

PENGGUNAAN FOAM BITUMEN UNTUK DAUR ULANG PERKERASAN JALAN

R. Anwar Yamin dan Djoko Widayat

Puslitbang Jalan dan Jembatan Jl. A. H. Nasution 264, Bandung

RINGKASAN

Pada struktur perkerasan yang telah mengalami kegagalan, umumnya perbaikan dilakukan adalah dengan memperbaiki bagian-bagian yang rusak dan meningkatkan daya dukung struktur perkerasan tersebut dengan jalan memberikan lapis tambah baru (overlay) atau membongkar lapisan beraspal lama yang diikuti dengan perbaikan dan penambahan lapis pondasi serta memberikan lapis beraspal baru sebagai lapis penutupnya. Semua pekerjaan tersebut memerlukan material baru dan menyebabkan perubahan elevasi muka jalan. Perbaikan dan peningkatan daya dukung struktur perkerasan jalan dengan pemanfaatan kembali (daur ulang) material yang telah digunakan pada struktur jalan existing mungkin merupakan suatu solusi yang dapat dilakukan. Banyak jenis bahan yang dapat digunakan untuk memperbaiki ataupun untuk meningkatkan mutu bahan yang akan didaur ulang, salah satu diantaranya adalah foam bitumen. Foam bitumen adalah campuran antara udara, air dan bitumen yang dicampur dengan komposisi tertentu. Foam bitumen dihasilkan dengan cara menginjeksikan air ke aspal panas di dalam foaming chamber. Foam bitumen dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi hampir untuk semua jenis material termasuk material hasil daur ulang perkerasan jalan. Penggunaan foam bitumen harus diikuti dengan penambahan filler aktif (semen/kapur) pada material yang akan didaur ulang. Banyak faktor yang mempengaruhi keberhasilan pembuatan dan keberhasilan daur ulang dengan menggunakan foam bitumen ini. Tulisan ini mencoba memberikan gambaran mengenai sifat foam bitumen, faktor-faktor yang mempengaruhi pembuatan foam bitumen, jenis bahan yang dapat didaur ulang dan kinerja laboratorium serta lapangan campuran yang distabilisasi dengan foam bitumen.

Kata Kunci : *Foam bitumen, bahan penstabilisasi, daur ulang, kinerja laboratorium, kinerja lapangan.*

SUMMARY

Restoration of pavement failure was usually done by repairing the damaged segments, by improving pavement structural capacity, by overlaid or by demolished the existing asphalted layer followed by repairing and adding a base layer and followed by overlaid a new asphaltic layer as its surfacing. All of those activities needs fresh materials and can change pavement elevation. Repairing and improving structural capacity of pavement by reused (recycling) the existing pavement materials may be a solution that could be done. A number of materials type can be used either for repairing or for improving the quality of recycling materials, one of them are foam bitumen. Foam bitumen is a mixture of bitumen, water and air in a certain proportion. Foam bitumen produced by injecting water into hot bitumen in the foaming chamber. Foam bitumen can be used as a stabilizer for all type of materials including recycling pavement materials. The use of foam bitumen should be combined with the active filler (cement or lime) in the recycling pavement materials. There were many factors affect the successful in making the recycling by used of foam bitumen. This paper tried to give a description of foam bitumen characteristics, factors affecting in making foam bitumen, the type of materials that can be recycled by foam bitumen, the laboratory and field performance of recycled pavement materials.

Key Words: *Foam bitumen, stabilizer recycling laboratory and field performance*

LATAR BELAKANG DAN TUJUAN

Pada prinsipnya struktur perkerasan jalan dimaksudkan untuk memikul beban lalu lintas yang akan melaluinya sehingga tanah dasar masih mampu memikul tegangan yang timbul akibat dari beban tersebut. Struktur perkerasan ini dapat

berupa lapisan beraspal penuh (*full depth asphalt*), atau berlapis (*multi layer*) yang terdiri dari lapisan pondasi dan pondasi atas. Kualitas material yang digunakan sangat menentukan daya dukung yang dapat dihasilkannya.

Pada struktur perkerasan berlapis, kualitas bahan dalam hal durabilitas dan daya dukung pada setiap lapisan berbeda satu

dengan yang lainnya. Bahan dengan kualitas yang paling rendah diletakkan di lapisan paling bawah sedangkan yang lebih baik di lapisan atasnya. Jadi pada dasarnya bahan yang dapat digunakan untuk lapis permukaan dapat pula digunakan pada lapis bawahnya, tetapi sebaliknya bahan yang cocok untuk lapis pondasi bawah belum tentu cocok untuk lapis pondasi atas apalagi untuk lapis permukaan.

Kinerja lapis pondasi ataupun lapis permukaan untuk menahan beban yang lalu lintas merupakan faktor penting yang menentukan jenis kegagalan yang akan terjadi pada struktur perkerasan tersebut. Deformasi permanen adalah jenis kerusakan atau kegagalan struktur perkerasan yang diakibatkan oleh jeleknya kinerja atau daya dukung lapis pondasi, tanah dasar atau kedua-duanya. Sedangkan kerusakan berupa deformasi plastis ataupun retak pada lapis beraspal adalah jenis kegagalan yang diakibatkan oleh jeleknya kinerja dari lapis beraspal tersebut.

Kegagalan yang terjadi pada struktur perkerasan ini, baik berupa deformasi permanen, deformasi plastis ataupun retak dapat diakibatkan oleh jeleknya mutu bahan yang digunakan dan pelaksanaan yang kurang baik.

Beban lalu lintas yang berlebihan akan mempercepat terjadinya kegagalan pada struktur perkerasan ini.

Pada struktur perkerasan yang telah mengalami kegagalan, perbaikan yang umumnya dilakukan adalah dengan memperbaiki bagian-bagian yang rusak dan meningkatkan daya dukung struktur perkerasan tersebut dengan jalan memberikan lapis tambah baru (*overlay*) atau membongkar lapisan beraspal lama yang diikuti dengan perbaikan dan penambahan lapis pondasi serta memberikan lapis beraspal baru sebagai lapis penutupnya.

Semua pekerjaan tersebut di atas memerlukan material baru yang kualitasnya tentu saja harus lebih baik dari kualitas material lama. Untuk daerah-daerah tertentu dimana material yang baik sulit untuk didapatkan atau yang memiliki batasan vertikal (misalnya adanya trotoar), peningkatan daya dukung struktur perkerasan dengan cara mempertebal struktur perkerasan yang ada adalah suatu hal yang kurang efisien karena harus diikuti dengan perbaikan bangunan pelengkap jalan lainnya (trotoar) dan bahkan mungkin akan menimbulkan konflik dengan masyarakat bila elevasi jalan yang

dihasilkan lebih tinggi dari elevasi lantai rumahnya. Perbaikan dan peningkatan daya dukung struktur perkerasan jalan dengan pemanfaatan kembali material yang telah digunakan pada struktur jalan existing mungkin merupakan suatu solusi yang dapat dilakukan.

Bahan penstabilisasi (*stabilizer*) telah mulai digunakan untuk konstruksi jalan sejak zaman Romawi, sekitar 2000 tahun yang lalu. Stabilisasi dilakukan dengan tujuan untuk memperbaiki sifat bahan yang digunakan dan atau untuk meningkatkan daya dukung konstruksi jalan. Pada saat itu, stabilisasi dengan metoda lime treatment dilakukan dengan tujuan untuk meningkatkan daya dukung perkerasan. Saat ini berbagai jenis stabilizer, baik yang berupa senyawa kimia seperti calcium chloride, long-chain polymers ataupun yang konvensional seperti semen, kapur dan bitumen, telah banyak digunakan selain untuk meningkatkan daya dukung perkerasan juga untuk meningkatkan durabilitas dan ketahanan (*resistance*) perkerasan terhadap pengaruh air dan lingkungan.

Foam bitumen atau sering juga disebut foam asphalt atau expanded asphalt adalah campuran antara udara, air dan bitumen yang dicampur dengan komposisi tertentu. Foam bitumen dihasilkan dengan cara menginjeksikan air ke aspal panas di dalam *foaming chamber*. *Foam bitumen* dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi hampir untuk semua jenis material termasuk bahan sub standar. Agar material yang distabilisasi memiliki workabilitas dan retained strength yang tinggi, maka penggunaan foam bitumen harus diikuti dengan penambahan filler aktif (semen/kapur) pada material yang akan distabilisasi. Walaupun menggunakan semen atau kapur, tetapi menurut Ramanujam et al. (2000) stabilisasi dengan menggunakan *foamed bitumen* akan menghasilkan lapisan yang lebih fleksibel dibandingkan dengan bila menggunakan jenis stabilizer lainnya.

Tulisan ini mencoba memberikan gambaran mengenai sifat *foam bitumen*, faktor-faktor yang mempengaruhi pembuatan *foam bitumen*, jenis bahan yang dapat distabilisasi dan kinerja laboratorium campuran yang

didaur ulang dengan *foam bitumen*.

RECYCLED BASE PAVEMENT DAN RECYCLED ASPHALT PAVEMENT

Telah dikatakan diatas bahwa *foam bitumen* dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi hampir untuk semua jenis material termasuk bahan sub standar. *Recycled Base Pavement* (RBP) adalah material sub standar yang didapat dari pembongkaran lapis pondasi jalan tanpa bahan pengikat. RBP dapat digunakan kembali sebagai bahan untuk lapis pondasi dengan kinerja yang lebih baik bila ditambahkan bahan pengikat.

Recycled Asphalt Pavement (RAP) adalah sub standar butiran campuran beraspal yang diperoleh dari hasil milling atau lapisan beraspal lama. RAP dapat digunakan kembali sebagai bahan perkerasan jalan, baik sebagai lapis pondasi ataupun sebagai lapis permukaan karena komponen dari butiran ini adalah aspal dan agregat.

Agar dapat digunakan kembali sebagai bahan perkerasan jalan dengan kinerja yang baik, sifat-sifat RBP dan RAP harus diidentifikasi terlebih dahulu sehingga usaha apa yang harus

dilakukan dan bahan pengikat apa yang cocok untuk digunakan dapat ditentukan. Penggunaan RBP maupun RAP sebagai bahan perkerasan dapat mengurangi penggunaan material baru (*fresh aggregate*) sehingga dapat menghemat biaya dan *natural resources*.

BAHAN PENSTABILISASI

Kapur, semen dan campuran kedua bahan ini dengan abu terbang, slag atau material pozolanik lainnya adalah jenis stabilizer konvensional yang umumnya digunakan pada proses stabilisasi. Fungsi utama dari bahan ini adalah untuk menaikkan kekuatan bahan yang distabilisasi, yaitu dengan menaikkan tahanan gesernya. Untuk tujuan ini, semen atau campuran semen dengan bahan pozolanik lainnya sangat efektif digunakan untuk menstabilisasi bahan yang memiliki nilai Indeks Plastis (IP) lebih kecil dari 10. Untuk bahan yang lebih bersifat plastis, proses stabilisasi akan sangat efektif bila digunakan kapur atau campuran kapur dengan bahan pozolanik lainnya. Material yang distabilisasi dengan menggunakan semen atau kapur akan bersifat semi kaku atau bahkan cenderung getas, semakin tinggi persentase

pemakaian semen atau kapur, semakin getas bahan yang dihasilkan, sehingga bahan yang distabilisasi memiliki daya tahan terhadap retak yang tidak begitu baik.

Stabilisasi dengan menggunakan aspal juga merupakan salah satu cara yang efektif baik untuk meningkatkan kekuatan ataupun ketahanan bahan yang distabilisasi terhadap air. Jenis aspal yang dapat digunakan untuk tujuan ini adalah aspal emulsi. Aspal cair (*cut back Asphalt*) tidak dapat dikelompokkan sebagai stabilizer karena proses penyebaran (*dispersi*) aspalnya relatif sama dengan yang terjadi pada campuran dingin (*cold mix*). Stabilisasi dengan aspal emulsi akan menghasilkan bahan yang bersifat lebih fleksibel dibandingkan bila menggunakan semen, tetapi kekuatan yang dihasilkannya jauh dibawah kekuatan stabilisasi dengan menggunakan semen.

Stabilisasi pada material sub standar dengan menggunakan aspal kebanyakan akan dihasilkan bahan dengan nilai kuat tekan ataupun modulus rendaman yang sangat rendah. Untuk menaikkan nilai ini, penambahan filler aktif (*active filler*) dapat dilakukan. Penambahan filler aktif akan meningkatkan nilai kuat tekan

ataupun modulus rendaman secara signifikan dengan tanpa memberikan pengaruh negatif pada ketahanan fatignya. Selain itu, filler aktif juga berfungsi sebagai *breaking promote* pada aspal emulsi sehingga kekuatan awal dapat diperoleh dengan lebih cepat.

Pekerjaan stabilisasi dengan bitumen tidak mengikuti kaidah campuran beraspal, dimana pada campuran beraspal semua agregatnya harus terselimuti oleh aspal dan aspal berfungsi sebagai adesif kontak (*contact adhesive*). Pada pekerjaan stabilisasi dengan aspal, aspal yang digunakan sebagai stabilizer akan terdispersi dan setelah pemadatan lapisan padat yang diperoleh agak bersifat porus karena persentase rongga udara yang dihasilkan umumnya masih di atas 10%. Oleh sebab itu, material yang distabilisasi dengan menggunakan bitumen hanya cocok digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi perkerasan jalan.

FOAM BITUMEN

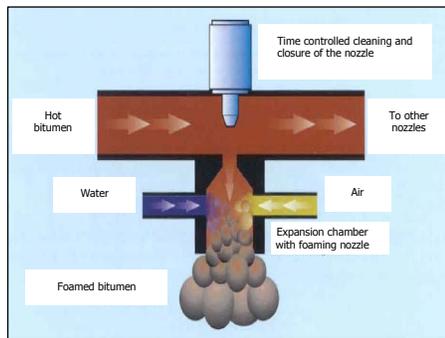
Foam bitumen dihasilkan dengan cara menginjeksikan air ke aspal panas di dalam *foaming chamber* (Gambar 1). Pada saat

terjadi kontak antara partikel air dengan aspal panas, akan terjadi transfer energi panas dari aspal ke air sehingga air pada saat itu juga akan mencapai titik didihnya dan berubah fasenya dari cair ke uap. Uap air tersebut selanjutnya akan terperangkap dalam gelembung aspal yang berselaput tipis sehingga terjadi pembusaan yang menyebabkan perubahan pada volume aspal.

Pada proses pembuatan *foam bitumen*, pembusaan akan segera terbentuk pada saat partikel air kontak dengan aspal panas. Akibat pembusaan ini, volume aspal akan bertambah sampai mencapai suatu batas maksimum, setelah batasan ini tercapai busa ini akan mulai menghilang (*collapse*) yang diikuti

dengan penurunan volume. Oleh sebab itu, *foam bitumen* dikarakteristikan dengan dua sifat, yaitu : Rasio Ekspansi (*Expansion Ratio*, ER) dan Umur Paruh (*Half Life*, HL). Kedua sifat ini diilustrasikan pada Gambar 2.

- Rasio Ekspansi (ER) adalah suatu ukuran yang menggambarkan viskositas *foam bitumen*. Besar kecilnya nilai ER akan menentukan seberapa baik *foam bitumen* akan terdispersi di dalam campuran beraspal. ER dihitung sebagai perbandingan dari volume maksimum yang terjadi pada saat pembusaan terhadap volume aspal awal.

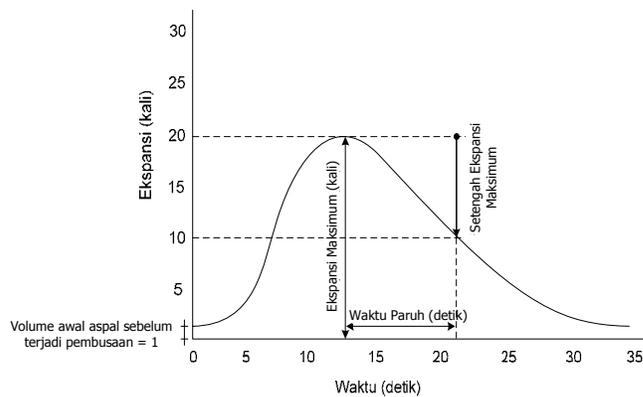


a



b

Gambar 1. Prinsip Pencampuran Pembuatan Foam Bitumen di Laboratorium



Gambar 2. Ilustrasi ER dan HL Foam Bitumen

- Umur Paruh (HL) adalah suatu ukuran yang mengindikasikan tingkat kestabilan busa yang terjadi. Nilai HL dinyatakan dalam satuan detik dan dihitung sebagai lamanya waktu yang dibutuhkan oleh *foam bitumen* untuk menurunkan volumenya yang dihitung sejak volume maksimum tercapai hingga dari volume maksimum tersebut.

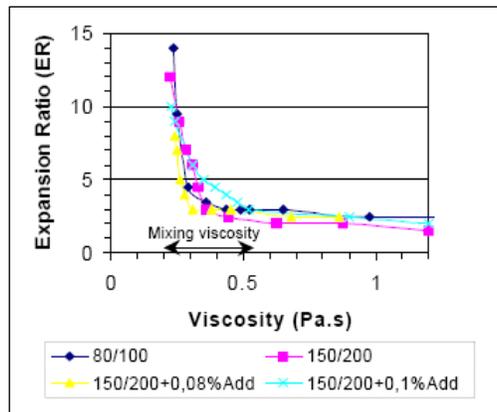
Jenkins et al. (1999) telah melakukan penelitian untuk mengetahui batas minimum ER yang diizinkan agar *foam bitumen* dapat digunakan sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal. Dari studinya didapat grafik hubungan antara ER dengan viskositas bitumen seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Dari

gambar ini, menurutnya bila viskositas bitumen untuk pencampuran dengan agregat adalah seperti yang direkomendasikan oleh Shell (1990), yaitu 0,20 – 0,55 Pa.s, maka nilai minimum ER untuk semua jenis foam bitumen (dengan atau tanpa *foaming agent*) adalah 4 ($ER \geq 4$). Wirtgen (2004) mengatakan bahwa foam bitumen yang terdispersi dengan baik dan memungkinkan untuk digunakan sebagai stabilizer bila memiliki nilai ER minimum 8 kali dan nilai HL minimum 6 detik. Walaupun begitu, dengan memperhatikan faktor efektifitas Wirtgen (2004) mensyaratkan nilai minimum ER dan HL masing-masing sebesar 10 kali dan 8 detik.

Studi yang dilakukan oleh Jenkins (2000) menyimpulkan bahwa apabila temperatur

material yang akan distabilisasi meningkat (dipanaskan) maka *foam bitumen* dengan nilai ER yang lebih kecil dari 10-pun dapat digunakan (lihat Tabel 1). Dari uraian di atas jelas bahwa viskositas *foam bitumen* sangat mempengaruhi ER dan HL *foam bitumen* yang dihasilkan. Sedangkan viskositas *foam*

bitumen itu sendiri sangat dipengaruhi oleh persentase penambahan air, oleh sebab itu persentase penambahan air dalam pembuatan *foam bitumen* sangat mempengaruhi besarnya nilai ER dan HL *foam bitumen* yang dihasilkan sebagaimana yang diilustrasikan pada Gambar 4.



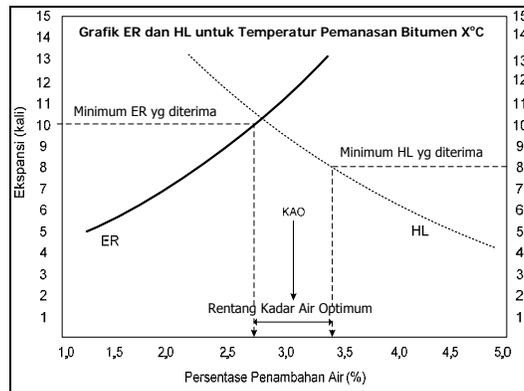
Gambar 3. Hubungan Viskositas dengan ER *Foam Bitumen* (Jenkins et al., 1999)

Tabel 1.

Dispersi *Foam Bitumen* untuk Variasi Temperatur Agregat (Jenkins, 2000)

Rasio Pembusaan (ER, kali)	Temperatur Agregat (°C).		
	<15° C	15° C - 25° C	> 25° C
< 8	Sangat Jelek	Jelek	Sedang
8 – 12	Sedang	Baik	Baik
> 12	Baik	Sangat Baik	Sangat Baik

Catatan : *Foam bitumen* tidak dapat digunakan bila temperatur agregat terlalu rendah (<10° C)



Gambar 4. Pengaruh Kadar Air pada Nilai ER dan HL Foam Bitumen

FAKTOR YANG MEMPENGARUHI SIFAT FOAM BITUMEN

Kuantitas dan Temperatur Air

Pada proses pembuatan *foam bitumen*, air diinjeksikan ke bitumen panas, pada saat terjadi kontak antara air dengan bitumen panas pembusaan akan terjadi pada bitumen tersebut. Bila persentase penambahan air sangat sedikit, volume uap air yang terbentuk belum cukup memadai untuk menghasilkan proses pembusaan pada bitumen. Sebaliknya penambahan air yang berlebihan akan menyebabkan uap yang terbentuk akan melebihi volume uap yang dapat diakomodasikan oleh gelembung busa bitumen sehingga uap air akan hilang dan bitumennya akan kehilangan energi panas sehingga pembusaan tidak akan terjadi. Sampai dengan batas tertentu,

semakin tinggi persentase air yang diinjeksikan semakin banyak busa yang terbentuk sehingga volume busa yang terjadi akan meningkat pula. Peningkatan volume busa ini akan meningkatkan nilai ER foam bitumen tersebut. Semakin besar ukuran gelembung busa, semakin tipis film bitumennya sehingga tingkat kestabilan busa tersebut akan menurun. Oleh sebab itu, walaupun peningkatan persentase penginjeksian air akan meningkatkan nilai ER, tetapi hal ini akan menurunkan HL foam bitumen tersebut. Dalam hal ini dapat disimpulkan bahwa nilai ER berbanding terbalik dengan nilai HL dan hubungannya dengan persentase penginjeksian air seperti yang telah diilustrasikan pada Gambar 4. Untuk mendapatkan foam bitumen dengan nilai ER dan HL yang baik, persentase air yang diinjeksikan

ke bitumen adalah dalam rentang 1,5% – 2,5%.

Untuk mengetahui pengaruh temperatur air pada ER dan HL foam bitumen, Yamin et al. (2007) telah melakukan studi pembuatan foam bitumen dengan menggunakan air yang temperaturnya dibuat bervariasi dari yang dingin sampai yang panas. Dari percobaan ini didapat kesimpulan bahwa walaupun persentase pemakaiannya yang sedikit, temperatur air yang digunakan juga memberikan pengaruh pada sifat foam bitumen. Semakin dingin air, semakin baik pembusaan yang terjadi tetapi busa yang dihasilkan memiliki kestabilan yang rendah karena air ini akan menyerap energi panas dari bitumen sehingga temperatur bitumen akan menurun. Dengan kata lain dapat dikatakan bahwa semakin dingin temperatur air yang digunakan, foam bitumen yang dihasilkan akan memiliki nilai ER yang semakin besar tetapi semakin kecil nilai HL-nya.

Sumber dan Tipe Bitumen

Bitumen yang berasal dari sumber yang berbeda akan memiliki komposisi kimia yang berbeda pula. Walaupun dalam proses pembuatan foam bitumen

reaksi yang terjadi lebih merupakan reaksi fisika (Stefan et al., 2003), tetapi komposisi kimia bahan-bahan yang digunakan memberikan pengaruh pada sifat foam bitumen yang dihasilkan. Menurut Acott (1985), tipe minyak mentah (crude oil) dan atau metode yang digunakan untuk memproduksi bitumen juga mempengaruhi sifat foam bitumen, sehingga menurut Jenkins et al. (1999) tidak semua jenis dan tipe bitumen dapat memenuhi sifat foam bitumen (nilai ER dan HL) yang diinginkan. Apabila bitumen dari sumber yang berbeda digunakan untuk pembuatan foam bitumen, maka akan dihasilkan foam bitumen dengan sifat yang berbeda pula.

Bitumen adalah salah satu produk dari hasil penyulingan minyak mentah. Adakalanya pada proses penyulingan ini digunakan anti-foaming-agent. Penggunaan anti-foaming-agent ini akan merubah komposisi kimia bitumen, dan bila bitumen ini digunakan untuk pembuatan foam bitumen maka akan dihasilkan foam bitumen dengan sifat pembusaan yang jelek. Menurut Jenkins et al. (1999) tidak ada korelasi antara komposisi kimia bitumen (aspaltin, maltin dan saturated aromatik resin) dengan sifat foam

bitumen kecuali bitumen yang menggunakan aditif.

Untuk bitumen yang berasal dari sumber dan proses penyulingan yang sama, tingkat kekerasan (penetrasi/viskositas) bitumen yang digunakan juga akan mempengaruhi sifat foam bitumen yang dihasilkan. Bitumen dengan nilai viskositas yang tinggi (keras) akan menghasilkan foam bitumen dengan ER dan HL yang kurang baik dari pada bitumen berviskositas rendah. Hal ini disebabkan karena pada temperatur yang sama, bitumen dengan nilai viskositas yang tinggi memiliki energi permukaan (*surface energy*) yang lebih besar dari bitumen yang berviskositas rendah sehingga pembusaan sulit terjadi pada bitumen yang keras. Untuk bitumen dengan nilai penetrasi yang rendah, penambahan minyak diesel dapat dilakukan untuk menurunkan nilai penetrasinya, tetapi karena pada pembuatan foam bitumen, bitumennya harus dipanaskan lebih dari 160° C, maka untuk keselamatan kerja cara ini sebaiknya tidak dilakukan. Dari hasil penelitian yang dilakukan oleh Brennen et al. (1983), disimpulkan bahwa nilai viskositas bitumen semata tidak cukup memadai untuk menjelaskan hubungan antara tingkat

kekerasan bitumen dengan ER dan HL, karena bitumen yang memiliki nilai viskositas yang berbeda tetapi memiliki IP (Indeks Penetrasi) yang sama, akan menghasilkan nilai HL foam bitumen yang sama.

Temperatur Bitumen dan Foaming Chamber

Bitumen adalah suatu bahan pengikat yang bersifat viskoelastis. Selain waktu pembebanan, sifat bitumen akan berubah dari elastis ke viskos akibat temperatur. Kenaikan temperatur akan menurunkan viskositas bitumen (semakin encer). Pada proses pembuatan foam bitumen, logikanya, semakin encer bitumen semakin besar ukuran gelembung yang terbentuk dan semakin baik pembusaan yang terjadi. Selain itu, karena pada proses pembuatan foam bitumen digunakan air, energi panas dari bitumen akan diserap oleh partikel air dan memanaskannya hingga mencapai titik didihnya (100° C) sehingga temperatur bitumen akan menurun. Oleh sebab itu, untuk menghasilkan foam bitumen dengan sifat yang memuaskan, temperatur pemanasan bitumen sebelum dilakukan proses pembusaan harus lebih tinggi dari 160° C (Yamin et al., 2007). Bitumen dan air memiliki sifat konduktifitas thermal yang rendah,

oleh sebab itu gelembung busa yang dihasilkan akan tetap stabil selama periode waktu (dalam detik) tertentu. Setelah itu, campuran akan mendingin dan uap air dalam gelembung busa akan mengalami kondensasi, pada saat itulah busa mulai menghilang (*collapse*) dari foam bitumen.

Energi (dalam bentuk panas) adalah faktor yang dominan yang mempengaruhi sifat fisik foam bitumen, oleh sebab itu keseimbangan energi dalam foaming chamber adalah penting untuk keberhasilan pembuatan foam bitumen (Accott, 1980). Pada Tabel 2 ditunjukkan pengaruh variasi temperatur bitumen dan foaming chamber pada proses pembuatan foam bitumen dengan penambahan 2,5% air yang bertemperatur sama dengan temperatur ruang

pada temperatur foam bitumen dan pembusaan yang dihasilkan. Dari percobaan ini, diketahui bahwa pembusaan tidak akan terjadi bila temperatur foam bitumen yang dihasilkan kurang dari 100° C.

Tekanan Bitumen dan Air

Pada pembuatan foam bitumen, air dan bitumen diinjeksikan dengan tekanan ke dalam *foaming chamber* melalui nozel dengan diameter lubang yang sangat kecil. Menurut Jenkins et al. (1999), selain persentase dan kualitas air yang digunakan, ukuran lubang nozel dan tekanan yang diberikan juga sangat menentukan keberhasilan pembuatan foam bitumen.

Tabel 2.
Pengaruh Temperatur Proses Pembusaan Foam Bitumen

Temperatur Foaming Chamber (°C)	Temperatur Bitumen (°C)			
	150	160	170	180
30	83 ¹⁾	88 ¹⁾	95 ¹⁾	100
50	91 ¹⁾	97 ²⁾	103	109
100	111	117	123	130

Catatan : * Pembusaan tidak terjadi
** Pembusaan yang terjadi sedikit

Ukuran lubang nozel harus sedemikian kecilnya sehingga partikel bitumen dan air yang keluar memiliki ukuran 100 – 150 μm , bila ukuran partikel air yang dihasilkan lebih besar dari nilai tersebut, tekanan uap yang terdapat di dalam gelembung busa akan melebihi tegangan permukaan film bitumen sehingga gelembung akan pecah dan pembusaan tidak akan terbentuk.

Besar kecilnya tekanan yang diberikan pada air dan bitumen akan mempengaruhi besar kecilnya partikel air dan bitumen yang keluar dari lubang nozel. Semakin tinggi tekanan yang diberikan, semakin terdispersi (*atomise*) partikel air dan bitumen yang dihasilkan. Semakin terdispersinya kedua partikel ini, semakin besar kontak area yang terbentuk sehingga busa yang dihasilkan semakin seragam dengan volume pembusaan yang besar (Yamin et al., 2007). Untuk itu, pada proses pembuatan foam bitumen tekanan minimum yang harus diberikan pada bitumen dan air harus lebih besar dari 3 bars (300 kPa).

Bahan Tambah

Seperti dikatakan sebelumnya bahwa adakalanya anti-*foaming-agent* digunakan pada saat proses penyulingan minyak bumi untuk menghindari pembusaan yang terjadi. Apabila bitumen yang mengalami proses seperti ini digunakan untuk pembuatan foam bitumen, maka pembusaan sulit terjadi. Menurut Jenkins et al. (1999) sifat aditif yang digunakan pada proses produksi bitumen lebih memberikan pengaruh pada sifat foam bitumen dari pada sifat bitumen itu sendiri. Untuk itu, *foaming agent* (typically 0,5%) perlu ditambahkan.

Kebanyakan foaming agent sensitif terhadap panas, oleh sebab itu penambahan bahan ini ke dalam bitumen harus dilakukan pada temperatur rendah tetapi setelah bitumennya cukup encer. Untuk mendapatkan hasil yang optimal, bitumen yang telah dicampur dengan *foaming agent* hanya dalam waktu beberapa jam harus segera digunakan untuk pembuatan foam bitumen (Yamin et al., 2007).

Penambahan aditif dapat juga dilakukan untuk mengurangi tegangan permukaan air. *Super-plasticizer* dapat digunakan untuk tujuan ini. Penambahan *super-plasticizer* pada air akan menyebabkan terjadinya proses molekolisasi pada air tersebut sehingga tegangan permukaannya akan menurun dan dihasilkan partikel air dengan ukuran yang sangat kecil sehingga pembusaan pada foam bitumen mudah terjadi. Namun demikian, penggunaan *super-plasticizer* dalam air dapat memberikan pengaruh negatif pada *foaming agent* lainnya yang mungkin digunakan juga dalam bitumen.

BAHAN YANG DAPAT DISTABILISASI DENGAN FOAM BITUMEN

Foam bitumen dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi hampir untuk semua jenis material, mulai dari pasir, kerikil, agregat pecah, dan bahkan material sub standar lainnya (Ramanujam et al., (1997).

Walaupun foam bitumen pada dasarnya adalah aspal tetapi apabila dicampur dengan agregat campuran yang dihasilkannya

tidak tidak kelihatan hitam seperti campuran beraspal pada umumnya (Gambar 5.a). Pada saat terjadi kontak antara foam bitumen dengan agregat, gelembung busa foam bitumen akan pecah dan hampir semua partikel air (dalam bentuk uap) akan hilang dan menyisakan partikel residual bitumen yang memiliki sifat yang sama dengan sifat bitumen aslinya. Partikel residual bitumen ini akan mengikat fraksi halus ($< 0,075$ mm) sehingga membentuk bitumen-*bound-filler* yang berfungsi sebagai mortar diantara agregat kasar (Gambar 5.b). Oleh sebab itu, walaupun foam bitumen dapat digunakan pada hampir semua jenis agregat, namun foam bitumen tidak akan memberikan kinerja yang baik untuk material yang mengandung fraksi halus ($< 0,075$ mm) kurang dari 5% atau lebih dari 20%. Untuk material yang hanya mengandung fraksi halus kurang dari 5%, penambahan semen, kapur, abu batu atau fraksi halus lainnya (100% lolos saringan ukuran 0,075 mm) perlu dilakukan. Menurut Wirtgen (2004), penggunaan natural filler (abu

batu) lebih baik dari pada aktif filler (terutama semen), karena akan membentuk permukaan yang tidak beraturan (*irregular*) yang disebabkan oleh aksi pozolaniknya atau mungkin malah mengikat fraksi halus lainnya. Selain itu, penggunaan semen dengan jumlah yang relatif banyak juga akan memberikan pengaruh yang negatif pada fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Oleh karena itu, penggunaan semen pada pekerjaan stabilisasi dengan foam bitumen dibatasi maksimum 1,5%. Campuran yang dihasilkan dengan penggunaan semen pada nilai ini, tidak akan mengalami retak susut dan relatif tidak memerlukan perawatan (*curing*).

KINERJA LABORATORIUM DAN LAPANGAN CAMPURAN YANG DISTABILISASI DENGAN FOAM BITUMEN

Nilai CBR (*California Bearing Ratio*) telah lama dan banyak digunakan sebagai indikator yang menunjukkan kekuatan natural agregat. Pengujian CBR tidak direkomendasikan digunakan untuk mengetahui kekuatan bahan yang distabilisasi karena jenis pengujian ini tidak begitu sensitif

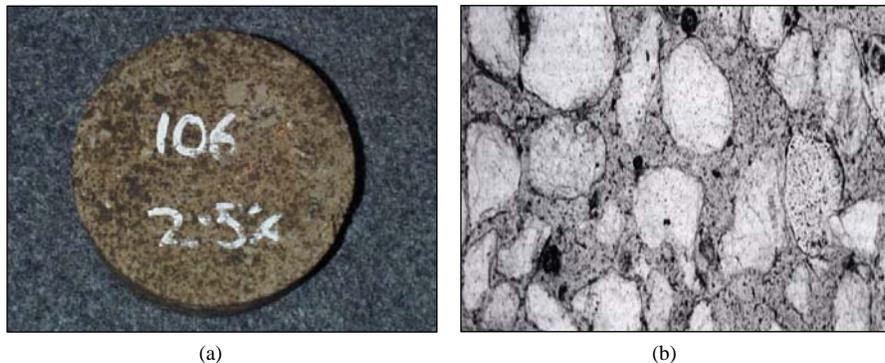
untuk bahan yang memiliki kekuatan yang cukup tinggi (2 – 4 MPa). Untuk bahan seperti ini, pengujian UCS (*Uncompressive Strength*) dan ITS (*Indirect Tensile Strength*) lebih dianjurkan. Pemilihan jenis pengujian, UCS atau ITS, tergantung untuk apa campuran yang diuji tersebut akan digunakan. Apabila campuran yang dibuat diperuntukan sebagai lapisan untuk menahan deformasi maka sifatnya harus diuji dengan pengujian UCS tetapi apabila diperuntukan sebagai lapis leleh maka sifatnya harus diuji dengan ITS. Alternatif lainnya dari pengujian ITS adalah pengujian Marshall, tetapi untuk bahan yang distabilisasi dengan bitumen, Wirtgen (2004) lebih merekomendasikan pengujian ITS dari pada pengujian Marshall. Saat ini, pengujian modulus sangat dianjurkan untuk material yang distabilisasi daripada pengujian ITS, karena selain lebih informatif, data modulus langsung dapat digunakan untuk perencanaan tebal perkerasan secara mekanistik.

Untuk mengetahui kinerja campuran yang dibuat dengan foam bitumen dilakukan percobaan dengan menggunakan contoh uji dengan variasi persentase foam bitumen. Material yang digunakan

merupakan campuran RAP dengan batu pecah dengan rasio pemakaian 50 : 50, dan dengan menggunakan semen atau kapur sebagai tabahan untuk menaikkan persentase fraksi halus dalam campuran tersebut. Hasil pengujian ITS dan modulus dari campuran ini diberikan pada Tabel 3.

Dari tabel ini dapat dilihat bahwa untuk benda uji yang dibuat dengan penambahan 1% semen, kadar foam bitumen optimum adalah 2%. Pada nilai ini, diperoleh campuran dengan kekuatan dan durabilitas yang paling tinggi.

Sedangkan benda uji yang dibuat dengan menggunakan 2% kapur, kadar foam bitumen optimumnya 3,0% atau 3,5% tergantung kriteria campuran yang diinginkan. Bila diinginkan campuran dengan kekuatan yang tinggi tetapi kurang kaku dan kurang durabel, maka dalam hal ini kadar foam bitumen optimumnya dipilih 3,0%. Tetapi bila diinginkan campuran yang lebih kaku dan lebih durabel, maka kadar foam bitumen optimumnya dipilih 3,5%.



Gambar 5. Dispersi Partikel Foam Bitumen dalam Matrik Campuran Beraspal

Tabel 3.

Nilai ITS Bahan (RAP : Batu Pecah = 50 : 50) yang Distabilisasi dengan Foam Bitumen dengan Bahan Tambah Semen dan Kapur

Foam Bitumen	2,0	2,5	3,0	3,5
1 % Semen				
ITS-Unsoaked (kPa)	460	436	390	-
ITS-Soaked (kPa)	353	323	268	-
Rasio ITS (%)	77	74	74	-
Modulus (MPa)	2359	2154	1917	-
2 % Kapur, curing 24 sebelum pencampuran dengan foam bitumen				
ITS-Unsoaked (kPa)	240	250	275	262
ITS-Soaked (kPa)	140	158	190	191
Rasio ITS (%)	58	62	69	73
Modulus (MPa)	857	1045	1381	1467

Dari tabel di atas dapat juga dilihat bahwa pemilihan bahan yang digunakan untuk menaikkan persentase fraksi halus bahan yang akan distabilisasi dengan foam bitumen sangat mempengaruhi kekuatan, kekakuan, durabilitas dan persentase kadar foam bitumen optimumnya. Pada masing-masing kadar foam bitumen optimumnya, campuran yang dibuat dengan menggunakan 1% semen memberikan kinerja yang jauh lebih baik dan kadar foam bitumen optimumnya lebih kecil dari pada campuran yang dibuat dengan menambahkan 2% kapur. Bahkan pada kadar *foam bitumen* yang sama (3%, kadar foam bitumen optimum campuran yang menggunakan 2% kapur), kinerja campuran yang dibuat dengan

menggunakan 1% semen masih jauh lebih baik dari pada yang menggunakan 2% kapur.

Penggunaan foam bitumen untuk stabilisasi RAP dan RBP yang akan digunakan kembali pada struktur perkerasan jalan pada skala proyek telah dilakukan pada dua Proyek Peningkatan Ruas Jalan Palimanan – Jatibarang Jawa Barat. Pada kedua proyek ini, persentase RAP yang digunakan masing-masing adalah 100% dan 75% dan pencampuran foam bitumen dengan RAP dilakukan dengan teknik pencampuran yang berbeda, yaitu *mix in place* dan *mix in plant*. Dengan cara *mix in place*, penggarukan (*milling*), pencampuran semen dan foam bitumen sehingga dihasilkan campuran CTRB dilakukan langsung di lokasi

dengan menggunakan alat seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6.a. Alat ini berfungsi juga sebagai penghampar campuran CTRB yang dihasilkan. Sedangkan dengan cara *mix in plant*, hasil penggarukan yang dilakukan di lokasi dibawa ke *base camp* untuk selanjutnya dimasukkan ke alat khusus (Gambar 6.b) untuk dicampur dengan semen, foam bitumen dan bila diperlukan dengan agregat *fresh*. Kemudian campuran CTRB yang dihasilkan dibawa lagi ke lokasi untuk dihampar dan dipadatkan.

Untuk mengetahui kinerja CTRB yang dihampar di ruas jalan di kedua proyek, dilakukan pengambilan contoh uji. Contoh uji ini berupa contoh inti yang diambil setelah lapisan CTRB padat tersebut berumur 28 hari (Gambar 7). Banyaknya contoh uji yang diambil adalah 13 contoh untuk lapisan *mix in place* dan 3 contoh untuk untuk lapisan *mix in plant* (pada saat pengambilan contoh uji, panjang hamparan *mix in plant* baru 200 m sehingga hanya memungkinkan untuk pengambilan 3 contoh uji).

Kinerja campuran dari masing-masing teknik pencampuran ini seperti yang diberikan pada Gambar 8.

Dalam draft spesifikasi CTRB (*Coldmix Recicling by Foam Bitumen*) yang digunakan, nilai minimum ITS CTRB umur 28 hari yang disyaratkan adalah 400 kPa. Dalam *Job Mix Formula* CTRB yang dihasilkan, nilai ini dapat dicapai baik untuk campuran yang menggunakan 75% RAP (*mix in plant*) maupun yang 100% RAP (*mix in place*). Nilai ITS yang dicapai oleh benda uji inti yang diambil dari lapangan, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 8, adalah dalam rentang 346 - 940 kPa (untuk *mix in place*) dan 379 kPa – 811 kPa (untuk *mix in plant*) dengan nilai parameter statistik seperti yang diberikan pada Tabel 4. Dari tabel ini dapat dilihat bahwa nilai rata-rata ITS baik yang diperoleh dengan cara *mix in place* ataupun *mix in plant* memenuhi atau bahkan lebih tinggi nilai ITS yang diinginkan (400 kPa), tetapi walaupun begitu ada beberapa titik dimana nilai ITS tidak mencapai nilai tersebut.



a. Mix in Place



b. Mix in Plant

Gambar 6. Mix in Place dan Mix in Plant Recycling dengan menggunakan Foam Bitumen



a. Mix in Place



b. Mix in Plant

Gambar 7. Contoh uji Inti Hasil Penghamparan Mix in Place dan Mix in Plant Recycling menggunakan Foam Bitumen

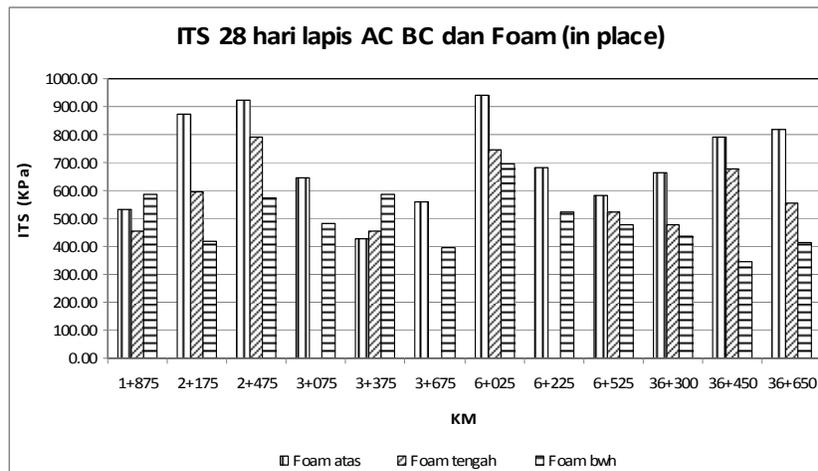
Pada proses *mix in plant* persentase RAP yang digunakan pada campuran adalah 75%. Artinya ada penambahan agregat *fresh* sebesar 25%. Penambahan ini bertujuan untuk memperbaiki gradasi campuran dan untuk mendapat nilai ITS yang tinggi. Dari hasil uji yang didapat (tabel 4) dapat dilihat bahwa nilai ITS contoh uji hasil *mix in plant* (75% RAP) relatif sebanding dengan

nilai ITS contoh uji hasil *mix in place* (100% RAP). Logikanya dengan adanya perbaikan gradasi nilai ITS contoh uji hasil *mix in plant* seharusnya lebih tinggi dari nilai ITS contoh uji hasil *mix in place*, tetapi kenyataannya tidak selalu demikian. Hal ini disebabkan karena *mix in plant* ada jeda waktu yang cukup lama antara pencampuran RAP dengan foam bitumen dengan penghamparan

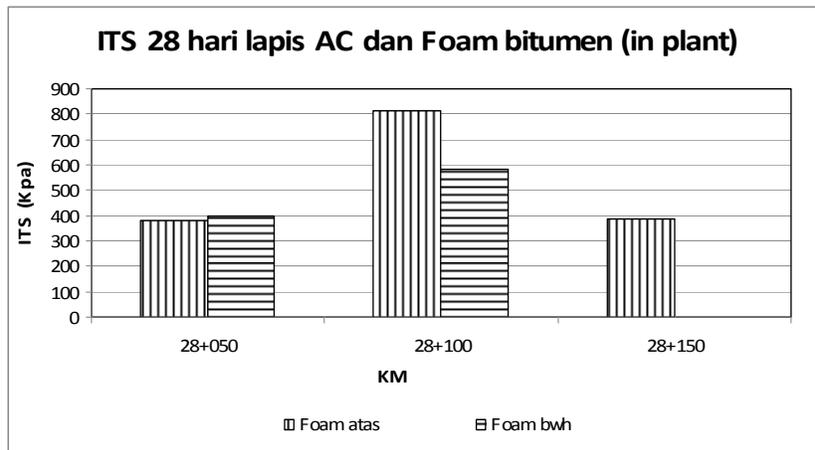
dan pemadatan CTRB yang dihasilkan. Jeda waktu ini relatif tidak terjadi pada *mix in place*. Oleh sebab itu dapat disimpulkan bahwa selain kualitas foam bitumen, cara produksi CTRB (*mix in place* atau *mix in plant*), persentase RAP yang digunakan, jeda waktu antara pencampuran dan pemadatan juga sangat mempengaruhi kinerja CTRB yang dihasilkan.

Dari Tabel 4 ini dapat dilihat juga bahwa nilai ITS bagian atas lapisan (tebal lapisan untuk

satu hamparan dipotong menjadi 2 atau 3 seukuran benda uji ITS) umumnya lebih besar dibanding bagian bawahnya, hal ini diperkirakan karena pengaruh pemadatan bagian atas lebih besar dibandingkan bagian bawah. Adanya perbedaan kekuatan (nilai ITS) ini menunjukkan bahwa hasil penghamparan lapangan dipengaruhi oleh produksi campuran dan kualitas penghamparan serta pemadatannya.



a. Mix in Place (13 titik core)



b. Mix in Plant (3 titik core)

Gambar 8. Hasil Uji ITS Benda Uji Umur 28 Hari Mix in Place dan Mix in Plant Recycling dengan Menggunakan Foam Bitumen

Tabel 4.

Parameter Statistik Hasil Uji ITS Pencampuran Mix in Place dan Mix in Plant

Nilai	Nilai ITS Benda Uji yang Diambil dari Lapangan				
	Mix in Place			Mix inPlant	
	Foam Atas	Foam Tengah	Foam Bawah	Foam Atas	Foam Bawah
Rata-rata	595	431	431	525	491
Minimum	428	454	346	379	399
Maksimum	940	792	694	811	584
Standar Deviasi	165	127	101	248	131

KESIMPULAN

- Beberapa faktor yang mempengaruhi keberhasilan pembuatan foam bitumen adalah kuantitas dan temperatur air; sumber dan tipe bitumen; temperatur bitumen dan foaming chamber; tekanan bitumen dan air; dan bahan tambah.
- Foam bitumen dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi dalam proses daur ulang RAP.
- Pemilihan bahan yang digunakan untuk menaikkan persentase fraksi halus RAP yang akan distabilisasi dengan foam

bitumen sangat mempengaruhi persentase kadar foam bitumen optimum, kekuatan, kekakuan dan durabilitas CTRB.

- Pada kadar foam bitumen yang sama kinerja CTRB yang mengandung semen sebagai aktif fillernya jauh lebih baik dari pada yang menggunakan kapur.
- Foam bitumen dapat digunakan untuk menstabilisasi RAP sehingga menghasilkan CTRB baik dengan cara mix in place ataupun mix in plant.
- Walaupun perencanaan CTRB di laboratorium dengan menggunakan foam bitumen dapat mencapai nilai ITS (400 kPa) sesuai dengan draf spesifikasi yang digunakan, tetapi nilai ITS yang dicapai di lapangan bervariasi dalam rentang 346 - 940 kPa (untuk mix in place) dan 379 kPa - 811 kPa (untuk mix in plant). Oleh sebab itu, nilai ITS yang disyaratkan dalam spesifikasi sebaiknya diturunkan dari 400 kPa menjadi 300 kPa.
- Selain kualitas foam bitumen yang digunakan, kualitas CTRB yang dihasilkan dipengaruhi juga oleh cara produksi (mix in place atau mix in plant) dan persentase RAP yang digunakan serta jeda waktu antara

pencampuran RAP dan foam bitumen dengan pemadatan CTRB-nya.

Untuk mendapatkan nilai ITS yang seragam, tebal hamparan CTRB, jenis dan berat alat pemadat yang digunakan harus betul-betul diperhatikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Acott, SM, 1980, "The Stabilisation of a Sand by Foamed Bitumen – A Laboratory and Field Performance Study", MSc Dissertation Natal Univ.
- Brennen, M., Tia, M., Altschaefl, A., and Wood, LE., 1983, "Laboratory Investigation of the Use of Foamed Bitumen for Recycled Bituminous Pavement", TRR 911.
- Jenkins. KJ., MFC. Van de Ven and JLA. De Groot, 1999, "Characteristic of Foamed Bitumen", The 7th.Conference of Asphalt Pavements for South Africa.
- Jenkins, KJ., 2000, "Mix Design Consideration for Cold and Half-warm Bituminous Mixes Emphasis on Foamed Bitumen", PhD Dissertation, Stellenbosch Univ, South Africa.

- Ramanujam, JM., and Fernando, DP, 1997, "Foamed Bitumen Recycling" – Initial Findings.
- Ramanujam, JM., and Jones, JD., 2000, "Characterisation of Foamed Bitumen Stabilisation", Road System and Engineering Technology Forum, Australia.
- Shell Bitumen, 1990, "Shell Bitumen Hand Book", Shell Bitumen, U.K.
- Stefan, A. Romanoschi, Mustaque H., Michael, H., Andrew, J. Gisi, 2003, "Foamed Asphalt Stabilized Reclaimed Asphalt Pavement : A Promising Technologi for Mid-Western Road", Proc.of the 2003 Mid-Continent Transportation Research Symposium, Ames, Iowa State Univ., Iowa.
- Wirtgen, 2004, "Wirtgen Cold Recycling Manual", 2th Edition, Germany.
- Yamin R. Anwar, Sailendra Agus Bari dan Aschuri Imam, 2007, Foam Bitumen Sebagai Bahan Penstabilisasi Perkerasan Jalan, Konfrensi Nasional Teknik Jalan, KNTJ-8, Jakarta.