

PERTAMBAHAN UMUR PERKERASAN JALAN AKIBAT PENGARUH PENAMABAHAN SERAT SELULOSA PADA LAPIS ASPAL BETON

Noor Salim^{*)}

ABSTRACT

Since Indonesia has abundant raw material of cellulose fibre, it is important to consider cellulose fibre as one of additives in pavement technology. Unfortunately, the study dealing with this problem is still limited.

This research was conducted to evaluate the effect of cellulose fiber as an additive to hot rolled sheet (HRS). The laboratory experiment was designed by adding cellulose fiber to asphalt and HRS mixture. Two types of asphalts were evaluated, i.e., asphalt pen 60/70 and asphalt pen 80/100. The optimum cellulose fiber and asphalt content were obtained by the Marshall test and the wheel-tracking test. These tests showed that increasing stability, Marshall quotient, and density, decreasing air void and flow, and improving resistance to permanent deformation were obtained by adding cellulose fiber to HRS.

The primary data obtained from laboratory experiments were analyzed by a computer program, namely VESYS III. The analysis showed that adding cellulose fiber to HRS surfacing improves pavement performance, i.e., decrease in cracking damage, increase in rutting resistance, decrease in slope variances, and increase in service life.

To evaluate the economic performance of adding cellulose fiber to HRS, the present value of four alternatives were studied using lifecycle cost analysis. The study showed that the present value of life cycle cost decreases with adding cellulose fiber to HRS surfacing. In the long term, using cellulose fiber in pavement is economical.

Key words : Hot rolled sheet, cellulose fiber

PENDAHULUAN

Dengan cepat perkembangan Negara Republik Indonesia, kebutuhan akan infrastruktur transportasi meningkat secara cepat di seluruh Negara ini. Jalan dalam konteks ini berperan sangat penting. Berdasarkan hal tersebut di atas sangatlah penting kesinambungan atas perbaikan kualitas dan reliabilitas jalan yang mana teknologi perkerasan menjadi salah satu faktor penting yang harus dipertimbangkan.

Untuk meningkatkan kualitas perkerasan jalan, usaha ini harus diawali oleh ahli teknik jalan. Sebagai contoh adalah bermacam-macam bahan tambah untuk material perkerasan, yang mana telah digunakan untuk menyediakan perkerasan berkualitas lebih, khususnya untuk lapisan permukaan jalan. Secara kebetulan banyak bahan tambah yang didapatkan dari bahan mineral yang mana persediaannya di dunia ini terbatas. Secara konsekuensi usaha untuk mencari sumber alternatif bahan tambah dalam campuran perkerasan sangatlah penting. Akhir-akhir ini serat selulosa sebagai salah satu alternatif yang diperkenalkan pada campuran aspal. Usaha dalam penggunaan serat selulosa di Indonesia masih dalam uji coba dan serat selulosa sebagian masih diimpor dari luar negeri. Bagaimanapun, Indonesia mempunyai persediaan bahan mentah untuk serat selulosa, dan juga hal ini sangat potensial untuk memproduksi serat selulosa di Indonesia.

Stuart et.al (1994) memperkenalkan dan mengevaluasi beberapa stabilisator tambahan pada stone mastic asphalt (SMA) untuk mencegah pengaliran dari bitumen dan agregat ketika pencampuran panas dilaksanakan. Durdak (1993) di pihak lain, menyimpulkan bahwa serat selulosa dapat meningkatkan kadar aspal, berat jenis, Marshall quotient, dan menurunkan rongga udara. Serupa dengan ide tersebut, Nurdin (1992)

menyimpulkan bahwa serat selulosa dapat digunakan sebagai bahan tambah pada perkerasan yang menggunakan split mastic asphalt (SMA) di Indonesia untuk menahan keretakan (cracking), terjadi alur karena roda kendaraan (rutting), iklim tropis, beban berlebih, dan faktor lingkungan lain.

Di pihak lain, kurangnya literatur untuk mengetahui pengaruh dari bahan tambah serat selulosa dari segi sifat teknis pada hot rolled sheet (HRS) kelas B. dalam kenyataannya HRS-B banyak digunakan untuk lapisan permukaan di Indonesia. Kekurangannya adalah keretakan dan alur karena roda kendaraan (rutting). Retak disebabkan lemahnya kuat tarik (tensile strength) dikarenakan onggga udara, tidak tercukupinya kadar aspal, dan lemahnya bitumen. Rutting di kadar aspal dan tidak mempunya kuat geser (shear strength) pada campuran. Penambahan serat selulosa pada HRS-B dalam studi ini dengan tujuan memperbaiki performan pekerasan.

MATERIAL DAN METODE PENELITIAN

Agregat yang digunakan dalam studi ini terdiri dari batu pecah kasar, sedang dan halus yang diproduksi dengan stone chruiser dan pasir diambil dari sungai. Aspal yang digunakan yaitu aspal pen.60/70 dan pe.80/100. Bahan tambah yang digunakan adalah serat selulosa tipe Custom Fiber31500 (CF 31500) dengan sifat fisik dan kimia sebagai berikut: warna abu-abu; pH 7,5; kadar air 4%; kadar organik 85%; berat jenis 30 gr/ltr; panjang serat <5000 mikron; ketahanan terhadap asam dan basa; bagus; ketahanan temperatur lebih dari 250°C; bagus; distribusi dalam campuran panas; uniform; hasil ekstraksi serat selulosa dari aspal beton: 100%.

Seluruh agregat dan aspal diuji berdasarkan spesifikasi Bina Marga. Untuk mencari kadar aspal optimum dengan cara: agregat dipanaskan pada temperatur 175-190°C. Aspal dipanaskan pada temperature 150-160°C. dalam penelitian ini digunakan 12 variasi yaitu: 6.3%; 6.4%; 6.5%; 6.6%; 6.7%; 6.8%; 6.9%; 7.0%; 7.1%; 7.2%; 7.3%; dan 7.4%, masing-masing 3 sampel.

Selanjutnya dilakukan uji Marshal. Batasan-batasannya adalah dalam spesifikasinya adalah rongga udara 3-6%, stabilitas minimum 550kg dan kuosien Marshal 1.8-5 kN/mm.

Setelah kadar aspal optimum ditentukan kemudian serat selulosa ditambahkan pada HRS. komposisi agregat yang digunakan mengacu pada job mix formula. Kadar aspal ang digunakan adalah kadar aspal optimum, kadar aspal optimum minus 0.5%, kadar aspal optimum plus 0.25 dan 0.5% dari total campuran.

Setelah persiapan, agregat dan filler dipanaskan pada temperature 175-190°C. Aspal dipanaskan pada temperature 140-160°C. Serat selulosa ditambahkan pada agregat yang dipanaskan dengan mesin penyampur selama 4-10 detik. Kemudian dicampurkan aspal yang telah dipanaskan sampai rata. Setelah dilakukan pamadatan dan pengujian Marshal yang mana akan didapatkan nilai-nilai stabilitas, rongga udara, kuosien Marshal, dan sendity, yang kemudian nilai-nilai tersebut diplot dengan kadar aspal dalam grafik individual. Batasan-batasannya adalah dalam spesifikasinya adalah rongga udara 3-6%, stabilitas minimum 550kg dan kuosien Marshal 1.8-5 kN/mm. Dan akhirnya dapat ditetapkan kadar selulosa optimum.

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

1. Hasil Pengujian Agregate

Aggregate yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari batu alam lokal yang tersedia. Batu alam yang terdapat dekat permukaan atau simpanan yang biasanya sudah lama. Gravel terbentuk dari pecahan batu alam. Partikel gravel didapatkan di

existing atau sungai, partikel biasanya halus dan bulat yang mana permukaan tersebut terjadi dari pengaruh air. Maka, gravel disyaratkan harus dipecah terlebih dahulu bila digunakan untuk HRS. Dari beberapa tipe agregat dihasilkan yakni agregat kasar (coarse aggregate), agregat sedang (medium aggregate), dan agregat halus (fine aggregate).

Dari hasil pengujian diatas menunjukkan bahwa hasil uji untuk setiap properties pengujian memenuhi dari koridor minimum dan maximum persyaratan Bina Marga. Berdasarkan hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa material dapat digunakan untuk Hot Rolled Sheet (HRS).

2. Hasil Pengujian Pasir Alam

Pasir terdiri dari batuan alam primer yang punya ketahanan paling tinggi dan merupakan residu terakhir dari proses pecahnya batuan. Biasanya mineral normalnya adalah dari No.8 (2.38 mm) ayakan sampai ukuran partikel debu (No.200 sieve = 0.074 mm). Banyak deposit pasir sering berisi lanau atau lempung dalam kuantitas variasi yang diinginkan untuk dicuci apabila digunakan untuk HRS. Pasir yang digunakan dalam penelitian ini didapatkan dari sungai. Berdasarkan dari hasil tersebut, pasir alam yang digunakan untuk HRS dalam penelitian ini memenuhi persyaratan dengan spesifikasi Bina Marga.

Kombinasi Agregat

Sebagian besar dari organisasi keteknikan menggunakan spesifikasi gradasi rapat dan tidak suka dengan gradasi terbuka. Sementara penelitian ini menggunakan gradasi senjang untuk HRS. Kombinasi agregat adalah penggabungan dari agregat kasar, sedang, dan halus serta pasir alam. Analisa saringan dari setiap individu agregat dan kombinasinya.

3. Hasil Pengujian Aspal Tanpa Serat Selulosa

Aspal yang digunakan didapatkan dari Pertamina Cilacap, Jawa Tengah. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah tipe pen 60/70 dan pen 80/100. Secara umum hasil uji aspal ini memenuhi kriteria dari spesifikasi Bina Marga.

4. Hasil Uji Titik Lembek pada Aspal dengan Serat Selulosa

Hasil pengukuran nilai titik lembek pada aspal dengan tambahan serat selulosa menunjukkan bahwa penambahan serat selulosa pada aspal meningkatkan nilai titik lembek. Hasil ini mendukung pendapat LISMINTO et. Al (1993) bahwa penambahan serat selulosa akan meningkatkan titik lembek aspal. Peningkatan titik lembek pada aspal pen 60/70 lebih tinggi daripada aspal pen 80/100. Maka aspal pen 60/70 lebih cocok dipakai di daerah panas dibanding aspal pen 80/100. Juga hal ini sesuai dengan pendapat PELTONEN & PETRI'S (1990) bahwa risetnya mengatakan bahwa serat selulosa cocok untuk modifikasi aspal.

5. Hasil Pengujian Penetrasi pada Aspal dengan Serat Selulosa

Hasil pengujian penetrasi menunjukkan bahwa penambahan serat selulosa pada aspal menurunkan nilai penetrasinya. Penurunan nilai penetrasi pada aspal 60/70 lebih kecil dari pada aspal pen 80/100. Penurunan nilai penetrasi menyebabkan mengerasnya aspal. Dari hasil uji, aspal pen 80/100 dengan 3% serat selulosa merubah nilai penetrasi 90 ke 62, yang mana sama dengan penetrasi pada aspal pen 60/70 tanpa serat selulosa.

6. Kadar Aspal Optimum tanpa Serat Selulosa

Dari Pengujian Marshall didapatkan kadar aspal optimum adalah 6.5% untuk aspal pen 60/70, dan 6.4% untuk aspal pen 80/100. Dari hasil tersebut menunjukkan kadar aspal optimum aspal pen 60/70 lebih tinggi dari pada aspal pen 80/100.

Penentuan Kadar Serat Selulosa Optimum

Kadar serat selulosa optimum untuk masing-masing kadar aspal ditentukan dengan pengujian aspal oleh penambahan serat selulosa dari 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% dan 0.5% berat terhadap total campuran. Untuk aspal pen 60/70, variasi kadar aspalnya adalah 6%, 6.5%, 6.75% dan 7% dan untuk aspal pen 80/100 variasi kadar aspal adalah 5.9%, 6.4%, 6.65% dan 6.9%. Dari hasil Pengujian Marshall didapatkan kadar serat selulosa optimum untuk aspal pen 60/70 yaitu 0.3%, 0.29%, 0.3% dan 0.3% untuk kadar aspal 6%, 6.5%, 6.75% dan 7%. Serta kadar serat selulosa optimum untuk aspal pen 80/100 yakni 0.3%, 0.3%, 0.29% dan 0.33% untuk kadar aspal 5.9%, 6.4%, 6.65% dan 6.9%.

Hasil tersebut menunjukkan tingkatan umum dari nilainya dan trendnya dengan variasi kadar aspal di mana didapatkan kadar serat selulosa optimum adalah sebesar 0.30% dan kadar aspalnya 6.5% untuk aspal pen 60/70, dan kadar serat selulosa 0.29% dan kadar aspalnya 6.4% untuk aspal pen 80/100. Dari hasil tersebut menunjukkan bahwa penambahan serat selulosa mengakibatkan meningkatnya density, rongga udara, stabilitas dan Marshall Quotient. Hal tersebut sesuai dengan riset DARDAK (1993), LISMINTO (1992), dan MURDIN (1992).

Tebal Kedalaman Alur (Wheel Tracking Test)

Wheel Tracking Test digunakan untuk mengukur ketahanan campuran untuk deformasi permanen. Eksperimen ini dikerjakan pada HRS dengan aspal pen 60/70 pada 6.5% kadar aspal (optimum) dan HRS dengan penambahan serat selulosa 0.30% pada 6.75% kadar aspal. Dan selanjutnya dikerjakan pada hot rolled sheet dengan aspal pen 80/100 pada 6.4% kadar aspal (optimum) dan hot rolled sheet dengan bahan tambah serat selulosa 0.29% pada 6.65% kadar aspal.

Hasil pengujian wheel tracking memperlihatkan HRS dengan serat selulosa mempunyai ketahanan deformasi permanen lebih tinggi dibanding tanpa serat selulosa. Hampir mendekati 23% reduksi deformasi permanen pada campuran dengan aspal pen 60/70 dan 22% pada aspal 80/100 pada HRS dengan penambahan serat selulosa. Dari penelitian sebelumnya diterangkan bahwa penambahan serat selulosa pada aspal meningkatkan nilai titiklembek. DENNING dan CARSWELL (1981) mengatakan bahwa nilai titik lembek sangat berhubungan dengan performan untuk pengujian Wheel Tracking.

Campuran dengan tinggi ketahanan terhadap deformasi permanen cocok digunakan untuk lapisan aus yang tinggi tingkat lalu lintasnya. Hal ini sangat menguntungkan, bagaimanapun lapisan aus yang baik diisyaratkan di mana kendaraan berjalan dan berhenti, karena manuvernya memberikan tegangan geser.

7. Modulus Kekakuan dari Bitumen dan Campuran

Hasil nilai modulus kekakuan bitumen dan campuran yang didapatkan menunjukkan bahwa penambahan serat selulosa untuk HRS menambah nilai modulus

kekakuan baik bitumen maupun campurannya. Hampir mendekati 2.7% peningkatan nilai modulus kekakuan pada HRS dengan aspal pen 60/70 dan 4.9% untuk HRS dengan aspal pen 80/100 bila ditambah serat selulosa. Peningkatan grade aspal menyebabkan meningkatkan nilai penetrasi dan menurunkan titik lembek yang berindikasi menurunnya kekakuan bitumen. YORDER dan WITCZAK (1975) mengatakan bahwa penurunan titik lembek bitumen akan menurunkan bitumen dan campurannya. Modulus kekakuan rendah berindikasi campuran kurang kuat menghadapi beban lalu lintas. Modulus kekakuan tinggi sangat berhubungan dengan tingginya stabilitas yang berindikasi campuran tersebut kaku atau getas.

8. Prediksi Kedalaman Alur pada HRS menggunakan Program Komputer VESYS

Parameter α dan μ yang digunakan dalam VESYS, dikalibrasi menggunakan wheel tracking test. Data lalu-lintas dan data lingkungan yang digunakan dalam penelitian didasarkan pada informasi dari TANIFUJI (1980).

Struktural subsistem VESYS digunakan sebagai metode analisis untuk memprediksi kedalaman alur dari empat tipe HRS. Hasil analisis menunjukkan bahwa prediksi alur oleh struktural subsistem VESYS sesuai dengan pengamatan pada wheel tracking test. Beberapa variasi dalam system riil, perkiraan alami dari model itu sendiri, prediksi singkat yang hanya satu jam, variabilitas dan inakurasi dari prosedur tes laboratorium, semuanya berkontribusi pada perbedaan hasil. Kemiripan dari prediksi dengan hasil pengamatan, bagaimanapun, mengindikasikan penerimaan model VESYS yang digunakan.

9. Performan HRS tanpa dan dengan Serat Selulosa pada Model Komposit

Dengan menggunakan model komposit dengan empat tipe HRS yang diuji. Ketebalan lapisan perkerasan mengacu pada spesifikasi Bina Marga untuk lalu-lintas padat. Performan HRS diuji menggunakan program computer VESYS. Perkerasan dievaluasi setiap periode 20 tahun. Program computer yang digunakan akan menghitung tingkat tekanan dan performan. Tekanan perkerasan dalam hal rutting, varian kedalaman, dan kerusakan dihitung. Indikator kerusakan ini kemudian digunakan dalam hubungan performa untuk menguji serviceability history dari perkerasan. Proses analisis diulang sampai tingkat penghitungan kerusakan dan serviceability history mencapai tingkat kesesuaian yang diharapkan dari kriteria desain.

Hasil penghitungan kerusakan retak-retak pada empat tipe permukaan menunjukkan bahwa kerusakan retak-retak dari model eksisting permukaan HRS dengan serat selulosa lebih rendah daripada permukaan HRS tanpa serat selulosa pada umur 8 tahun perkerasan. Tetapi setelah umur 8 tahun, kondisi kerusakan retak-retak pada kedua macam perkerasan itu sama. Selain itu, nilai stabilitas dari kedua HRS dengan dan tanpa serat selulosa, semuanya tinggi. Secara umum, hasil untuk empat campuran ini menunjukkan bahwa perkerasan mempunyai ketahanan yang rendah terhadap keretakan. Keretakan dari perkerasan aspal selalu menimbulkan masalah, karena dapat secara langsung mempengaruhi pavement rideability dan material behavior dan juga service life. Jika hal ini tidak ditangani, keretakan bias menimbulkan kerusakan lebih parah. Kerusakan ini bersifat irreversible dan merupakan factor utama kerusakan permukaan perkerasan.

Konsekuensi dari kerusakan ini adalah: (1) biaya perawatan (maintenance cost) menjadi lebih mahal, (2) meningkatkan biaya pengguna, (3) meningkatkan biaya rehabilitasi, (4) menurunkan serviceability, dan service life.

Permukaan HRS yang dilapisi serat selulosa menunjukkan stabilitas lebih tinggi daripada HRS tanpa serat selulosa. Model eksisting yang menggunakan permukaan HRS dengan serat selulosa memiliki ketahanan lebih tinggi terhadap rutting dibanding model eksisting menggunakan permukaan HRS tanpa serat selulosa. Hasil studi ini mendukung kesimpulan ANANI et.al (1990) bahwa stabilitas dan kekompakan Marshall menunjukkan dampak yang signifikan pada rutting campuran aspal.

Varian kemiringan pada model eksisting permukaan HRS dengan serat selulosa lebih rendah daripada HRS tanpa serat selulosa. Kriteria varian kemiringan perkerasan mengindikasikan mutu perkerasan ditunjukkan dengan slope varians index.

Gambar hubungan antara Prediksi Serviceability dengan Waktu pada HRS menunjukkan hasil dari Present Serviceability Index (PSI), yang merupakan ukuran kemampuan momentum dari perkerasan melayani lalu-lintas. Normalnya limit lebih rendah antara 1.5 dan 2.5 digunakan tergantung level yang dibutuhkan. Dalam studi ini, nilai PSI adalah 2.5 untuk lalu-lintas padat. Hasil studi ini memaparkan pengujian-pengujian dari tahun-tahun sebelum diperlukannya maintenance, untuk parameter various distress, seperti ditunjukkan pada output VESYS. Dari gambar menunjukkan bahwa model eksisting dengan HRS tanpa serat selulosa mampu bertahan 17 tahun dengan aspal pen 80/100 dan 19 tahun dengan aspal pen 60/70. Sedangkan umur pada HRS dengan serat selulosa dengan aspal pen 80/100 dan 60.70 adalah 21 dan 22 tahun. Perbedaan umur model eksisting menggunakan HRS tanpa serat selulosa dan dengan serat selulosa meningkat 23% dan 16% untuk aspal pen 80/100 dan 60/70. Jadi secara umum dapat disimpulkan bahwa penambahan serat selulosa pada HRS memberikan hasil yang signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

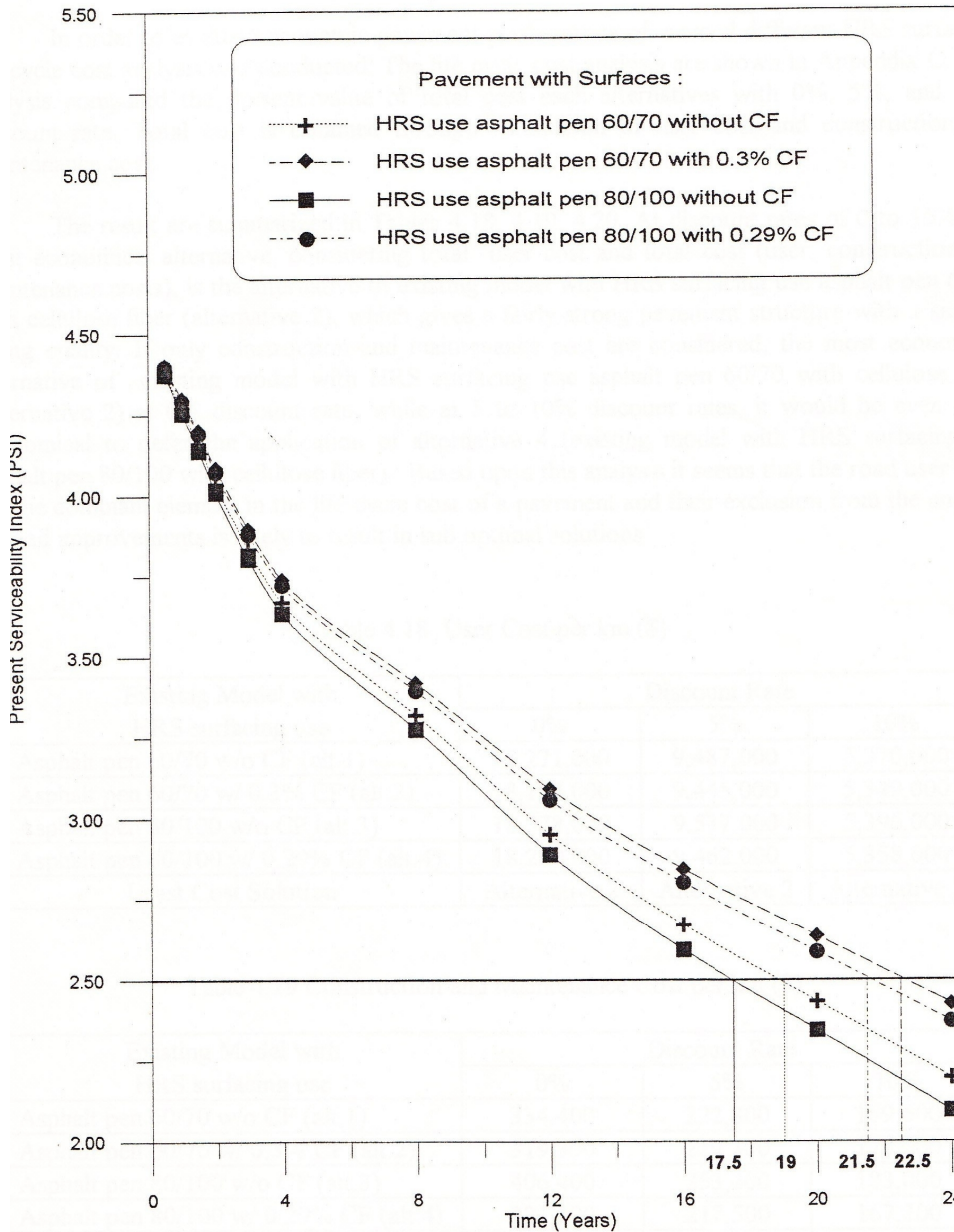
Kesimpulan

Pengujian perhitungan, dan analisa data dari penelitian ini dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Penambahan serat selulosa pada aspal menurunkan nilai titik lembek. Berdasarkan hal itu, maka diinginkan pemakaian serat selulosa pada jalan di daerah panas.
2. Kadar aspal optimum untuk HRS-B tanpa serat selulosa dengan menggunakan aspal pen 60/70 adalah 6.5% dan yang menggunakan aspal pen 80/100 adalah 6.4%. Lebih lanjut, HRS-B dengan memakai aspal dengan tinggi gradenya mempunyai kadar aspal optimum rendah.
3. Kadar serat selulose adalah 0.4% dan kadar aspal 6.75% untuk HRS-B dengan aspal pen 60/60, sedangkan untuk HRS-B dengan aspal pen 80/100 adalah kadar serat selulosenya sama dengan 0.29% dan kadar aspal 6.65%. Maka dengan penambahan serat selulose meningkatkan kadar aspal.
4. Penambahan serat selulose HRS-B menyebabkan peningkatan stabilitas, Marshall Kuosien, density, dan menurunkan rongga serta flow.
5. Dari hasil pengujian dengan mesin wheel tracking menunjukkan bahwa ketahanan terhadap deformasi permanen meningkat dengan penambahan serat selulose.mendekati 22% penurunannya deformasi permanen didapatkan pada HRS-B dengan penambahan serat selulosa.
6. Modulus kekakuan aspal dan campuran HRS-B meningkat dengan penambahan serat selulosa. Hal ini berindikasi pada tingginya kapasitas landasan beban dan

ketahanan terhadap deformasi serta gaya geser, khususnya untuk mengantisipasi pada kendaraan dengan kecepatan tinggi.

7. Dengan menggunakan program VESYS III, menunjukkan bahwa penambahan serat selulose pada HRS menambah performan yaitu :mengurangi keretakan, menambah ketahanan terhadap rutting, mengurangi lendutan, serta menambah umur perkerasan jalan.



Gambar 1. Hubungan Antara Prediksi Serviceability dengan Waktu pada HRS

Saran

1. Penelitian ini agar dikerjakan pula dengan tipe aspal yang lainnya, terutama yang tersedia di Indonesia.

2. Untuk mendapatkan hasil terbaik, disarankan untuk uji dan analisa secara fisik dan kimia mengenai karakteristik dari serat selulosa.
3. Pengujian lapangan disyaratkan agar dapat memperoleh data atau hasil yang lebih akurat dan untuk mendapatkan kesimpulan yang realitas.
4. Waktu yang lama dalam penelitian seperti ini untuk mengetahui faktor-faktor yang lain seperti aging (penuaan) aspal dan lain-lain.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1974. Standard Specification for Transportation Material and Method of Sampling and testing. American Association of State Highway and Transportation Officials. Washington, USA
- ASTM. 1995. "Road and Paving Materials; Pavement Management Technologies," Designation: D 3515. Annual Book of ASTM Standarts. Part 4. Philadelphia. Pa.
- Asphalt Institute. 1983. Asphalt Technology and Construction Practices. Maryland. USA.
- Dardak, H. 1993. Penelitian Penggunaan Roadcell pada Mastic Asphalt Mixture. Pusat Penelitian dan pengembangan Jalan. Departemen P.U. Bandung. Indonesia.
- Denning, J.H. and Carswell, J. 1981. Improvement in Rolled Asphalt Surfacing by the Addition of Sulphur. Transport and Road Research Laboratory 963. Crowthone. Berkshire.
- Direktorat Bina Marga. 1983. Petunjuk Pelaksanaan Lataston. Departemen P.U. Jakarta. Indonesia.
- Lisminto dan As'ad M. 1993. Mekanisme Stabilisasi Aspal Oleh Serat Sellulosa di Dalam Campuran Splite Mastic Asphalt. Drektorat Jendral Bina Marga Departemen P.U. Indonesia.
- Nurdin I. 1992. Laporan Pengujian Serat Sellulosa Tipe Custom Fibre 31500. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan. Departemen P.U. Bandung.
- Peltonan and Petri. 1990. Testing and Use of Fiber Bitumen Composites as Asphalt Binder. Valtion Teknillinen Tutkimuskestus. Tutkimusia 709.
- Tanifuji, M.I. 1980. Instruction of Immersed Wheel Tracking Machine Model TR-332 M. Tanifuji Machine Industries Co. Ltd. Tokyo. Japan.
- Van Der Poel, C. 1954. A General System Describing the Visco-Elastic Properties of Bitumens and Its Relation to Routine Test Data. Shell Vitumen Reprint No. 9. Shell Laboratorium Konink-Ijijike.
- Van Draat, W.E.F.; and P. Sommer. 1965. Ein Geraztur Bestimmung der Dynamischen Elastizitats Antobahn, Volume 35.
- Yoder, E.J. and Wittczak, M.W. 1975. Principle of Pavement Design. John Willey & Sons Inc. oronto. Canada.

*) *Dosen Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember*