelelahan dari Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) yang mengandung Aspal Supracoat*, Tesis Magister, Program Magister Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung.

Agus Rachmat (2007), *Memahami Sistem Engineering pada Perilaku Perkerasan yang Berkaitan dengan Mekanisme Keruntuhannya*, Makalah Teknik Jalan, National Conference HPJI, Jakarta

Departemen Pekerjaan Umum dan Puslitbang Jalan dan Jembatan Departemen Pekerjaan Umum Republik Indonesia (2010), *Pedoman Pelaksanaan Stabilisasi Bahan Jalan Langsung Di Tempat dengan Bahan Serbuk Pengikat*, – (Surat Edaran Menteri PU. No.01/SE/M/2010)

Bambang Sugeng (2007), *Peranan Rekayasa Perkerasan Jalan dalam Mendukung Terwujudnya "Sustainable Transportation"*, Proceeding Mewujudkan Teknologi Infrastruktur Jalan yang Inovatif, Pusjatan, Balitbang PU, Bandung

Portland Cement Association (PCA) (2003), *Reflective Cracking in Cement Stabilised Pavement*, Illinois, Amerika.

Iswandaru Widiyatmoko, Sri Sunarjono (2007), *Some Consideration to implement Foam Bitumen Technology for Road Construction In Indonesia*, 1st EACEF, International Conference, Jakarta.