**MENINGKATKAN DURABILITAS BAHAN PENGIKAT ASPAL MENGGUNAKAN SERBUK MIKRO LIMBAH BAN SEPEDA MOTOR**

**Henri Siswanto1), Bambang Supriyanto2)**

1Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

Email: [henri.siswanto.ft@um.ac.id](mailto:henri.siswanto.ft@um.ac.id)

2Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

Email: [bambang.supriyanto.ft@um.ac.id](mailto:bambang.supriyanto.ft@um.ac.id)

***Abstract***

*Indonesia has a tropical climate with high rainfall and experiences frequent flooding which are a*

*major causes of road deterioration. It requires solutions one of which is to formulate an asphalt mix that has a high durability, and one of the answers is to mix Crumb Rubber (CRM) with asphalt mix. The purpose of this experimental study was to investigate the effect of crumb rubber of motorcycle tire waste (CRM) on the durability of asphalt concrete (AC). CRM, passing #30, #50 and #100 sieve size, was mixed with aggregate. Seven levels of CRM content were investigated in this study, namely, 0%,*

*0.5%, 1%, 1.5% 3%, 4.5% and 6.0% respectively by weight of mix. A dry process was used in the blending of mixtures. Three of six specimens from each group were tested under standard Marshall.*

*The remaining specimens were tested by immersing in a bath at 60⁰C for 24 hours. The results indicated that the 0.5% CRM mixture was the best.*

***Keywords*** *: crumb rubber of motorcycle waste, asphalt concrete wearing course; durabilty.*

**1. PENDAHULUAN**

Kerusakan perkerasan jalan merupakan masalah yang belum terpecahkan dan masih akan menjadi masalah di masa yang akan datang. Menurut Takasana (2004) kerusakan jalan di Jawa Timur di masa yang akan datang semakin tinggi,hal ini karena 20% jalan nasional di Jawa Timur atau sepanjang 380 km dan 46% jalan propinsi atau sepanjang 662 km mempunyai umur rencana kurang dari 10 tahun. Sedangkan kemampuan dana pemeliharaan dari tahun ke tahun semakin tidak memadai dengan kebutuhan penanganan pemeliharaan jalan.

Menurut Rantetoding (1986) di Negara tropis seperti Indonesia, penyebab utama keruntuhan perkerasan jalan adalah karena temperatur permukaan jalan tinggi, curah hujan tinggi dan beban lalu lintas. Di siang hari temperatur permukaan bisa mencapai 58○C sampai 61○C , yang mana nilai tersebut melebihi temperatur titik lembek dari aspal penetrasi 60/70 yaitu sekitar 48○C.

Kombinasi pengaruh temperatur tinggi dan lalu lintas berat menyebabkan deformasi dan kerusakan dini. Deformasi dan kerusakan dini terjadi salah satunya karena tingginya nilai kepekaan terhadap temperatur bahan pengikat aspal (*asphalt binder*). Situasi ini dapat di atasi dengan penggunaan bahan pengikat aspal yang mempunyai durabilitas tinggi. Durabilitas bahan pengikat aspal dapat ditingkatkan dengan meningkatkan sifat fisiknya.

Sifat fisik bahan pengikat aspal dapat ditingkatkan dengan menambah bahan tertentu. Serbuk mikro ban sepeda motor adalah salah satu aditif yang dapat diharapkan untuk meningkatkan sifat fisik bahan pengikat aspal, utamanya dalam hal meningkatkan durabilitasnya.

Solyman, dkk (2013) telah meneliti dan menunjukkan bahwa cacahan ban dalam bentuk bubuk berdiameter 0,08 mm dan LDPE (low density polyethylene, plastic waste) ditambahkan pada aspal dapat meningkatkan titik lembek aspal. Malarvizi, dkk (2012) juga menemukan bahwa dengan pengujian *indirect tensile* dan unconfine compression test pada SMA (split mastic asphalt mix) dengan tambahan CR + LDPE dapat meningkatkan sifat-sifat teknis dan meningkatkan kinerja keawetan campuran aspal.

Dari penelitian sebelumnya telah menunjukan bahwa penambahan lateks (bahan yang terkandung dalam serbuk ban) dapat mengurangi kepekaan terhadap temperatur bahan pengikat aspal yang

ditandai kenaikan nilai indeks penetrasi dari bahan pengikat aspal setelah ditambah leteks (Siswanto,

2003). Hal ini menguntungkan karena bahan aspal semakin tahan terhadap temperatur yang tinggi di lapangan. Menurut penelitian Vichicholchay (2012), penambahan 6% *natural rubber* adalah paling

efektif untuk meningkatkan sifat fisik bahan pengikat aspal yaitu menurunkan nilai penetrasi, meningkatkan titik leleh aspal dan indeks penetrasi aspal.

Ada beberapa argumen kenapa meneliti limbah ban sepeda motor; (1) perkembangan jumlah

sepeda motor di Indonesia sangat tinggi akan menghasilkan limbah ban yang tinggi, (2) pemanfaatan limbah ban sepeda motor belum berkembang seperti pemanfaatan ban roda empat, (3) komposisi ban sepeda motor berbeda dibanding komposisi ban roda empat, (4) ban sepeda motor mengandung lateks yang dapat meningkatkan sifat fisik bahan pengikat aspal.

Menurut statistik Departemen Perindustrian penjualan kendaraan bermotor roda dua dalam kurun waktu enam tahun terakhir dari Tahun 2006 sampai Tahun 2011 mengalami kenaikan rata-rata sebesar

9,16% pertahun. Pada tahun 2006 secara nasional terjual kendaraan roda dua sebesar 4.428. 274 buah, sedangkan pada tahun 2011 terjual 8.043.535 buah, terjadi kenaikan penjualan kendaraan roda dua

sebesar 81,64%.

Usulan ini merupakan lanjutan dari penelitian yang telah dilakukan atau didanai pada tahun pertama. Simpulan dari penelitian yang telah dilakukan pada tahun pertama adalah; 1) penambahan serbuk limbah ban sepeda motor (SLB) menurunkan kehilangan berat bahan pengikat aspal, 2) ukuran

serbuk mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil penurunan bahan pengikat aspal, sedangkan kadar serbuk mempunyai pengaruh tetapi tak signifikan terhadap penurunan kehilangan berat, 3) hasil penurunan kehilangan berat terbesar terjadi pada ukuran mesh 30 dengan kadar SLB 4%, 4) penambahan SLB meningkatkan titik lembek bahan pengikat aspal, ditandai dengan meningkatnya temperatur titik lembek pada bahan pengikat aspal dengan penambahan SLB, 5) ukuran serbuk dan kadar serbuk mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil peningkatan titik lembek bahan pengikat aspal, 6) hasil kenaikan titik lembek tertinggi terjadi pada ukuran serbuk mesh 30 dengan kadar 6%, baik sebelum TFOT maupun setelah TFOT.

Hasil dari penelitian tahun pertama tersebut menunjukkan bahwa SLB mempunyai pengaruh meningkatkan sifat fisik bahan pengikat aspal, bahan pengikat aspal menjadi kurang peka terhadap temperatur atau lebih tahan terhadap panas tinggi di siang hari yang menjadi salah satu penyebab kerusakan jalan. Rekomendasi dari penelitian tahun pertama adalah agar dilakukan penelitian lanjutan mengenai pengaruh sifat mekanik dari penambahan SLB pada campuran aspal.

Sifat mekanik dapat diketahui melalui serangkaian pengujian skala laboratorium dengan simulasi berbagai pembebanan pada benda uji dan diamati reaksi serta deformasinya. Sifat mekanik meliputi;

1) stabilitas campuran aspal yaitu ketahanan menahan beban, 2) deformasi maksimum campuran

aspal, 3) rongga dalam campuran aspal, 4) rongga campuran terisi aspal, dan 5) nilai Marshall quotion.

Dari uraian diatas maka dipandang perlu untuk dilakukan penelitian lanjutan untuk mengetahui

bagaimana pengaruh penambahan SLB terhadap sifat mekanik campuran aspal dan kadar SLB

terbaik.

**2. KAJIAN LITERATUR**

Serbuk mikro limbah ban sepeda motor mengandung lateks, beberapa penelitian tentang lateks telah dilakukan, dan menghasilkan informasi positif yang mendukung penelitian ini untuk dilakukan.

Menurut Siswanto (2003) penambahan lateks dapat mengurangi kepekaan terhadap temperatur bahan pengikat aspal yang ditandai kenaikan nilai indeks Penetrasi, kenaikan titik lembek dan kenaikan nilai penetrasi dari beban pengikat aspal setelah ditambah lateks yang tinggi di lapangan.

Dari penilitian Siswanto ( 2003) menunjukan bahwa dengan mengasumsi nilai penetrasi saat titik lembek adalah 800 nilai Indeks pentrasi adalah -0,74, -0,43 0,17 dan 0,44 untuk aspal dengan kadar lateks 0%, 2%, 4% dan 6%. Ini telah menunjukkan bahwa penambahan lateks padabahan pengikat aspal menaikan indeks penetrasi, ini menunjukan bahwa penambahan lateks pada aspal menurunkan kepekaan terhadap temepratur bahan pengikat aspal.

Dari penelitian juga telah terbukit lateks menurun kan pentrasi, nilai pentrasi yang di uji dalam kondisi standart menurun seiring dengan pendambahan lateks. Temperatur titik lembek meningkatnya kadar lateks, maka bisa di artikan bahwa leteks aspal kurang peka terhadap temperature di banding aspal kovensiaonal (Siswanto, 2003)

Lateks juga dapat meningkatkan durabilitas campuran aspal. Menurut Siswanto (2007) dari penelitian durabilitas campuran lateks-aspal yang dilakukan mendapat tiga kesimpulan yaitu; (1)

Penambahan lateks meningkatkan durabilitas bahan pengikat aspal, ditandai dnegan menginkatnya *retained penetration* pada bahan pengikat aspal dengan penambahan lateks, (2) Dari pengujian kehilangan berat juga menunjukkan kenaikan durabilitas, hal ini terbukti dengan semakin besar kadar lateks dalam bahan pengikat aspal semakin kecil nilai kehilangan berat, (3) Pada pengujuan daktilitas setelah dan sebelum TFOT (*Thin Film Oven Test*), menunjukkan bahwa penambahan lateks pada bahan pengikat aspal menunjukkan hasil yang sama semua lateks-aspal, baik yang kadar lateksnya

0%, 2%, 4% maupun 6% mempunyai nilai daktilitas lebih besar 140 cm.

Penelitian Siswanto (2014a) mendapat hasil bahwa; 1) penambahan serbuk limbah ban sepeda motor menurunkan kehilangan berat bahan pengikat aspal, 2) ukuran serbuk mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil penurunan bahan pengikat aspal, sedangkan kadar serbuk mempunyai pengaruh tetapi tak signifikan terhadap penurunan kehilangan berat, 3) hasil penurunan kehilangan berat terbesar terjadi pada ukuran mesh 30 dengan kadar SLB sepeda motor 4%.

Serbuk limbah ban sepeda motor juga dapat meningkatkan sifat fisik titik lembek aspal, menurut Siswanto (2014b); 1) penambahan serbuk limbah ban sepeda motor meningkatkan titik lembek bahan pengikat aspal, ditandai dengan meningkatnya temperatur titik lembek pada bahan pengikat aspal

dengan penambahan serbuk limbah ban sepeda motor, 2) ukuran serbuk dan kadar serbuk mempengaruhi secara signifikan terhadap hasil peningkatan titik lembek bahan pengikat aspal, 3) hasil kenaikan titik lembek tertinggi terjadi pada ukuran serbuk mesh 30 dengan kadar 6%, baik sebelum TFOT maupun setelah TFOT.

Aspal diklasifikasikan berdasarkan konsistensinya dnegan menggunakan pengukuran standar misalnya penetrasi atau viskositasnya. Untuk itu maka syarat-syarat spesifikasi dan memuaskan dalam pelaksanaan di lapangan. Dalam masa produksi, masa pengiriman, dan dalam masa pelayanan, terjadi pengerasan aspal sebagai konsekuensi dari proses oksidasi. Ini penting untuk dipahami dan dicermati agar tingkat kritis dari pengerasan tidak dicapai sebelum akhir umur rencana dari lapisan aspal.

Kesimpulan oleh NCHRP REPORT 56 (1979) adalah bahwa pengerasan sangat berhubungan dengan kinerja pengerasan dan tergantung pada jenis aspal, desain campuran kepekaan terhadap

pengerasan selama pencampuran dan pelaksanaan konstruksi, tingkat pengerasan dalam pelayanan

dan interaksi aspal dengan agregat. Fungsi aspal dalam campuran aspal adalah sebagai pelumas saat campuran dihampar agar mencapai kepadatan dan kemudian bertindak sebagai pengikat-*viscoelastic* dengan viskositas tinggi untuk menahan beban lalu-lintas.

*The Thin Film Oven Test* (TFOT), ASTM D 1754-97(2003) adalah jenis pengujian yang dipakai

untuk mengetahui perubahan sifat-sifat fisik aspal setelah mengalami pemanasan yang diindikasikan dengan nilai penetrasi, nilai duktilitas dan nilai kehilangan berat. TFOT juga dapat untuk mensimulasi pengerasan aspal yang terjadi selama pencampuran, pengiriman dan penghamparan.

Polimer karet yang ada di ban bekas kendaraan telah digunakan sebagai aditif untuk

meningkatkan kekuatan ikatan aspal dengan agregat. Ini berarti sekaligus juga memecahkan masalah lingkungan, ban bekas tidak dibakar percuma. Berkaitan dengan isu lingkungan, beberapa negara sudah menjalankan daur ulang aspal, jalan aspal yang rusak tidak ditambal dengan aspal baru tetapi dengan daur ulang aspal (Ismunandar, 2006).

Ban bukanlah hanya campuran antara karet alam dengan karet sintetik, tetapi dalam wujud campuran-campuran, yang terdiri dari elastomer-elastomer dan berbagai bahan tambahan. Bahan tambahan dapat digolongkan sebagai bahan vulkanisasi, penggerak-penggerak vulkanisasi dan accelerators, pengisi-pengisi penguatan, semi reinforcing, atau pencampur, antidegradants, pelunak- pelunak.

Ban bekas bersifat stabil dan merupakan suatu polimer berantai panjang. Beberapa karakteristik dari ban bekas yaitu stabilitasnya dan sifatnya yang tahan lama, yang sangat menarik, dan kelayakannya selama pemakaiannya. (Liang, 2004).

Desain campuran aspal meliputi pemilihan tipe agregat, gradasi agregat dan jenis bitumen serta

penentuan kadar aspal yang diharapkan dicapai hasil yang optimum sesuai sifat-sifat yang diinginkan berhubungan perilaku di lapangan (Shell Bitumen, 1990).

Secara umum tujuan perencanaan campuran aspal (The Ashalt Institute, 1993) adalah untuk menentukan biaya efektif dari campuran yang mempunyai hal-hal sebagai berikut: 1) Cukup aspal

untuk menjamin durabilitas perkerasan. 2) Cukup stabilitas melayani beban lalu lintas tanpa terjadi distorsi atau penurunan. 3) Cukup rongga untuk mengijinkan pemadatan tambahan karena beban lalu lintas dan pengembangan aspal yang disebabkan penginkatan temperatur tanpa terjadi bleeding atau

kehilangan stabilitas. 4) Cukup tingkat kemudahan pengerjaanya, tanpa terjadi pemisahan dan tanpa kehilangan stabilitas dan kinerjanya. 5) Tekstur dan kekerasan agregat bagus untuk menciptakan kekasaran permukaan terutama pada kondisi cuaca buruk.

Benda uji diuji ketahanannya terhadap deformasi pada temperatur 600C dengan kecepatan konstan 5cm per menit. Dari pengujian ini didapat dua hal yaitu beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji sebelum runtuh atau disebut Stabilitas Marshall dan yang kedua total deformasi benda uji saat runtuh disebut Marshall *Flow*. Rasio stabilitas dengan Flow disebut *Marshall quotient*.

Kadar aspal optimum ditentukan dari analisa kurva-kurva tersebut, berdasarkan spesifikasi yang terdapat dalam SNI. Campuran yang terpilih adalah yang paling ekonomis dan memenuhi kriteria yang telah ditetapkan.

**3. METODE PENELITIAN**

Pengujian bahan pengikat aspal dilakukan di laboratorium Jurusan Teknik Sipil FT UM, bahan pengikat aspal yang dipkai dalam penelitian adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT Pertamina Unit Produksi Cilacap dan serbuk ban dapat dipesan secara khusus di Malang.. Jenis pengujian pada bahan pengikat aspal dan pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 1, sampai dengan Tabel 3. Setelah dilakukan pengujian terhadap bahan aspal, hasil pengujian dibandingkan terhadap spesifikasi SNI. Secara bagan alir tahapan penelitian disampaikan dalam Gambar1.

Pencampuran serbuk limbah ban dalam campuran aspal ada dua cara, yaitu proses kering dan proses basah. Proses kering, serbuk limbah ban dicampur bersama agregat kemudian dipanaskan dan

ditambah bahan pengikat aspal yang telah dipanaskan. Setelah agregat, bahan pengikat aspal dan

serbuk limbah ban dicampur dalam kondisi panas kemudian dilanjutkan pemadatan.

**Tabel 1 Standar Pengujian dan Jenis Pengujian Aspal**

No Jenis Pengujian Standar Pengujian

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Pengujian Penetrasi | SNI-06-2456-1991 |
| 2 | *Thin Film Oven test* | ASTM D 1754-97(2003) |
| 3 | Pengujian Beret Jenis | SNI-06-2441-1991 |
| 4 | Pengujian Daktilitas | SNI-06-2432-1991 |
| 5 | Pengujian Daktilitas setelah TFOT | SNI-06-2432-1991 |
| 6 | Pengujian Titik Lembek | SNI-06-2434-1991 |
| 7 | Pengujian Titik Nyala | SNI-06-2433-1991 |
| 8 | Pengujian Viskositas | ASTM E 102-93(1997) |

**Tabel 2 Jenis Pengujian pada Agregat Kasar**

No Jenis Pengujian Standar Pengujian

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| 1 | Pengujian Berat Jenis | SNI-03-1969-1990 |
| 2 | Pengujian Penyerapan Air | SNI-03-1969-1990 |
| 3 | Pengujian Los Angeles Abrasion | SNI-03-2417-1991 |
| 4 | Pengujian Analisa Saringan | SNI-03-1968-1990 |
| 5 | Pengujian Kepipihan | BS - 812 - 1985 |
| 6 | Pengujian Kelekatan Aspal | SNI-06-2439-1991 |

**Tabel 3 Jenis Pengujian pada Agregat Halus**

No Jenis Pengujian Standar Pengujian

1 Pengujian Berat Jenis

2 Pengujian Penyerapan Air

3 Pengujian Analisa Saringan

SNI-03-1970-1990

SNI-03-1970-1990

SNI-03-1970-1990

Pada proses basah dilakukan pencampuran aspal dengan serbuk limbah ban terlebih dahulu, setelah itu bahan pengikat tersebut dicampur dengan agregat. Aspal dipanaskan sampai temperatur

140-170C kemudian ditambahkan serbuk limbah ban pelahan, kemudian diaduk selama 20 menit. Air akan menguap pada temperatur 95-100C dan pengembangan volume terjadi, tergantung tingkat

pemanasan. Selajutnya campuran dibiarkan tanpa di aduk untuk mencapai suhu ruang.

SLB meningkatkan Sifat Fisik

Bahan Pengikat Aspal Riset Tahun

Ke-1

Pemilihan dan Pengujian Agregat, Gradasi, Lateks, dan Aspal

Spesifikasi

Tidak

Ya

Pembuatan Benda Uji Marshall

Pengujian Marshall

Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kegiatan Riset Tahun ke-2

Pembuatan Benda Uji Marshall pada Campuran Aspal dengan Variasi kadar dan ukuran SLB

Pengujian Marshall

Analisa Data

dan Penentuan Ukuran Serbuk Terbaik

Kesimpulan dan Saran

**Gambar 1 Bagan Alir Kegiatan Penelitian.**

Empat tujuh kadar serbuk ban yang diteliti adalah 0%, 0.5%, 1%, 1.5%, 2%, 4% dan 6% terhadap berat bahan pengikat aspal. Kadar serbuk terbesar diambil 6% ini mengacu pada pendekatan rekomendasi Siswanto (2003) dimana dalam pencampuran dengan lateks kadar 6% adalah batas workabilitas yang memungkinkan, diatas kadar 6% susah dilakukan pencampuran dan memerlukan temperatur pencampuran lebih dari 170C dan menurut SNI 1737-1989 temperatur pencampuran lebih dari 170 tidak diperkenankan karena akan merusak sifat fisik aspal.

Jumlah benda uji masing-masing jenis pengujian adalah 3 buah, sesuai dengan ketentuan dalam

SNI maupun ASTM yaitu jumlah minimal masing-masing benda uji adalah 3 buah.

Pembuatan benda uji dan pengujian Marshall untuk penentuan kadar aspal optimum dengan

*Marshall Analysis*, kadar serbuk-aspal optimum yang akan dipakai untuk serangkaian pengujian mekanika di laboratorium. Pada pengujian Marshall benda uji dilakukan pengujian ketahanannya terhadap deformasi pada temperatur 60°C dengan diberi beban berkecepatan konstan 5 cm per menit dengan menggunakan alat uji Marshall. Dari pengujian ini didapat dua hal yaitu beban maksimum yang dapat ditahan oleh benda uji sebelum runtuh atau disebut Stabilitas Marshall dan yang kedua total deformasi benda uji saat runtuh disebut Marshall *Flow*.

Untuk menentukan kadar aspal optimum pengujian Marshall dilakukan metode Marshall analysis terhadap kriteria-kriteria Marhall, yaitu stabilitas Marshall, kelelehan, rongga dalam campuran,

*Marshall qoution*, rongga terisi aspal. Penentuan pengaruh penambahan serbuk limbah ban terhadap *Marshall Immersion* digunakan SPSS, sedangkan untuk menentukan kadar serbuk terbaik digunakan metode perbandingan eksponensial.

**4. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Ada 5 parameter Marshall yang perlu dianalisa dalam penelitian ini, yaitu stabilitas, kelelehan, VIM, VMA, VFB dan MQ. Ada 3 jenis campuran aspal yang dipakai dalam penelitian ini, yaitu HRS, ATB dan ACWC. Ketiga jenis campuran menghasilkan yang identik untuk parameter tertentu, meskipun beberapa parameter menunjukkan hasil yang berbeda.

Pengujian stabilitas pada ketiga jenis campuran menghasilkan trend yang mirip. Penambahan SLB pada campuran aspal menaikkan nilai stabilitasnya sampai kadar tertentu. Terjadi kenaikan sampai nilai maksimum kemudian terjadi penurunan. Nilai stabilitas maksimum terjadi pada kadar SLB 0,5%

sampai 1,5%.

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan bahwa penambahan SLB ukuran mesh 50 dan mesh

100 pada ACWC terjadi nilai stabilitas maksimum pada kadar 1% setelah itu terjadi penurunan. Penambahan 1,5% menghasilkan nilai stabilitas yang mendekati sama dengan tanpa SLB.

Penambahan 3% dan 4,5% dan 6% SLB pada ACWC menurunkan nilai stabilitasnya.

1400

1300

1200

**Stabilitas**

1100

1000

900

800

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 2 Hubungan antara Marhall Stability dan Kadar Serbuk No 50 untuk ACWC**

1700

1500

**Stabilitas (kg)**

1300

1100

900

700

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 3 Hubungan antara Marshall Stability dan Kadar Serbuk No 100 untuk ACWC**

Setelah perendaman selama 24 jam trend kenaikan nilai stabilitas sama dengan pengujian Marshall standar. Nilai stabilitas maksimum terjadi pada kadar 1%, baik untuk ukuran mesh 50 maupun mesh 100. Pada kadar 1,5% nilai stabilitasnya relatif sama dengan tanpa SLB, setelah kadar

1,5% terjadi penurunan nilai stabilitas Marshall.

Penambahan SLB sampai kadar tertentu menaikkan nilai stabilitas campuran sampai nilai

maksimum, setelahnya mengganggu komposisi campuran. Jumlah agregat halus menjadi terlalu banyak sehingga kestabilan ACWC sebagai campuran dengan gradasi menerus terganggu. SLB tidak lagi mendukung sistem konstruksi yang saling mengisi dalam ACWC, sehingga pada kadar yang tinggi menurunkan nilai stabilitasnya.

Pada penelitian Siswanto dan Supriyanto (2014) menunjukkan bahwa melalui pengujian kehilangan berat, penambahan SLB pada aspal menurunkan kehilangan berat aspal. Aspal menjadi lebih stabil, peran ini relevan untuk pengujian stabilitas ACWC sampai kadar tertentu.

Penambahan SLB menaikkan nilai kelelehan campuran aspal. Pada mesh 50 terjadi kenaikan

nilai kelelehan sampai kadar SLB 4,5%. Tetapi sedikit terjadi penurunan nilai kelelehan pada penambahan SLB 6%. Pada mesh 100 penambahan SLB menaikkan nilai kelelehan ACWC.

Kenaikan flow dipengaruhi oleh kandungan lateks dalam SLB. Dalam penelitian Siswanto

(2006) menunjukkan penambahan latek dalam aspal beton nilai kelelehannya. Penambahan lateks

pada aspal menaikkan nilai daktilitasnya. Campuran aspal menjadi semakin fleksibel tidak getas. Campuran aspal menjadi tidak mudah runtuh akibat beban yang bekerja padanya. Tetapi nilai kelelehan yang tinggi tidak diiringi nilai stabilitas yang tinggi. Pada kadar SLB 6% mempunyai nilai kelelehan tinggi tetapi mempunyai nilai stabilitas terendah.

Pengujian Marshall menggunakan suhu perendaman 60ºC selama 30 menit. Pada kondisi ini kandungan lateks dalam campuran menunjukkan perannya, karena penambahan lateks menaikkan titik lembek aspal (Siswanto,2006). Tetapi di sisi lain kandungan yang terlalu banyak membuat ketidakseimbangan struktur ACWC sebagai struksur *dense graded*. Inilah yang menyebabkan nilai stabilitas turun meskipun nilai kelelehannya naik.

Pada Gambar 4 dan Gambar 18 menunjukkan bahwa penambahan SLB pada campuran aspal menurunkan nilai Marshall Quotientnya. Karena nilai Marshall Quotient berbanding lurus dengan nilai stabilitasnya dan berbanding terbalik dengan nilai flownya. Bertambahnya kadar SLB dalam

campuran mengakibatkan flow semakin besar. Kenaikan nilai flow ini dominan dibanding kenaikan stabilitas pada rentang kadar SLB 0,5% sampai dengan 1,5%. Setelah kadar SLB 1,5% penambahan SLB menurunkan stabilitas campuran aspal. Sehingga tampak bahwa penambahan SLB menurunkan Marshall Quotient campuran aspal.

420,00

**Marshall Quotient**

370,00

320,00

270,00

220,00

170,00

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 4 Hubungan antara Marshall Quotient dan Kadar Serbuk No 50 untuk ACWC**

400,00

**Marshall Quotient**

350,00

300,00

250,00

200,00

150,00

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 5 Hubungan antara VFA dan Kadar Serbuk No 100 untuk ACWC**

Penambahan SLB pada campuran aspal menaikkan nilai rongga dalam campuran (VIM). Kenaikan VIM campuran nampak tajam pada kadar SLB diatas 1,5%. Sedangkan pada kadar 0% sampai 1,5% kenaikan tidak tajam atau naik dengan kemiringan yang landai. Kenaikan VIM baik bagi campuran aspal, campuran aspal menjadi lebih dapat mengakomodasi pemadatan lanjutan oleh beban.

Kenaikan VIM diiringi kenaikan flow menjadikan campuran aspal lebih fleksibel tidak getas. Ikatan antara agregat menjadi lebih kuat, diharapkan campuran aspal menjadi tidak mudah retak.

Sehingga mempunyai potensi penambahan SLB menaikan durabilitas campuran aspal.

Dengan kenaikan VIM berarti menyediakan rongga untuk tempat aspal saat terjadi pelelehan aspal akibat panas matahari. Campuran aspal menjadi tidak mudah bleeding. Kekesatan campuran aspal terjaga, perkerasan jalan menjadi tidak mudah licin dan lebih aman dilewati kendaraan.

Pengaruh penambahan SLB pada rongga dalam mineral agregat (VMA) dapat dilihat pada Gambar 6 dan Gambar 7. Terlihat behwa penambahan SLB sampai 3% pada campuran aspal tidak berpengaruh pada VMA. Nilai VMA 0% sampai 3% relatif sama, kemiringan trendnya hampir datar. Pengaruh terlihat pada penambahan SLB diatas 3%. Dari segi spesifikasi semua kadar SLB memenuhi syarat, semua diatas 15%. Tetapi rongga yang terlalu besar menimbulkan masalah oksidasi dan stabilitas. Ini terbukti bahwa kadar SLB diatas 1,5% menurunkan nilai stabilitas campuran aspal.

23,00

21,00

**VMA (%)**

19,00

17,00

15,00

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 6 Hubungan antara VMA dan Kadar Serbuk No 50 untuk ACWC**

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

25,00

20,00

**VMA (%)**

15,00

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 7 Hubungan antara VMA dan Kadar Serbuk No 100 untuk ACWC**

Penambahan SLB sampai kadar 1,5% nampak tidak mempengaruhi nilai rongga terisi aspal

(VFA), penambahan SLB diatas 1,5% menurunkan VFA, hal ini terlihat pada Gambar 8 dan Gambar

9. Sehingga penambahan SLB diatas 1,5% kemungkinan terjadi percepatan oksidasi pada campuran aspal. Kondisi ini tidak menguntungkan karena campuran aspal menjadi kekurangan aspal dan mudah mengalami penuaan dini. Meskipun disisi lain bertambahnya SLB menambah kandungan lateks dalam campuran aspal yang akan meningkatkan titik lembeknya dan menstabilkan campuran aspal.

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

70,00

60,00

**VFA (%)**

50,00

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 8 Hubungan antara VFA dan Kadar Serbuk No 50 untuk ACWC**

70,00

65,00

**VFA (%)**

60,00

55,00

50,00

|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |  |
|  |  | | | | |  | | | | |  | | | | |

0 2 4 6

**Kadar Serbuk Ban (%)**

**Gambar 9 Hubungan antara VFA dan Kadar Serbuk No 100 untuk ACWC**

Pada penambahan SLB sampai 1,5% nampak pengaruh positif pada nilai VFA, karena relatif tidak ada penurunan VFA. Kadar SLB yang naik sampai 1,5% mempunyai pengaruh positif pada nilai stabilitas, flow dan VIM. Nilai stabilitas naik, flow naik dan VIM naik adalah kondisi yang ideal meskipun VFA relatif tetap. Stabilitas naik berarti campuran lebih kuat menahan beban, flow naik berarti campuran menjadi lebih fleksibel, VIM naik berarti campuran lebih akomodatif terhadap bleeding dan perkerasan menjadi tidak mudah licin, tidak berbahaya bagi pengguna jalan.

Tinjauan terhadap kadar SLB terbaik mengerucut pada kadar 0,5%, 1% dan 1,5%. Kadar diatas

1,5% mengalami penurunan stabilitas Marshall, baik pengujian Marshall standar maupun Marshall immersion. Kadar 1,5% mempengaruhi stabilitas marshall tetapi tidak signifikan. Sehingga pilihan hanya pada kadar 0,5% dan 1%. Tinjauan terhadap Flow, VIM, VMA, VFAdan MQ pada kadar 0,5%

dan 1% mempunyai nilai pengaruh yang sama terhadap campuran aspal. Sehingga faktor yang paling menentukan adalah nilai stabilitas Marshallnya.

Pada kondisi pengujian Mashall standar kadar 1% SLB lebih baik daripada 0,5 SLB. Namun pada kondisi pengujian Marshall immersion kadar 0,5% SLB lebih unggul daripada kadar 1%. Jika

faktor lingkungan menjadi dominan maka 0,5% SLB menjadi lebih baik. Kadar 0,5% SLB mempunyai nilai indeks kekuatan sisa yang lebih tinggi dibanding kadar 1% SLB. Ini sesuai dengan kondisi linkungan Indonesia dengan iklim tropis dan curah hujan tinggi.

**5. KESIMPIULAN**

1) Penambahan SLB ukuran mesh 50 dan mesh 100 pada campuran aspal (ACWC dan ATB) dapat meningkatkan stabilitas Marshall. Kenaikan tertinggi pada kadar aspal 1%. Penambahan SLB diatas

1,5% menurunkan stabilitas Marshall campuran aspal. 2)Penambahan SLB ukuran 50 dan mesh 100 pada campuran aspal menaikkan nilai *flow*. Semakin tinggi kadar SLB dalam campuran aspal semakin

tinggi nilai *flow.* 3) Penambahan SLB ukuran 50 dan mesh 100 pada campuran aspal sampai kadar

1,5% tidak mempengaruhi VIM. Penambahan SLB diatas 1,5% menaikkan nilai VIM campuran aspal.

4) Penambahan SLB ukuran 50 dan mesh 100 pada campuran aspal sampai kadar 1,5% tidak

mempengaruhi VMA. Penambahan SLB diatas 1,5% menaikkan nilai VMA campuran aspal. 5) Penambahan SLB ukuran 50 dan mesh 100 pada campuran aspal sampai kadar 1,5% tidak mempengaruhi VFA. Penambahan SLB diatas 1,5% menaikkan nilai VFA campuran aspal. 6) Penambahan SLB ukuran 50 dan mesh 100 pada campuran aspal sampai kadar 1,5% menurunkan MQ campuran aspal. 7) Campuran aspal dengan kadar SLB 0,5% terhadap berat campuran adalah yang terbaik. Nilai indeks kekuatan sisa campuran aspal dengan kadar SLB 0,5% mempunyai nilai tertinggi.

**6. REFERENSI**

ASTM, 2003. *Annual Book of ASTM Standards: Roofing, Waterproofing and Bituminous Materials*;

*Traveled Surface Characteristics*, Volume 04.04, Philadelpia: ASTM International.

Departemen Pekerjaan Umum, 1991. *Petunjuk Pelaksanaan Lapis Aspal Beton untuk Jalan Raya, SNI No:1737-1989-F*. Jakarta

Ismunandar. 2006. *Kimia Aspal.* Harian Kompas. Jum’at 4 April 2006

Malarvizhi, G., Senthil, N., & Kamaraj, C. 2012. A Study on Recycling of Crumb Rubber and Low Polyethylene Blend on Stone Mastic Asphalt**.** *International Journal of Scientific and Research Publications*, Volume 2, Issue 10, pp 1-16.

NCHRC Report 59. 1979. Relationships of asphalt Cement Properties to Pavement Durability,

Tranportation research Board, National Research Council, Washington DC, USA.

Rantetoding, P. 1986. *The Problem Relating to asphalt Mixes Wearing Courses in Indonesia*, National

Symposium Highway Surfacing, University of Ulster, 11-12 April 1986, pp 1G-11G.

Siswanto, H. 2003. Pengaruh Lateks pada Kepekaan terhadap Temperatur Bahan Pengikat aspal,

Jurnal Teknologi dan Kejuruan, halaman 26(2):140-150.

Siswanto, H. 2007. Pengaruh Lateks pada Durabilitas dan Viskositas Bahan Pengikat Aspal, *Proceeding of the Research and Studies II Technological and Professional Skill Development Sector Project*, halaman 46-56).

Siswanto, H & Supriyanto, B.: 1st National Research Symposium, Universitas Negeri Malang, (2014)

pp 59–68.

Siswanto, H & Supriyanto, B.: Seminar National Peranan Sains dan Teknologi untuk Mendukung

Pembangunan Berkelanjutan (2014), pp B268–B277.

Solyman, M.O., Sienkiewics, M. & Haponiuk, J. 2013. New Study on Improved Performance of Paving Asphalts by Crumb Rubber and Polyethylene Modification. *Journal of Material Science Engineering*, Volume 2. Issue 4, pp 1-9.

Takasana, M. 2004. *Tinjauan Prasarana Jalan Wilayah dengan Fokus pada Network Improvement.*

Makalah disampaikan pada Seminar Nasional Transportasi Malang raya, 16 september. Vichitcholchai, N., Panmai, J & Na-Ranong, N. 2012. Modification of Asphalt Cement by Natural

Rabber for Pavement Construction, *Rubber Thai Journal* 1: 32-39

Liang, L. (2004) *A Disertation : Recovery and Evaluation of The Solid Products Produced by*

*Thermocatalytic Decomposition of Tire Rubber Compounds.* Texas : A & M Univesity