

**HUBUNGAN PARAMETER KUAT TARIK TAK LANGSUNG
TERHADAP MODULUS RESILIEN CAMPURAN BERASPAL DINGIN
DENGAN ASPAL BUSA
(CORRELATION OF INDIRECT TENSILE STRENGTH TO RESILIENT
MODULUS PARAMETER OF COLD MIX ASPHALT
WITH FOAMED BITUMEN)**

Djoko Widajat

Pusat Litbang Jalan dan Jembatan
Jl. A.H. Nasution 264 Bandung 40294,
E-mail : joko_w@yahoo.com
Diterima : 01 Juni 2010 ; Disetujui : 10 Agustus 2010

ABSTRAK

Daur ulang campuran dingin dengan aspal busa (foamed bitumen) merupakan salah satu alternatif teknologi yang dapat diaplikasikan pada pemilihan strategi penanganan suatu proyek rehabilitasi jalan. Konstruksi ini ramah lingkungan dan dapat mengurangi emisi udara yang terjadi pada suatu proyek pekerjaan jalan. Bahan campuran dapat terdiri dari bahan garukan yang mengandung aspal (RAP), agregat segar dengan atau tanpa penambahan semen. Kriteria campuran daur ulang dengan aspal busa ditentukan berdasarkan nilai Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength ratio (TSR) dan Unconfined Compressive Strength (UCS). Sedangkan tolok ukur kekakuan campuran dinyatakan dalam parameter Modulus Resilien (MR). Besaran ITS dan MR ini dipengaruhi oleh temperatur pengujian di laboratorium atau lapangan. Dari hasil pengujian terhadap beberapa benda uji campuran yang diuji pada beberapa variasi temperatur menunjukkan bahwa semakin besar temperatur pengujian, nilai ITS dan MR akan menurun. Terdapat hubungan regresi yang cukup signifikan antara dua parameter MR dengan ITS dalam bentuk regresi pangkat. Prediksi ini dapat digunakan sebagai pendekatan dalam menentukan nilai coefficient layer dalam perencanaan tebal perkerasan.

Kata kunci : daur ulang campuran dingin, aspal busa, RAP, ITS, Modulus Resilien, koefisien lapisan

ABSTRACT

Cold mix recycling with foamed bitumen is a technology alternative which can be implemented in selecting treatment strategy for road rehabilitation project. This construction is an environment friendly and can reduce air emission on road project. Mix material can consist of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP), virgin aggregate with or without cement addition. The criteria of recycling with foamed bitumen mixture based on value of Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength ratio (TSR) and Unconfined Compressive Strength (UCS). Whereas the mix stiffness is based on Resilient Modulus (MR). The value of ITS and MR is influenced by laboratory testing or field temperature. The result from some specimens which were tested in some temperature variations shows that the increased of test temperature, the ITS and MR decreased. There is significantly fair correlation between two parameters MR and ITS in power regression type. This prediction can be used as a guide to determine coefficient layer in pavement thickness design.

Key word : cold mix recycling, foamed bitumen, RAP, ITS, Resilient Modulus, coefficient layer

PENDAHULUAN

Pada beberapa periode terakhir ini teknologi daur ulang makin berkembang khususnya daur ulang campuran dingin menggunakan aspal busa (*foamed bitumen*). Teknologi ini merupakan salah satu alternatif dalam pemilihan penanganan pada proyek pemeliharaan jalan dengan cara memanfaatkan dan mengolah kembali bahan garukan perkerasan yang ada sebagai bahan baru. Selain dapat mengurangi penggunaan bahan baru, pelaksanaan pekerjaan daur ulang campuran dingin dapat mengurangi emisi udara yang terjadi pada suatu proyek. Kazmierowski (2009) menyatakan bahwa pada pekerjaan daur ulang campuran dingin untuk jalan yang terdiri dari 2 (dua) lajur, setiap kilometer panjang pelaksanaan pekerjaan mengeluarkan emisi udara (SO₂, NO_x dan CO₂) sebesar 50% lebih rendah dibandingkan dengan cara konvensional campuran aspal panas.

Pada campuran dingin penggunaan aspal busa sebagai bahan pengikat merupakan salah satu inovasi yang berkembang pada beberapa tahun terakhir ini dengan mengadaptasi pengalaman yang dilakukan oleh negara lain khususnya Eropa yang telah lebih dahulu melaksanakan pekerjaan ini. Aspal busa ini dihasilkan dari suatu aspal yang dipanaskan pada temperatur sekitar 160°C kemudian didistribusikan pada tekanan tertentu dan pada waktu yang bersamaan air diinjeksikan dan bertemu dengan aspal panas pada suatu ruangan kecil (*chamber*) dan kemudian keluar membentuk busa aspal.

Pada pekerjaan daur ulang campuran dingin, aspal busa dapat dicampur dengan RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*) yang merupakan bahan garukan mengandung aspal lama. Sebagai pemenuhan gradasi atau peningkatan kualitas dari campuran, RAP dapat ditambah fraksi agregat baru dan bahan pengisi (*filler*).

Kualitas dari campuran dingin di laboratorium antara lain dapat dinyatakan dengan suatu kriteria besarnya *Indirect Tensile*

Strength (ITS) dan / atau *Resilient Modulus* (MR).

Pengujian ITS pada paper ini dilakukan dengan metode statis, alat portable, sederhana dan hasil uji cukup teliti sedangkan pengujian *Resilient Modulus* menggunakan metode dinamis, hasil uji cukup akurat, bentuknya besar dan sulit untuk berpindah-pindah ke suatu proyek. Besaran yang dihasilkan dari pengujian merupakan parameter yang dapat digunakan untuk pendekatan dalam mengetahui nilai koefisien layer lapis perkerasan.

Tulisan ini khususnya membahas tentang kedua parameter tersebut yang dimaksudkan untuk mengetahui besar dan hubungannya pada suatu variasi temperatur. Tersedianya hubungan kedua parameter diharapkan dapat memberi jalan keluar untuk mendapatkan tingkat elastisitas suatu campuran secara memadai.

KAJIAN PUSTAKA

RAP (*Reclaimed Asphalt Pavement*)

RAP merupakan bahan hasil pemrosesan penggarukan perkerasan jalan yang mengandung aspal dan agregat. Material ini dihasilkan ketika lapisan aspal diangkat untuk rekonstruksi, pengembalian lapis permukaan ataupun pembongkaran perkerasan akibat pemasangan utilitas. Apabila dihancurkan dan disaring secara baik, RAP mengandung agregat berlapis aspal semen yang berkualitas tinggi.

(<http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structure/97148/rap131.cfm>).

Penggunaan RAP juga menurunkan limbah yang timbul dan membantu memecahkan masalah pembuangan dari bahan baku konstruksi. Pada tahun 1996, diestimasikan sebanyak 33% dari lapis beraspal di Amerika Serikat didaur ulang menjadi campuran beraspal panas. Oleh karena itu, setelah 30 tahun penggunaannya, RAP tidak hanya menjadi alternatif yang menguntungkan di masa yang akan datang,

tetapi juga akan menjadi suatu kebutuhan untuk menjaga kestabilan ekonomi dalam bidang konstruksi.

Campuran Kuat Tarik Tak Langsung (*Indirect Tensile Strength, ITS*)

Berdasarkan Spesifikasi Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan (2007), kriteria campuran daur ulang dengan aspal busa yang digunakan berdasarkan nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* TSR (*Tensile Retained Strain*) dan *Unconfined Compressive Strength (UCS)*. Kriteria ini sebagai pendekatan terhadap perilaku campuran untuk mengetahui besarnya tegangan yang terjadi dan pengaruhnya terhadap air. Berdasarkan Wirtgen (2004), nilai *coefficient layer* untuk mengetahui kekuatan struktur lapis perkerasan dapat didekati dengan besarnya nilai ITS.

Pengujian ITS dapat dilakukan dengan cara statis dan dinamis, namun pada campuran dingin dengan aspal busa digunakan metode statis yang diperkirakan dianggap lebih simple dan alat sederhana dan mudah untuk dibawa dari proyek satu ke proyek lain. Pengujian dilakukan dengan cara memberikan beban terhadap strip selebar sekitar 10% dari diameter benda uji yang diletakkan mendarat pada sisi tebal benda uji Marshall dengan diameter 10 cm dan tinggi 5 cm. Pengujian ITS ditentukan dengan cara mengukur beban maksimum yang diperlukan hingga benda uji runtuh berdasarkan kecepatan deformasi 50,8 mm/menit pada axis diameter sesuai dengan ASTM D 4123-82. Tegangan tarik dan tekan yang terjadi yang dianalisa oleh Fronch dapat dilihat pada Gambar 1.

Tegangan tarik yang terjadi (ITS) merupakan fungsi dari beban yang terjadi, tebal dan diameter benda uji yang dapat dinyatakan dalam persamaan $ITS = 2P_{max}/\pi td$ dengan P adalah total beban yang diberikan (Lb), t = tinggi benda uji (in) dan d = diameter benda uji (in).

Untuk menentukan TSR pengujian dilaksanakan pada kondisi kadar air yang berbeda yaitu kondisi kering dan rendaman

berdasarkan Wirtgen ITS kering diuji pada temperatur 25°C setelah dirawat (cured) 72 jam sedangkan untuk ITS basah diuji pada temperatur 25°C setelah direndam dalam air juga pada temperatur 25°C.

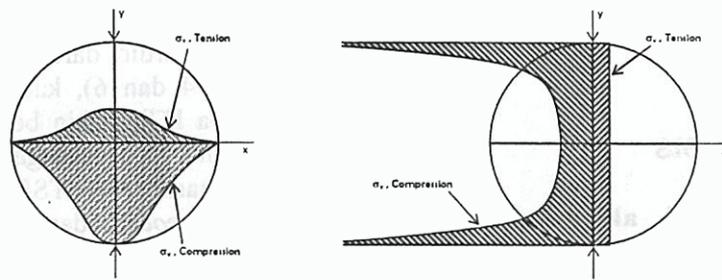
Perkembangan nilai ITS lapangan

Nilai ITS besarnya bervariasi tergantung dari material RAP atau material lainnya yang digunakan. Widajat D (2007) menyatakan bahwa ada kecenderungan nilai ITS akan naik dengan bertambahnya usia campuran, nilai ITS lapangan makin lama makin bertambah besar. Hal ini berdasarkan pengujian dari pengambilan benda uji di lapangan diameter 10 cm (*core drill*) sampai dengan umur sekitar 2 tahun. Demikian pula halnya dengan nilai modulus yang cenderung naik dengan bertambahnya masa pelayanan jalan yang mengindikasikan bahwa kekakuan campuran makin lama makin besar.

Modulus campuran aspal busa

Resilient modulus bukan merupakan parameter kekuatan (*strength*), tetapi merupakan tingkat elastisitas atau kekakuan material (*stiffness*) yang secara teoritis didapat dari hubungan antara tegangan dengan regangan suatu material. MR dapat digunakan antara lain sebagai penilaian untuk mengetahui sifat dasar material, untuk memprediksi *stress*, *strain* dan *displacement*, serta dapat digunakan sebagai pendekatan perencanaan tebal perkerasan.

Dalam perencanaan tebal perkerasan perkerasan (AASHTO 1993) dalam mengestimasi besarnya *structural layer coefficient type Bituminous-Treated Bases (a2)* untuk beton aspal atau material stabilisasi, *Resilient modulus (E_{BS})* berdasarkan pengujian pada temperatur 20°C (68°F) berdasarkan NCHRP *project* menggunakan alat penguji pada metode ASTM D 4123.



Gambar 1. Distribusi tegangan tarik dan tekan pada uji ITS (digambar dari Yoder EJ and Witzak MW, 1975).

Pada tulisan ini besarnya modulus campuran beraspal diuji dengan alat UMATTA (*Universal Material Testing Apparatus*) pada variasi temperatur 20 °C – 45 °C dengan waktu pembebanan 124 *milli seconds* (ms) setara dengan frekwensi 1,33 Hz pada stándar uji pada ITSM (*Indirect Tensile Stiffness Modulus*), BSI 1993 (Shell Bitumen, 2003). Benda uji berupa briket Marshall yang ditumbuk sebanyak masing-masing sisi 75 pukulan dan dikondisikan pada temperatur sesuai dengan temperatur pengujian masing-masing selama 2 x 60 menit.

Sunaryono (2007) menyatakan bahwa terdapat hubungan yang signifikan antara nilai ITS dengan ITSM.

HIPOTESIS

Hubungan antara besarnya nilai modulus dan ITS tergantung dari besarnya temperatur pengujian. Makin tinggi temperatur pengujian nilai modulus dan ITS campuran dingin dengan aspal busa akan semakin rendah.

METODOLOGI

Metodologi pengujian dilakukan dengan mengadakan pengujian di laboratorium terhadap benda uji campuran dingin dengan aspal busa. RAP berasal dari suatu ruas jalan Pantura (daerah Cirebon) dan agregat dari suatu quarry bahan (daerah Majalengka) di Jawa Barat, sedangkan pembentukan aspal busa dan pencampuran material dilakukan dengan

menggunakan alat WLB 10 S kepunyaan PT Stabilised Pavement Indonesia (SPI).

Benda uji terdiri dari beberapa variasi bahan campuran yang meliputi :

- 100% RAP+FB (aspal busa),
- RAP+FB+1%PC,
- RAP+Agregat+FB+1% PC(Portland Cement),
- RAP+Agregat+FB+1,5%PC dan
- RAP+Agregat+FB+0%PC.

Masing-masing variasi campuran dengan variasi penambahan FB dengan persentase 1,5% - 3,5%.

Kadar air dan Berat Isi kering benda uji

Sebelum ditambah aspal busa (FB) campuran antara RAP, agregat dan semen, nilai kadar air optimum dan berat isi kering campuran ditentukan dengan cara *Modified Proctor* yang kemudian dikoreksi kadar airnya dengan metode Wirtgen (2004).

Pengujian laboratorium

Pengujian benda uji meliputi ITS dan MR Umatta dengan variasi temperatur pengujian 20°C, 25°C dan 40°C. Besarnya variasi temperatur dilakukan dengan beberapa pertimbangan antara lain bahwa:

- Nilai *coefficient layer* untuk perencanaan tebal perkerasan AASHTO ditentukan pada MR dengan temperatur pengujian 20°C.
- Temperatur ruang di Indonesia sekitar 25°C - 27 ° C.
- Temperatur perkerasan lapangan berkisar 40°C - 50°C.

Pengujian ini dilakukan guna mengetahui sejauh mana pengaruh temperatur terhadap nilai ITS dan MR, selanjutnya dilakukan analisa

untuk mendapatkan hubungan antara ITS dan MR.

HASIL DAN ANALISIS

Perubahan nilai ITS akibat perbedaan temperatur

Hasil pengujian ITS dengan komposisi bahan: 100% RAP+FB, RAP+FB+1%PC, RAP+Agr+FB+1% PC, RAP+Agr+FB+1,5%PC dan RAP+Agr+PC dapat dilihat pada Gambar 2 sampai Gambar 6. Gambar tersebut menunjukkan hubungan antara nilai ITS dengan variasi persentase FB pada variasi temperatur pengujian yang memperlihatkan bahwa penggunaan jumlah FB yang besar tidak selalu memberikan kenaikan nilai ITS.

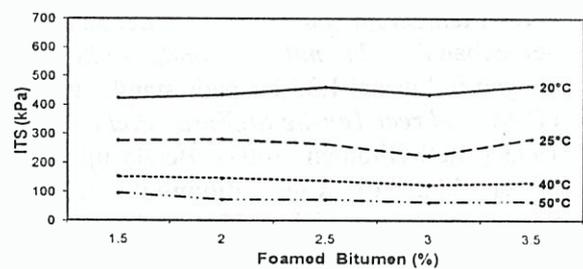
Dalam perencanaan, penentuan kadar aspal busa ditentukan berdasarkan nilai ITS yang optimum dan mempertimbangkan besarnya nilai TSR dan nilai UCS. Agar campuran lebih fleksibel penggunaan aspal busa minimum agar dibatasi tidak terlalu rendah.

Makin tinggi temperatur pengujian, nilai ITS makin menurun. Temperatur pengujian mempunyai pengaruh besar terhadap besarnya nilai ITS, pengujian pada 40°C dapat menurunkan nilai ITS hingga 50% dibandingkan apabila benda uji diuji pada temperatur 25°C (temperatur ruangan).

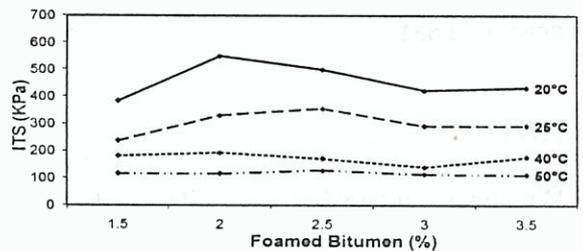
Seperti terlihat pada gambar, penambahan agregat pada campuran FB dapat menaikkan nilai ITS demikian pula dengan penambahan *filler* semen. Hal ini diperkirakan karena gradasi campuran menjadi lebih baik sehingga bidang yang terselimuti oleh aspal busa menjadi lebih banyak dengan demikian kohesi antara partikel lebih besar.

Pada tipikal contoh dengan RAP 100% dan temperatur pengujian 25°C (Gambar 2) nilai ITS yang dihasilkan < 300 kPa, namun dengan penambahan agregat tanpa semen nilai ITS yang dihasilkan dapat menjadi lebih besar (Gambar 5), demikian pula pada penambahan semen tanpa agregat (Gambar 3). Kenaikan

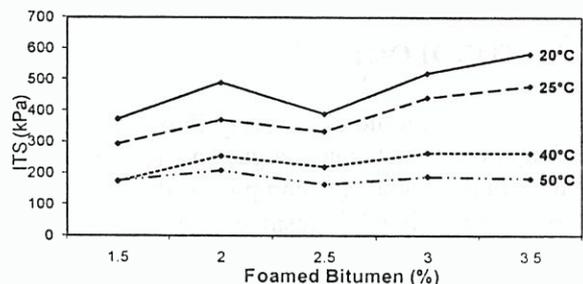
nilai ITS akan menjadi lebih besar lagi apabila campuran terdiri dari RAP + agregat + semen (Gambar 4 dan 6), kadar semen makin besar umumnya ITS makin besar. Perbaikan gradasi campuran dengan agregat maupun semen dapat mempengaruhi nilai TSR yang merupakan rasio dari ITS *unsoaked* dan *soaked*. TSR dengan 0% semen terlihat kecil, hal ini diperkirakan gradasi dari campuran dengan agregat+semen lebih rapat dibandingkan dengan non semen, disamping semen sebagai pengikat awal dari campuran (Gambar 7), penambahan semen dapat mengurangi pengaruh air terhadap campuran aspal busa.



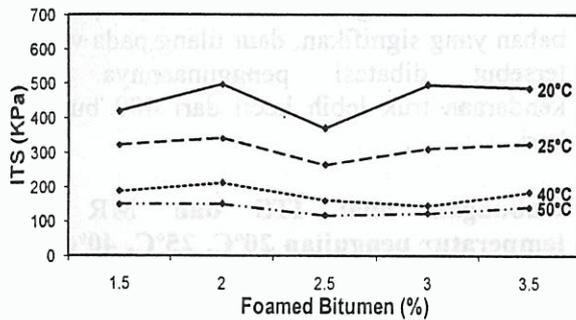
Gambar 2. Hubungan ITS Vs %FB dengan RAP 100%+0% PC pada variasi temperatur pengujian.



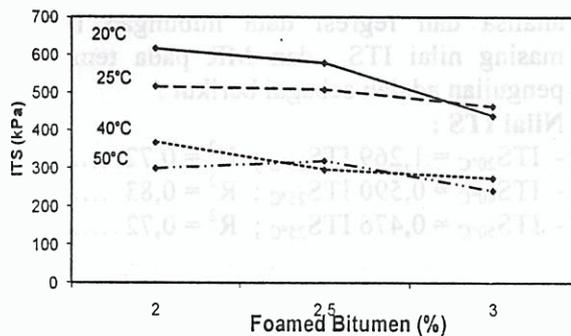
Gambar 3. Hubungan ITS Vs %FB dengan RAP+1% PC pada variasi temperatur pengujian.



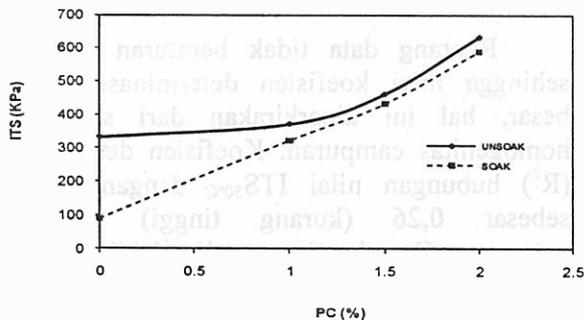
Gambar 4. Hubungan ITS Vs %FB dengan RAP+ agregat+1% PC pada variasi temperatur pengujian.



Gambar 5. Hubungan ITS Vs %FB dengan RAP+ agregat+0% PC pada variasi temperatur pengujian



Gambar 6. Hubungan ITS Vs %FB dengan RAP+ agregat+1,5% PC pada variasi temperatur pengujian.



Gambar 7. Hubungan ITS soaked dan unsoaked Vs %PC pada 2,5% FB.

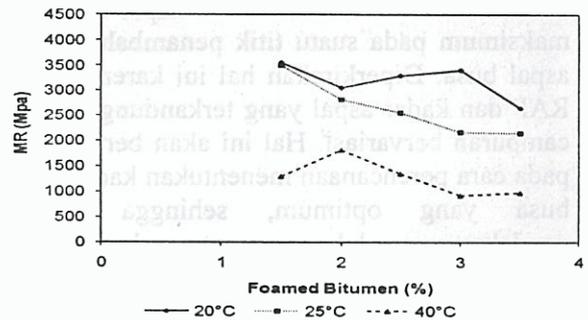
Perubahan nilai Resilient Modulus (MR) akibat perbedaan temperatur

Pengujian *Resilient Modulus* dilakukan pada benda uji campuran dengan komposisi 100% RAP+FB, RAP+FB+1%PC, RAP+Agr+FB+1%PC, RAP+Agr+FB+1,5%PC dan RAP+Agr+PC. Hasil pengujian modulus MR campuran dengan variasi persentase aspal

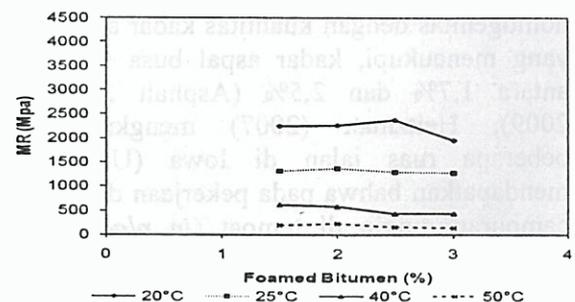
busa pada temperatur pengujian 20°C, 25°C, 40°C dan 50°C dapat dilihat pada Gambar 8 sampai Gambar 11. MR diuji pada persentase FB antara 1,5-3%. Nilai optimum dari MR antara 2-2,5% FB.

Seperti halnya pada hasil pengujian ITS, pada umumnya nilai MR menurun dengan bertambahnya temperatur pengujian. Pada temperatur rendah nilai MR umumnya lebih tinggi dibandingkan pengujian pada temperatur tinggi.

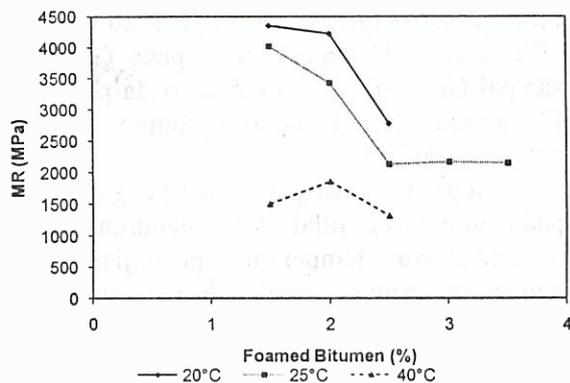
Pada temperatur ruang untuk benda uji 100% RAP dan variasi FB MR sekitar 1500 MPa sedangkan pada temperatur 40°C nilai MR turun hingga 500 MPa dan pada 50°C sekitar 250 MPa (Gambar 8). Penambahan semen pada benda uji memberikan pengaruh dapat menaikkan nilai MR (Gambar 9) yang berarti campuran makin kaku, demikian pula dengan perubahan komposisi campuran RAP dengan agregat+semen nilai MR ini dapat makin besar (Gambar 10). Hal ini diperkirakan karena adanya perbaikan gradasi campuran sehingga kepadatan benda uji menjadi lebih besar.



Gambar 8. Hubungan MR Vs % FB dengan variasi temperatur pengujian, pada 100% RAP.



Gambar 9. Hubungan MR Vs % FB dengan variasi temperatur uji, 100% RAP+1% PC.



Gambar 10. Hubungan MR Vs Kadar FB dengan variasi temperatur pengujian, pada 100% RAP + agregat + 1 % PC.

PEMBAHASAN

Penentuan kadar aspal busa

Memperhatikan hubungan besarnya ITS dan kadar aspal busa (Gambar 2 sampai Gambar 6) untuk seluruh variasi temperatur dan tipe campuran, besarnya nilai ITS berfluktuasi turun naik dan tidak selalu didapat nilai ITS maksimum pada suatu titik penambahan kadar aspal busa. Diperkirakan hal ini karena variasi RAP dan kadar aspal yang terkandung didalam campuran bervariasi. Hal ini akan berpengaruh pada cara perencanaan menentukan kadar aspal busa yang optimum, sehingga sebagai pendekatannya dalam penentuan kadar aspal busa di laboratorium perlu dipertimbangkan selain besarnya nilai ITS langsung (unsoaked) juga ITS rendaman (*soaked*), nilai TSR (Tensile Strength Retained) yang saling berkaitan serta nilai UCS. Supaya campuran dapat mencapai homogenitas dengan kuantitas kadar aspal busa yang mencukupi, kadar aspal busa umumnya antara 1,7% dan 2,5% (Asphalt Academy, 2009). Heitzman (2007) mengkaji pada beberapa ruas jalan di Iowa (USA) dan mendapatkan bahwa pada pekerjaan daur ulang campuran dingin di tempat (*in place*) kadar aspal busa dalam perencanaan campuran yang digunakan adalah 2% yang kemudian dalam pelaksanaan lapangan disesuaikan menjadi 1,80%; penentuan kadar busa berdasarkan

kekuatan (*strength*) basah. Adanya pengaruh beban yang signifikan, daur ulang pada wilayah tersebut dibatasi penggunaannya untuk kendaraan truk lebih kecil dari 400 buah per hari.

Hubungan nilai ITS dan MR pada temperatur pengujian 20°C, 25°C, 40°C, dan 50°C.

Nilai ITS dari Gambar 2 sampai Gambar 6 serta nilai MR pada Gambar 8 sampai Gambar 10 dapat ditentukan hubungannya pada masing-masing temperatur pengujian. Berdasarkan analisa dan regresi data hubungan masing-masing nilai ITS dan MR pada temperatur pengujian adalah sebagai berikut :

Nilai ITS :

- $ITS_{20^{\circ}C} = 1,269 ITS_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,72$ 1)
- $ITS_{40^{\circ}C} = 0,590 ITS_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,83$ 2)
- $ITS_{50^{\circ}C} = 0,476 ITS_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,72$ 3)

Nilai MR :

- $MR_{20^{\circ}C} = 1,312 MR_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,64$ 4)
- $MR_{40^{\circ}C} = 0,548 MR_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,66$ 5)
- $MR_{50^{\circ}C} = 0,148 MR_{25^{\circ}C}$; $R^2 = 0,26$ (rendah) 6)

Rentang data tidak beraturan (*scatter*) sehingga nilai koefisien determinasi kurang besar, hal ini diperkirakan dari sifat dan homogenitas campuran. Koefisien determinasi (R^2) hubungan nilai $ITS_{50^{\circ}C}$ dengan $MR_{50^{\circ}C}$ sebesar 0,26 (kurang tinggi) sehingga persamaan 6) perlu ada pengujian lebih lanjut.

Hubungan nilai ITS dengan MR

Muthen KM (1998) menyatakan bahwa pada campuran dengan aspal busa *tensile strength* dan *modulus* turun dengan naiknya temperatur. Pada percobaan ini penurunan kedua parameter mendukung pendapat tersebut. Hubungan nilai ITS dengan MR pada temperatur pengujian 25°C dapat dilihat pada Gambar 11 yang menyatakan bahwa:

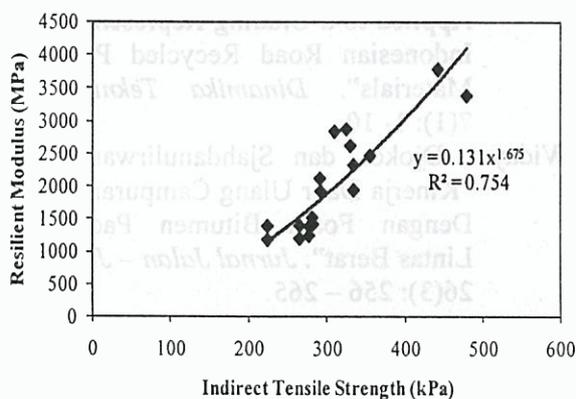
$$MR \text{ (MPa)} = 0,131 ITS^{1,675}, R^2 = 0,75 \text{7)}$$

Hubungan tersebut dapat berkorelasi dengan hipotesis sebagai berikut :

H_0 : tidak terdapat hubungan yang signifikan antara ITS dan MR.

H_1 : terdapat hubungan yang signifikan antara ITS dan MR.

Dengan uji statistik (metode Rank Spearman) dapat dihitung nilai r_s dengan kriteria pengujian: bila nilai $r_{hitung} \geq r_{tabel}$ maka H_0 ditolak dan bila $r_{hitung} < r_{tabel}$ maka H_0 diterima. Hasil perhitungan didapat $r_s = 0,898$ yang menunjukkan bahwa hubungan (korelasi) antara MR dan ITS adalah kuat. Karena nilai $r_{hitung} = 0,898 >$ dari nilai $r_{tabel} = 0,399$ ($\alpha=5\%$), maka disimpulkan H_0 ditolak artinya terdapat hubungan yang signifikan antara ITS dan MR.



Gambar 11. Hubungan nilai ITS dan MR pada temperatur 25°C.

Pada pengujian dengan temperatur rendah nilai ITS dan MR yang dihasilkan tinggi, sedangkan sebaliknya pada temperatur uji tinggi nilai yang dihasilkan dua parameter tersebut rendah. Besar MR cenderung naik dengan kenaikan besaran ITS.

Penentuan *coefficient layer*

Berdasarkan hubungan *coefficient layer* dan nilai ITS pada Wiertgen 2004 untuk campuran dingin pada nilai ITS 300 MPa *coefficient layer* sekitar 0,26 (per inch).

Dengan menggunakan Gambar 11, sebagai contoh pada ITS =300 kPa (kriteria yang disyaratkan untuk campuran dengan aspal busa), nilai MR pada temperatur 25°C sekitar

1800 MPa, sehingga pada temperatur 20°C (68°F) nilai MR sekitar 2300 MPa yang dihitung menurut (Persamaan 4). Berdasarkan AASHTO (1993) nilai *coefficient layer* lapis stabilisasi dengan aspal untuk lapis pondasi pada MR 2300 MPa (temperatur 20°C) identik dengan 0,28 per inch. Terdapat perbedaan antara nilai *coefficient layer* yang ditentukan berdasarkan ITS pada metode Wiertgen dan hasil analisa dari Gambar 11, walau demikian perbedaan relatif tidak terlalu besar.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Memperhatikan hasil kajian pada campuran dingin dengan aspal busa, dapat disimpulkan sebagai berikut :

- Penambahan agregat baru dan atau semen pada campuran dingin dengan aspal busa dan RAP, dapat menaikkan besarnya ITS.
- Pada hubungan besarnya ITS dan kadar aspal busa menunjukkan bahwa untuk seluruh variasi temperatur dan tipe campuran, besarnya nilai ITS berfluktuasi turun naik dan tidak selalu didapat nilai ITS maksimum pada suatu titik penambahan kadar aspal busa.
- Pada pengujian dengan temperatur rendah nilai ITS dan MR yang dihasilkan tinggi, sedangkan sebaliknya pada temperatur uji tinggi nilai yang dihasilkan dua parameter tersebut rendah. Besar MR cenderung naik dengan kenaikan besaran ITS.
- Dari analisa data dan regresi terdapat hubungan yang cukup baik ($R^2=0,75$) antara parameter *Indirect Tensile strength* dan *Resilient Modulus* campuran dingin dengan aspal busa.

Saran

Dari hasil pengujian dan pembahasan disarankan sebagai berikut :

- Dalam penentuan kadar aspal busa optimum di laboratorium agar dipertimbangkan selain besarnya nilai ITS

langsung (*unsoaked*) juga ITS rendaman (*soaked*), nilai TSR (*Tensile Strength Retained*) yang saling berkaitan serta nilai UCS. Agar ditentukan besarnya kadar busa minimum pada campuran.

- b. Hubungan ITS dan MR ini dapat digunakan sebagai pendekatan awal dalam menentukan *coefficient layer* lapisan dalam menentukan *Structural Number* (SN) pada perencanaan tebal perkerasan khususnya daur ulang menggunakan aspal busa sebagai pengikat.

DAFTAR PUSTAKA

- American Association of State Highway and Transportation Officials. 1993. *AASHTO Guide for Design of Pavement Structures*. Washington, DC.: AASHTO
- Asphalt Academy. 2009. *A Guide for the design and construction of bitumen emulsion and foamed bitumen stabilization materials*. Pretoria: Asphalt Academy.
- Federal Highway Administration. 1997. "User Guidelines for Waste and By-Product Materials in Pavement Constructions". FHWA-RD-97-148 Accessed May 26. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/>.
- Heitzman, M. 2007. Cold in Place Recycling Forensic Study on US Highway. *Proceedings of the 2007 Mid Continent Transportation Research Symposium*. IOWA: Ames
- Kazmierowski, T. 2009. In Place Pavement Recycling – The Playback of Green. *Thirteenth Annual Minnesota Pavement Conference*. Ontario: Ministry of Transportation
- Muthen, K.M. 1998. *Foamed Asphalt Mixes*. Contract Report CR-98/077. Pretoria: CSIR
- Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. 2007. *Spesifikasi Khusus Daur Ulang Campuran Dingin Dengan Aspal Busa Sebagai lapis Pondasi*. Jakarta: Balitbang PU.
- Shell Bitumen. 2003. *The Shell Bitumen handbook*. London: Thomas Telford
- Sunaryono, Sri. 2007. "Tensile Strength and Stiffness Modulus of Foamed Asphalt Applied to a Grading Representative of Indonesian Road Recycled Pavement Materials". *Dinamika Teknik Sipil* 7(1): 1- 10.
- Widayat, Djoko., dan Sjahdanulirwan. 2009. "Kinerja Daur Ulang Campuran Dingin Dengan Foam Bitumen Pada Lalu Lintas Berat". *Jurnal Jalan – Jembatan* 26(3): 256 – 265.
- Wirtgen Gmbh. 2004. *Cold recycling Manual*. Windhagen: Wirtgen
- Yoder, E.Y. and MW Witczak. 1975. *Principles of Pavement Design*. New York: Wiley Interscience Publication