

TEKNIK PENCAMPURAN YANG OPTIMAL ANTARA CRUMB RUBBER DAN ASPAL PEN 60/70 (OPTIMAL MIXING TECHNIQUE OF CRUMB RUBBER AND 60/70 PEN ASPHALT)

Sri Mulyani¹⁾, Dani Hamdani²⁾

^{1), 2)}Pusat Litbang Jalan dan Jembatan

^{1), 2)}Jl. A.H Nasution No. 264 Bandung 40294

e-mail: ¹⁾sri.mulyani@pusjatan.pu.go.id, ²⁾dani.hamdani@pusjatan.pu.go.id

Diterima: 13 April 2017; direvisi: 12 Mei 2017; disetujui: 19 Mei 2017

ABSTRAK

Ban bekas dikategorikan sebagai limbah industri yang bila dibiarkan begitu saja tentu akan mencemari lingkungan. Seiring pertumbuhan ekonomi negara kita, jumlah ban bekas akan semakin meningkat. Oleh sebab itu pengolahan ban bekas menjadi isu penting guna penyelamatan bumi. Salah satu pemanfaatan ban bekas dalam bentuk Crumb Rubber dalam bidang perkerasan dengan menggunakan sebagai bahan tambah pengikat campuran beraspal. Makalah ini bertujuan mengkaji teknik pencampuran crumb rubber ke dalam aspal agar didapatkan bahan pengikat aspal dengan karakteristik yang diinginkan di laboratorium. Crumb Rubber yang digunakan sebagai bahan tambah merupakan hasil dari pengolahan ban bekas dengan metode ambient process. Hasil kajian di laboratorium menunjukkan bahwa, komposisi contoh uji yang terbaik adalah yang memiliki kadar karbon tinggi (60,14 %), kadar debu kecil (7,57 %), plasticizer content (4,95 %), dan acetone extract (7,84 %). Kondisi optimum pencampuran aspal dengan Crumb Rubber untuk skala laboratorium adalah dengan kecepatan pengadukan 6.000 rpm, didapatkan pada temperatur 140 °C dan lama pengadukan selama 60 menit.

Kata kunci: teknik pencampuran, crumb rubber, aspal karet, aspal modifikasi, karakteristik bahan pengikat aspal

ABSTRACT

Scrap tires are categorized as industrial waste which if left unused will certainly pollute the environment. As our country's economic growth, the number of scrap tires will increase. Therefore, the processing of scrap tires become an important issue in order to save the earth. One use of scrap tires in the form of crumb rubber in pavement is as an additive in asphalt mixture. This research aims to examines the technique of blending crumb rubber into asphalt in order to obtain asphalt binder with desirable characteristics in the laboratory. Crumb Rubber used as an additive material is the result of scrap tire processing with ambient process method. The results of the laboratory study showed that the best sample composition was high carbon content (60.14 %), small dust content (7.57 %), plasticizer content (4.95 %), and acetone extract (7.84 %). The optimum condition for laboratory scale of asphalt mixing with Crumb Rubber has been obtained on 6,000 rpm stirring speed, at temperature of 140 °C and 60 minutes stirring time.

Keywords: mixing technique, crumb rubber, asphalt rubber, modified asphalt, asphalt binder properties.

PENDAHULUAN

Crumb Rubber (CR) merupakan salah satu hasil pengolahan (parutan) limbah ban bekas. Pengolahan ban bekas bisa berupa *recycled rubber* dan *reclaimed rubber* (Adhikari, De, and Maiti 2000). Jumlah ban bekas semakin meningkat seiring perkembangan kendaraan. Oleh sebab itu pengolahan ban bekas menjadi isu penting. Salah satu pemanfaatan *CR* dalam bidang perkerasan jalan adalah dengan menggunakannya sebagai bahan tambah pengikat campuran beraspal.

Pada campuran beraspal, *CR* dapat digunakan melalui pencampuran dengan aspal (*wet process*) dan pencampuran dengan agregat (*dry process*) di *Asphalt Mixing Plant (AMP)*. Di Indonesia sudah dilakukan beberapa pengembangan. Sebagai agregat, *CR* dapat digunakan sebagai pengganti abu batu untuk *filler* campuran perkerasan lapis aus laston (Hot Rolls Sheet – Wearing Coarse) sehingga memiliki nilai stabilitas, pelepasan, stabilitas sisa, keawetan, fleksibilitas dan keausan roda lebih baik dari campuran beraspal lapis aus konvensional (Purnomo 2012). Penggantian sebagian agregat dengan serbuk ban bekas mampu menambah ketahanan campuran aspal terhadap air, sehingga dapat mengurangi kerusakan jalan (Sugiyanto 2008).

Di Arizona, Amerika Serikat, pengembangan *aspal CR* telah dilakukan selama 45 tahun. Digunakan sebagai *seal cracks* dan *joints*, diaplikasikan sebagai *chip seal coat* dan ditambahkan ke agregat panas agar didapatkan bahan perkerasan yang unik (Way 2012). Sedangkan di California, aspal *CR* telah digunakan dalam pengaplikasian *chip seal* lebih dari 40 tahun dan telah membuktikan bahwa teknologi ini sangat menghemat biaya.

Di Republic of Czech telah dilakukan percobaan beberapa *test section*. Di antaranya penambahan *CR* 20 % pada campuran beraspal porous (*porous asphalt*), 16,5 % pada *SMA* dan pada *very thin asphalt concrete* sebesar 15 %. Hal yang diamati adalah *skid resistance*, *noise measurement*, serta *water drainability* dari *porous asphalt* (Dašek 2012).

Pencampuran *CR* ke dalam aspal memerlukan langkah yang tepat agar didapatkan aspal modifikasi yang memiliki karakteristik yang diinginkan. Teknik pencampuran yang

tepat menjadi suatu hal yang penting mengingat bahwa aspal dan *CR* memiliki karakteristik bahan yang berbeda. Hal tersebut menjadi tujuan dari penulisan makalah ini yaitu mengkaji bagaimana teknik pencampuran 15 % *CR* ke dalam aspal yang optimal skala laboratorium.

Pentingnya penggunaan kembali limbah ban bekas sebagai wujud kepedulian lingkungan dan melihat pesatnya teknologi pemanfaatan *CR* baik di dalam maupun di luar negeri serta mengetahui kelebihan dari *CR sebagai bahan modifikasi aspal* maka pengembangan teknologi *CR untuk* suatu negaraperlu dilakukan.

KAJIAN PUSTAKA

Bahan dasar pembuatan ban adalah karet alam, karet sintesis, karbon, bahan penangkal oksidasi (*antioxidant*), bahan penangkal efek ozon (*antiozonants*), bahan penambah fleksibilitas (*plasticizer*), benang atau logam penguat dan lapisan penguat dengan perbandingan tertentu tergantung pada kegunaan ban tersebut (Herminiwati 2010).

Karet alam

Karet alam didapat dari menyadap pohon karet (*Havea Brasiliensis*) berupa cairan karet yang disebut lateks. Seorang ahli kimia dari Inggris pada tahun 1770 melaporkan bahwa, karet alam digunakan sebagai penghapus tulisan, namun kemudian barang karet yang diproduksi selalu menjadi kaku di musim dingin dan lengket di musim panas. Charles Goodyear melakukan penelitian pada tahun 1838 menemukan bahwa, dengan dicampurnya belerang dan dipanaskan maka karet alam menjadi elastik dan tidak terpengaruh cuaca. Karet alam sangat dibutuhkan dalam kehidupan sehari-hari mulai dari kebutuhan rumah tangga hingga kebutuhan industri. Kebanyakan karet digunakan dalam pembuatan selang dan ban mobil (lebih dari 50 %) (Sumantry 2015).

Karet sintesis

Karet alam hanya dihasilkan oleh negara-negara tropis. Hal ini mendorong negara-negara barat untuk melakukan serangkaian penelitian dan produksi karet sintetis. Tahun 1926 di Jerman, karet sintetis dibuat dengan cara *polimerisasi butadiene* dengan menggunakan

natrium sebagai pencepat (*accelerator*). Penggunaan karet sintesis umumnya diklasifikasikan ke dalam 2 kelompok utama, yaitu:

- 1) Kegunaan Umum. Karet jenis ini sebanyak 60 % untuk keperluan pembuatan ban pneumatik, contoh karet *Styrene Butadiene Rubber (SBR)*, *poliisoprena*, *polibutadiene*, *Ethylene Propylene Diene Monomer (EPDM)*.
- 2) Kegunaan khusus. Karet jenis ini untuk keperluan pembuatan produk-produk karet yang tahan terhadap aksi bahan kimia. Contoh : karet-karet *Isobutilena-Isoprena Rubber (IIR)*, *polikloroprena*, *Akrilonitril Butadiene Rubber (NBR)*.

CR

CR adalah hasil pengolahan limbah ban bekas. Tiga metode yang saat ini digunakan untuk mengolah ban bekas menjadi CR yaitu *ambient process*, *Cryogenic Process*, dan *Fine Grind - Ambient Method*.

Ambient grinding dapat dilakukan dengan dua cara: granulasi atau *cracker mills*. Karet, ban atau bahan baku lainnya tetap pada suhu kamar saat memasuki *cracker mills* atau granulator.

Ambient grinding adalah teknologi pengolahan multi-langkah yang menggunakan serangkaian mesin (biasanya tiga) untuk memisahkan komponen karet, logam, dan kain ban. Baik menggunakan peralatan granulasi atau *cracker mills*, langkah pengolahan pertama biasanya mengurangi bahan baku asli untuk chip kecil. Mesin kedua akan menggiling chip untuk memisahkan karet dari logam dan kain. Kemudian *mills* akan menggiling bahan dengan ukuran produk yang dibutuhkan. Setiap langkah pengolahan, bahan akan diseleksi oleh sebuah filter yang mengembalikan potongan besar ke granulator untuk diproses kembali. Magnet digunakan di seluruh tahap pengolahan untuk menghilangkan kawat dan kontaminan logam lainnya. Pada tahap akhir, kain dikeluarkan oleh pemisah udara.

CR yang dihasilkan dalam proses granulasi umumnya memiliki bentuk potongan dan tekstur kasar, dengan dimensi yang sama pada potongan pinggirnya. CR terdiri dari partikel dari ukuran 4,75 mm (saringan nomor 4) hingga kurang dari 0,075 mm (saringan nomor 200), seperti ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Ban bekas yang telah dicecilkan ukurannya dan telah dipisahkan dari benang dan kawat baja

Cracker mills - primer, sekunder atau finishing mills - pada dasarnya beroperasi dengan prinsip yang sama. Keduanya menggunakan dua rol besar berputar dengan gigi memotong satu sama lain. Konfigurasi rolnya yang membuat berbeda. Rol ini beroperasi saling berhadapan dengan jarak dekat pada kecepatan yang berbeda. Ukuran produk dikendalikan oleh celah antara rol. *Cracker mills* merupakan mesin berkecepatan rendah sekitar 30-50 rpm. Karet biasanya melewati 2-3 mills untuk mencapai berbagai ukuran yang diinginkan dan memisahkan baja dan komponen serat.

Sedangkan *cryogenic process* merupakan proses pengecilan ukuran ban bekas dengan menambahkan cairan nitrogen atau material lain untuk membekukan ban atau *tire chips* (FHWA 2015). Ban menjadi getas pada temperatur di bawah -80 °C. Penentuan temperatur cryogenic dilakukan beberapa tahap dalam pengecilan ukuran CR. Ban bekas ditempatkan pada sebuah *tunnel style chamber* kemudian disemprotkan nitrogen cair untuk menurunkan temperatur ban. Kemudian ban bekas yang telah disemprot nitrogen cair tersebut ditempatkan pada sebuah unit pengecilan ukuran, biasanya sebuah *hammer mill*. Proses ini menghasilkan CR dengan ukuran 0,25 inch hingga 30 mesh. Dengan kecepatan pemecahan sekitar 4.000-6.000 pounds per jam. *Cryogenic process* menghindari degradasi karet akibat panas dan menghasilkan CR dengan kualitas tinggi, bebas serat ataupun baja. Baja dipisahkan dengan menggunakan magnet dan serat disaring.

Fine grind-ambient Method atau penggilingan mikro merupakan teknologi pengolahan yang digunakan untuk menghasilkan CR dengan ukuran 40 mesh atau lebih kecil lagi. Pada proses ini CR dicampur dengan air hingga terbentuk seperti bubur. Campuran tersebut kemudian dialirkan melalui peralatan pengecil ukuran dan pemisah. Bila ukuran yang

diinginkan sudah tercapai, maka bubuk *CR* dialirkan ke peralatan penghilang air dan kemudian dikeringkan. Keuntungan utama *Fine grind-ambient Method* adalah dapat membentuk *CR* ke ukuran hingga tertahan saringan nomor 200. *CR* yang dihasilkan cukup bersih dan ukuran yang konsisten.

Penggunaan *CR* sebagai modifier aspal

Pemanfaatan *CR* sebagai bahan perkerasan jalan dapat dilakukan dengan dua metode, yaitu *dry process* dan *wet process*. Dalam studi ini difokuskan pada *wet process*. *CR* ditambahkan pada aspal dingin atau aspal yang telah dipanaskan (Celauro et al. 2012), kemudian diaduk dengan cara mekanik hingga terjadi interaksi antara keduanya (Moreno, Rubio, and Martinez-Echevarria 2010).

Dalam *wet process*, *CR* dicampur dengan aspal (biasanya di kisaran 15 sampai 25 persen *CR*) sebelum pengikat ditambahkan ke agregat. Pada umumnya *CR* yang digunakan berukuran 0,6-0,15 mm (saringan nomor 30 ke saringan nomor 100). Ketika aspal dan *CR* dicampur bersama-sama, *CR* bereaksi dengan *swollen* dan *soften*. Reaksi ini dipengaruhi oleh temperatur saat pencampuran, lamanya penerapan temperatur tinggi, jenis dan jumlah pencampuran mekanik, ukuran dan tekstur *CR*, dan komponen aromatik dari aspal.

Penyerapan minyak aromatik dari aspal ke dalam rantai polimer yang terdiri dari komponen struktural utama dari karet alam dan sintetis pada *CR*. Laju reaksi antara *CR* dan aspal dapat ditingkatkan dengan memperbesar luas permukaan *CR* dan meningkatkan temperatur reaksi. Viskositas campuran aspal-*CR* adalah parameter utama yang digunakan untuk memantau reaksi (Epps 1994). Waktu reaksi harus minimum, pada temperatur yang ditentukan, yang diperlukan untuk menstabilkan viskositas *binder*.

Menurut Holikatti, Haiping, dan Peter (2012), *wet process* merupakan metode yang luas untuk menghasilkan aspal *CR* yang digunakan untuk campuran beraspal serta *chip seal* atau sebagai bahan perawatan permukaan dan juga dapat digunakan untuk menghasilkan *joint sealant* dan *crack sealant*.

Aspal *CR*

Aspal *CR* adalah campuran aspal, *CR*, bahan tambah yang sesuai yang mana, kadar *CR* yang ditambahkan minimal 15 % terhadap total campuran dan bereaksi dalam aspal yang telah dipanaskan sehingga menyebabkan *swelling* (Way, Kamil, and Krishna 2012). Lima belas persen *CR* ditambahkan pada aspal *binder* dengan *extender oil* dengan proporsi tertentu kemudian direaksikan paling tidak selama 47 menit hingga mencapai kekentalan antara 1500-4000 Pa.s ($\times 10^{-3}$) (Holikatti, Haiping, and Peter 2012).

Biro and Bence (2005) membandingkan aspal-karet dengan aspal modifikasi lain, hasilnya disimpulkan bahwa Semua sampel yang mengandung *CR* menunjukkan kinerja terhadap *aging* yang lebih unggul dibanding aspal modifikasi lain. Alasan penting yang mendasari hal tersebut adalah kadar karbon dari *crumb rubber*.

HIPOTESIS

Proses pencampuran meliputi temperatur, dan lama pengadukan dengan membatasi kecepatan yang digunakan sebesar 6000 rpm akan mempengaruhi karakteristik aspal hasil modifikasi bahan pengikat Pen 60/70 dengan 15 % *CR*.

METODOLOGI

Untuk mencapai tujuan dari studi ini, pada tahap awal dilakukan kajian pustaka mengenai *CR* mencakup jenis dan kegunaannya, baik di dalam dan luar negeri. Selanjutnya dilaksanakan survey produsen *CR* yang ada di Pulau Jawa. Kemudian dilanjutkan dengan menyelidiki karakteristik *CR* dan menguji sifat aspal dan dilanjutkan percobaan pencampuran keduanya di laboratorium.

Pada studi ini *CR* yang digunakan berasal dari proses mekanis. *CR* yang memiliki kadar karbon terbesar dan memiliki kadar debu kecil serta mengandung karet alam dan karet sintesis lebih diutamakan. Pencampuran *CR* dengan aspal dilakukan melalui *wet process* dengan kecepatan pengadukan 6.000 rpm pada temperatur 140 °C (merupakan temperatur sebelum pemompaan ke *AMP*) dan 170 °C (merupakan temperatur pencampuran aspal di *AMP*) dengan 5 variasi lama pengadukan (60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit dan 180

menit). Kemudian menganalisis data yang didapatkan dari pengujian laboratorium.

HASIL DAN ANALISIS

Hasil pengujian bahan CR

Survey lapangan dilakukan ke beberapa produsen CR di antaranya pabrik pengolahan ban bekas di Surabaya, Bekasi dan Malang. Pabrik CR di Surabaya dan Malang menggunakan ban bekas truk dan bus penumpang dengan ukuran seragam. Pabrik yang di Bekasi mengolah *spare part* kendaraan yang di-reject pabrik Astra.

Pada umumnya produsen menghasilkan tiga ukuran maksimum CR yaitu ukuran maksimum 40, ukuran maksimum 60 dan ukuran maksimum 80. Dari ketiga ukuran tersebut dianalisa gradasinya di laboratorium, hasilnya seperti ditampilkan pada Tabel 1, Tabel 2, dan Tabel 3. Dari hasil uji gradasi dilihat bahwa masing-masing ayakan bukan *single size*, melainkan bergradasi. CR ukuran maksimum 40 dan ukuran maksimum 80 didominasi dengan partikel tertahan saringan nomor 50 yaitu seberat 58,1 gram dan 90,1 gram. Sedangkan untuk CR ukuran maksimum 60 didominasi partikel tertahan saringan nomor 100, seberat 77,3 gram. Sedangkan jenis dan kandungan kimia dari CR yang dipandang akan mempengaruhi sifat aspal CR yang dihasilkan sebagaimana diberikan pada Tabel 4.

Dari hasil pengujian kandungan yang ada pada CR pada Tabel 5, dapat dilihat bahwa:

- 1) Sampel 1 memiliki kandungan *acetone extract*, *ash content* dan *plasticizer content* tertinggi dibanding dengan sampel yang lain. Sampel ini merupakan EPDM yaitu monomer. EPDM terbuat dari 100 % karet sintetis. Sampel yang lain merupakan gabungan antara karet alam dan karet sintetis. Sehingga sampel 1 tidak akan digunakan dalam penelitian ini.
- 2) Kelima sampel menggunakan tipe *plasticizer* yang sama yaitu *Naphthenic Mineral Oil*.

- 3) Sampel 3 memiliki kandungan karbon tertinggi dari sampel yang lain, kandungan debu dan *plasticizer* lebih kecil dari 4 sampel yang lain. Kandungan debu mempengaruhi daya lekat CR terhadap aspal. Kombinasi komposisi sampel 3 merupakan yang terbaik dibanding sampel lain.

Tabel 1. Gradasi CR mesh 40

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			Tertahan	Lewat
20	-	-	-	100,00
30	46,1	46,1	43,25	56,75
40	-	-	-	-
50	58,2	104,3	97,84	2,16
80	-	-	-	-
100	0,8	105,1	98,59	1,41
200	1,2	106,3	99,72	0,28
Modulus kehalusan			2,40	

Tabel 2. Gradasi CR mesh 60

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			Tertahan	Lewat
40	-	-	-	100
50	23,1	23,1	22,04	77,96
80	-	-	-	-
100	77,3	100,4	95,80	4,20
200	2,9	103,3	98,57	1,43
Modulus kehalusan			1,18	

Tabel 3. Gradasi CR mesh 80

Saringan	Berat Tertahan	Jumlah Berat Tertahan	Jumlah Persen	
			Tertahan	Lewat
40	-	-	-	100
50	90,1	90,1	75,02	24,98
80	-	-	-	-
100	27,9	118,0	98,25	1,75
200	1,1	119,1	99,17	0,83
Modulus kehalusan			1,73	

Tabel 4. Hasil pengujian CR di Puslit Karet di Bogor

Analysis	Vulcanizate				
	1	2	3	4	5
Acetone Extract, %	16,79	5,84	7,84	8,51	8,23
Ash Content, %	18,52	7,57	7,57	4,61	10,96
Type of Polymer	EPDM	SBR +IR	SBR +IR	SBR +IR	SBR +IR
Total sulfur content, %	0,29	1,58	1,64	1,34	1,65
Type of vulcanizate composition:					
1. Type of plasticizer	Naphthenic Mineral Oil				
2. Type of antioxidant	Kuionon	aminic	diaril fenilendiamin	aminic	aminic
Content of vulcanizate composition:					
3. Polymer content, %	20,31	54,25	25,42	36,34	30,17
4. Carbon content, %	44,38	32,34	60,14	50,54	42,64
5. Plasticizer content,	12,52	4,10	4,95	5,49	5,27
6. bulk density, g/cm ³	0,40	0,41	0,33	0,35	0,29

Keterangan: EPDM: Ethylene Propylene Diene Monomer SBR: Styrene Butadiene Rubber IR: Isoprene Rubber

Hasil pengujian bahan aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan untuk kegiatan ini adalah aspal Pertamina Pen 60/70. Karakteristik

aspal tersebut disajikan pada Tabel 5 dan memenuhi persyaratan sesuai spesifikasi Bina Marga Revisi 3 (Indonesia 2010).

Tabel 5. Sifat aspal Pen-60/70

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi ^{*)}	Satuan
Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	SNI 2456 : 2011	63	60 - 70	0,1 mm
Viskositas pada 135 °C	SNI 7729 : 2011	406	≥ 300	cSt
Titik lembek	SNI 2434 : 2011	49,0	≥ 48	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm / menit	SNI 2432 : 2011	>140	≥ 100	cm
Titik nyala	SNI 2433 : 2011	326	≥ 232	°C
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991	99,95	≥ 99	%
Berat jenis	SNI 2441 : 2011	1,04	≥ 1,0	-
Kehilangan berat (TFOT)	SNI 06-2440-1991	0,03	≤ 0,8	%
Penetrasi setelah TFOT	SNI 2456 : 2011	51	-	0,1 mm
Titik lembek setelah TFOT	SNI 2434 : 2011	51,4-51,8	-	°C
Daktilitas setelah TFOT	SNI 2432 : 2011	>140	≥ 100	Cm

Keterangan:*) Bina Marga (2010 Revisi 3)

Pencampuran aspal dan CR dengan variasi waktu pengadukan dengan temperatur pencampuran 140 °C dan 170 °C

Pencampuran aspal dengan 15 % CR dengan kecepatan 6.000 rpm dimulai dengan temperatur 140 °C, dengan beberapa variasi waktu pengadukan. Waktu pengadukan dengan variasi lama pengadukan dari 60 menit, 90 menit, 120 menit, 150 menit, dan 180 menit. Data hasil pengujian tersebut ditampilkan seperti

pada Tabel 6. Kemudian dilanjutkan percobaan dengan kecepatan pengadukan dan variasi lama pengadukan yang sama, dengan mempertimbangkan temperatur pencampuran di lapangan yaitu pada temperatur 170 °C. Data hasil pengujian pencampuran dengan kondisi ini ditampilkan pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil pengujian aspal + CR 15 % pada temperatur 140 °C dan variasi waktu pencampuran

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian					Satuan
	Waktu Pencampuran (Menit)					
	60	90	120	150	180	
Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	47	52	53	58	59	dmm
Titik lembek	55,4	55,6	55,2	55,6	56,4	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	24,0	17,2	41,8	37,5	51,5	cm
Berat jenis	1,05	1,04	1,04	1,05	1,05	-
Titik nyala	306	304	-	312	316	°C
Kehilangan berat (TFOT)	0,07	0,05	0,02	0,01	0,002	%
Penetrasi setelah TFOT	45	45	48	54	56	dmm
Titik lembek setelah TFOT	57,4	57,2	57,0	57,0	57,4	°C
Daktilitas setelah TFOT	23,9	18,0	30,5	34,9	49,0	cm
Perbedaan titik lembek setelah stabilitas penyimpanan	0,5	6,1	7,8	3,8	4,1	-
ER setelah TFOT	51,1	45,5	41	42,5	51,25	%

Tabel 7. Hasil pengujian aspal + 15 % CR pada temperatur 170°C dan variasi waktu pencampuran

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian					Satuan
	Waktu Pencampuran (Menit)					
	60	90	120	150	180	
Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik	42,2	42,2	42	48,6	48,4	dmm
Titik lembek	57	57,6	57,8	57,8	57,2	°C
Daktilitas pada 25 °C, 5 cm/menit	45,2	50,2	51,2	61	65	cm
Berat jenis	1,06	1,07	1,05	1,05	1,05	-
Titik nyala	310	324	326	328	330	°C
Kehilangan berat (TFOT)	0,06	0,02	0,06	0,02	0,03	%
Penetrasi setelah TFOT	40	42	42	47	48	dmm
Titik lembek setelah TFOT	58,6	58,8	58,8	58,2	58,0	°C
Daktilitas setelah TFOT	53	47,2	47,25	54	44	cm
Perbedaan titik lembek setelah stabilitas penyimpanan	1,2	5,2	3	2,3	0,8	-
ER setelah TFOT	62	52	52	59,4	58,2	%

PEMBAHASAN

Survey awal yang telah dilakukan dalam kegiatan ini menghasilkan kesimpulan CR yang ada di Indonesia diperoleh dari *ambient process*. Proses ini melibatkan beberapa mesin pengecil bentuk dan mesin pemisah ban dari baja atau benang. Ban yang digunakan adalah ban bekas khusus ban truk dan bus.

Ban bekas yang telah dipotong menjadi beberapa bagian kemudian dimasukkan ke *cracker mill* untuk memperkecil bentuk dan ukurannya. Hal ini dilakukan beberapa kali hingga didapatkan ukuran yang diinginkan. Kemudian di proses milling terakhir benang dan baja dipisahkan dengan menggunakan alat pemisah.

Dengan mengacu ke definisi aspal CR yang diambil dari ASTM D-8 (ASTM, 2009), bahwa aspal CR mengandung minimal 15 % CR terhadap berat total campuran dan bereaksi aspal panas yang mengakibatkan CR mengalami *swelling* (Way, Kamil, and Krishna 2012). Maka dalam kegiatan pencampuran ini dilakukan dengan menambahkan 15 % CR ke dalam aspal yang telah dipanaskan hingga 140 °C dan 170 °C.

Untuk menjadi aspal CR, CR harus mengembang minimal 3x dari ukuran semula. Maka untuk mengetahui hal tersebut, aspal CR yang telah dibuat, diekstraksi dengan benzena. Karena benzena tidak merubah sifat fisik CR. Hasilnya ditunjukkan pada Gambar 2.



Gambar 2. Adanya perubahan bentuk pada CR yang dicampurkan aspal

Tabel 8 menyajikan perubahan ukuran yang dialami CR saat dicampurkan ke aspal dengan temperatur 140 °C dan lama pengadukan 45 menit.

Tabel 8. Perubahan Ukuran CR

No	Ayakan		Perbesaran (x)
	mm		
No. 4	4,75		15,83
No. 8	2,36		7,87
No. 10	2		6,67

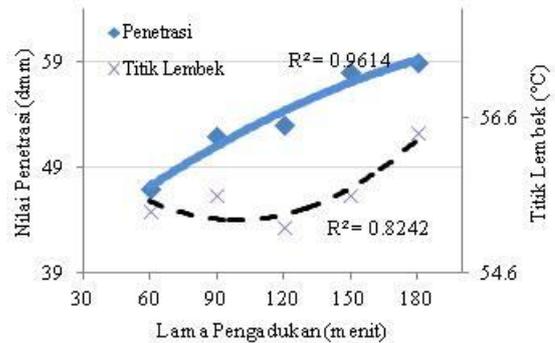
Karakteristik aspal CR hasil percobaan

Hasil percobaan diuji di laboratorium untuk mengetahui karakteristik aspal CR, baik pada temperatur pencampuran 140 °C dan 170 °C. Berdasarkan pengkondisian pencampuran aspal dengan CR didapatkan karakteristik aspal CR sebagai berikut:

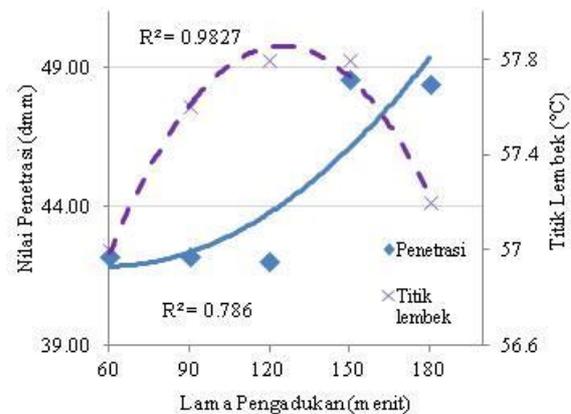
Penetrasi dan titik lembek pada 25 °C, 100 g, 5 detik

Penetrasi dan titik lembek pada 25 °C, 100 g, 5 detik pada temperatur pencampuran 140 °C disajikan pada Gambar 3, sedangkan pada temperatur pencampuran 170 °C disajikan pada Gambar 4.

Baik pencampuran pada temperatur 140 °C dan 170 °C, penetrasi dan titik lembek memiliki tren kurva yang berbalik. Baik pada Gambar 3 dan Gambar 4 terlihat bahwa dengan bertambahnya lama pengadukan, penetrasi aspal CR meningkat hingga lama pengadukan 180 menit.



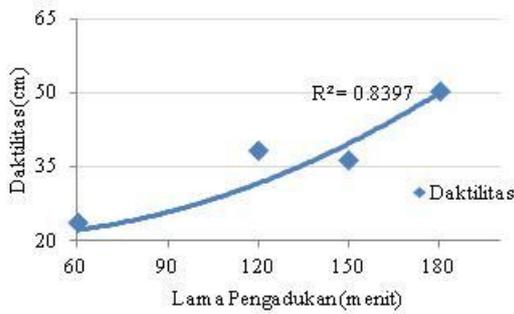
Gambar 3. Penetrasi pada 25 °C, 100 g, 5 detik vs Titik Lembek temperatur pencampuran 140 °C



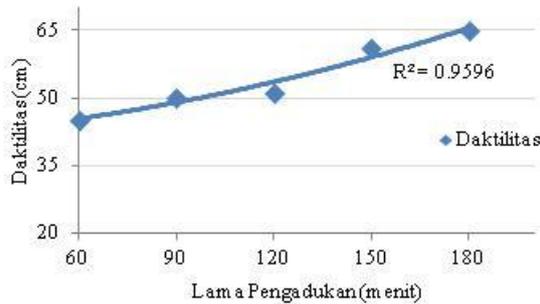
Gambar 4. Penetrasi vs Titik lembek pada 25 °C, 100 g, 5 detik temperatur pencampuran 170 °C

Daktalitas aspal CR pada 25 °C, 5 cm, 5 detik

Pada Gambar 5 dan Gambar 6, daktalitas aspal CR pada 25 °C, 5 cm, 5 detik terlihat trennya naik seiring dengan peningkatan lama pengadukan. Bila disyaratkan nilai daktalitas lebih dari 100 cm maka pencampuran CR dengan aspal tidak memenuhi persyaratan tersebut. Namun Spesifikasi Khusus Aspal yang dimodifikasi CR, tidak menetapkan suatu rentang nilai daktalitas sehingga daktalitas tidak berpengaruh terhadap karakteristik aspal modifikasi CR.



Gambar 5. Daktilitas pada 25 °C, 5 cm, 5 detik temperatur pencampuran 140 °C

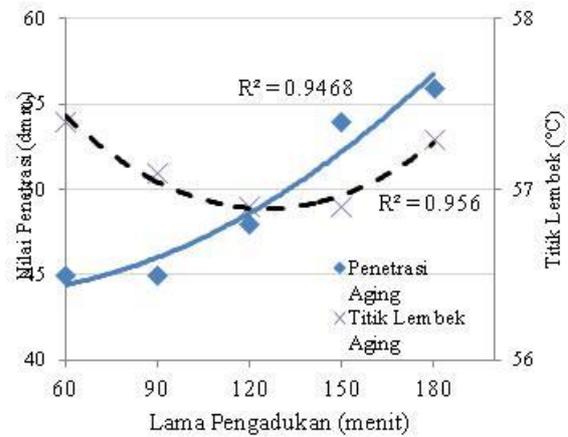


Gambar 6. Daktilitas pada 25 °C, 5 cm, 5 detik temperatur pencampuran 170 °C

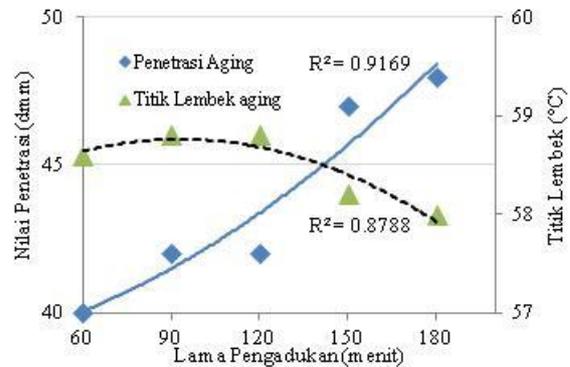
Penetrasi dan titik lembek setelah TFOT

Penetrasi, titik lembek dan daktilitas setelah TFOT disajikan pada Gambar 7, Gambar 8, Gambar 9 dan Gambar 10.

Seperti pada penetrasi dan titik lembek pada 25 °C, 100 g, 5 detik, penetrasi dan titik lembek setelah TFOT tren kurva terbalik. Penetrasi pada temperatur pencampuran 140°C lama pengadukan 60 menit mengalami penurunan tajam dari penetrasi 25 °C, 100 g, 5 detik. Titik lembek setelah TFOT pada temperatur pencampuran 140 °C trennya menurun hingga 120 menit dan naik lagi hingga 180 menit. Pencampuran pada temperatur 170 °C, penetrasi berbalik dengan titik lembek.



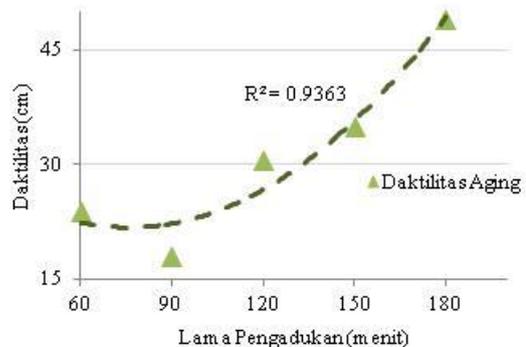
Gambar 7. Penetrasi dan Titik lembek setelah TFOT, temperatur pencampuran 140 °C



Gambar 8. Penetrasi dan Titik lembek setelah TFOT, temperatur pencampuran 170 °C

Daktilitas setelah TFOT

Seperti daktilitas pada 25 °C, 5 cm, 5 detik, daktilitas setelah TFOT untuk temperatur pencampuran 140 °C memiliki tren naik hingga 49 cm, seperti terlihat pada Gambar 9. Sedangkan Gambar 10 daktilitas setelah TFOT untuk temperatur pencampuran 170 °C memperlihatkan tren yang menurun.



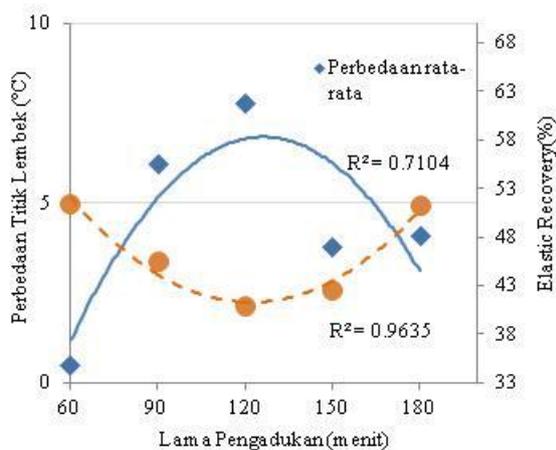
Gambar 9. Daktilitas setelah TFOT, temperatur pencampuran 140 °C



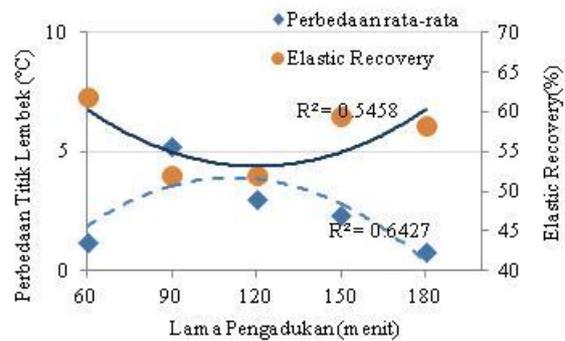
Gambar 10. Daktilitas setelah *TFOT*, temperatur pencampuran 170 °C

Perbedaan titik lembek setelah penyimpanan terhadap *elastic recovery*

Pada Gambar 11 dan Gambar 12 dapat dilihat bahwa perbedaan titik lembek setelah penyimpanan berbanding terbalik dengan *elastic recovery*. Pada temperatur pencampuran 140 °C. Keduanya memiliki nilai yang baik pada lama pengadukan 60 menit. Yaitu perbedaan titik lembek setelah penyimpanan 0,5 yang disyaratkan di bawah 2 dan *elastic recovery* di atas 50 %. Sedangkan pada pencampuran dengan temperatur 170 °C, nilai keduanya memenuhi persyaratan pada lama pengadukan 60 menit.



Gambar 11. Perbedaan Titik Lembek setelah stabilitas penyimpanan vs *ER*, temperatur pencampuran 140 °C



Gambar 12. Perbedaan Titik Lembek setelah stabilitas penyimpanan vs *ER*, temperatur pencampuran 170 °C

Hubungan antara lama pengadukan dengan parameter aspal *CR*

Pada Gambar 3 dan Gambar 4 memperlihatkan kurva penetrasi dan titik lembek campuran aspal dan *CR* yang berkebalikan. Gambar 3 kurva penetrasi memiliki puncak di atas, sedangkan Gambar 4 kurva penetrasi memiliki puncak di bawah, demikian juga kurva titik lembek. Hal ini disebabkan oleh perbedaan temperatur pencampuran. Semakin tinggi temperatur pencampuran, aspal akan mengalami aging. Terlihat pada lama pengadukan 180 menit, temperatur pencampuran 140 °C nilai penetrasi 59 dmm, nilai ini mendekati nilai penetrasi aspal sebelum ditambahkan *CR*. Sedangkan pada temperatur pencampuran 170 °C, nilai penetrasinya 48 dmm, nilai ini tidak jauh berbeda dengan nilai penetrasi aspal modifikasi yang dihasilkan pada temperatur pencampuran 140 °C dengan lama pengadukan 60 menit yaitu sebesar 47 dmm. Maka temperatur pencampuran yang optimum adalah pada 140 °C.

Sedangkan nilai titik lembek pada Gambar 3 tidak terlalu bervariasi sekitar 55-56 °C, demikian juga nilai titik lembek pada Gambar 4 menunjukkan nilai yang tidak bervariasi hanya berkisar di 57 °C, hal ini menunjukkan bahwa lama pengadukan tidak berpengaruh terhadap nilai titik lembek. Maka lama pengadukan aspal dengan *CR* optimum adalah pada lama pengadukan 60 menit. Hal ini didukung dengan nilai *elastic recovery* dan nilai perbedaan titik lembek setelah stabilitas penyimpanan pada lama pengadukan 60 menit memenuhi nilai yang dipersyaratkan oleh spesifikasi.

Aplikasi aspal CR dalam skala besar

Pengaplikasian teknologi aspal CR dengan skala yang lebih besar harus memperhitungkan konversi dari percobaan laboratorium ke skala lapangan. Percobaan laboratorium melibatkan peralatan *mixer* dengan kecepatan, waktu pengadukan, dan temperatur pencampuran, maka pada skala lebih besar seharusnya menggunakan alat *colloid mill* dengan spesifikasi yang sama dengan yang digunakan di laboratorium. Namun saat ini, yang ada di lapangan, *colloid mill* dengan kecepatan 3000 rpm, maka diperlukan penyesuaian temperatur pencampuran dan waktu pengadukan yang baru agar didapatkan karakteristik bahan pengikat aspal yang optimum.

KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

CR yang digunakan sebagai bahan tambah terhadap bahan pengikat aspal yang terbaik adalah yang memiliki komposisi terdiri atas karet alam dan karet sintetis, dengan kadar karbon tinggi (60,14 %), kadar polimer sebesar 25,42 %, *plasticizer content* (4,95 %), kadar debu kecil (7,57 %), dan kadar sulfur (1,64 %), sedangkan sisanya adalah bahan lain yang tidak teruji.

Sifat karakteristik bahan pengikat dengan menggunakan 15 % CR dengan kecepatan pencampuran 6000 rpm yang terbaik pada temperatur pencampuran 140 °C dengan waktu pengadukan selama 60 menit.

Saran

Pengujian viskositas sebaiknya dilakukan untuk mengetahui kemudahan pelaksanaan campuran beraspal panas di lapangan. Penambahan bahan aditif yang bisa meningkatkan sifat-sifat aspal CR perlu dipertimbangkan pada penelitian selanjutnya.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada Kepala Pusjatan, Kementerian PUPR dan Kepala Balai Bahan dan Perkerasan Jalan serta berbagai pihak yang telah membimbing dalam penyusunan makalah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Adhikari, B., D. De, and S. Maiti. 2000. Reclamation and Recycling of Waste Rubber. *Progress in Polymer Science* 25 (7): 909-948.
- American Standard Testing Material (ASTM). 2009. "Standard Terminology Relating to Materials for Roads and Pavements, American Society for Testing and Materials". *ASTM International Standards, Volume 04.03, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement Systems*. Conshocken:ASTM.
- Biro, Szabolcs, Bence Fazekas. 2005. Asphalt Rubber Versus Other Modified Bitumens. *Road Materials and Pavement Design X(X)*: 1-n.
- Celauro, B., Clara C., Davide L.P., and Antonio B. 2012. Definition of a Laboratory Optimization Protocol for Road Bitumen Improved with Recycled Tire Rubber, *Construction Building Mater* 37:562-72.
- Dašek, Ondřej, Jan Kundra, Jiří Kachtík, and Karel Spies. 2012. Asphalt Rubber in the Czech Republic. *Asphalt-rubber 2012 Conference*. Munich: Asphalt Rubber.
- Epps, Jon A. 1994. Uses of Recycled Rubber Tires in Highways. *NCHRP Synthesis of Highway Practice* No. 198. Washington, D.C.: TRB.
- Federal Highway Administration (FHWA). 2015. "User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction, Scrap Tires". Washington, D.C.: FHWA. <http://www.fhwa.dot.gov/publications/research/infrastructure/structures/97148/st1.cfm>. (Accessed 11 05 2015)
- Herminiwati. 2010. Pembuatan Ban Dalam Sepeda Motor dengan Filler Precipitated Calcium Carbonate (PCC). *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik* 26(1): 42-48.
- Holikatti, Sri, Haiping Z., Peter Vacura. 2012. Seven Year Itch – Evaluation of Caltrans Full Scale Experiment on Asphalt Rubber Modified Pavements. *Asphalt Rubber Conference*. www.consulpav.com/shop/?product=seven-year-itch-evaluation-of-caltrans-full-scale-experiment-on-asphalt-rubber-modified-pavements (accessed May, 5 2017).
- Indonesia, Kementerian Pekerjaan Umum. 2010. *Spesifikasi Umum*. Edisi 2010 (Revisi 3). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum.
- Moreno F., Rubio M.C., Martinez-Echevarria M.J. 2010. Analysis of digestion time and the crumb rubber percentage in dry-process crumb rubber modified hot bituminous mixes. *Construction and Building Materials* 25(5): 2323-2334.
- Purnomo, Wahyu. 2012. "Perancangan Laboratorium Campuran Perkerasan HRS-WC dengan

- Crumb Rubber sebagai Filler*". Tesis Master. Universitas Gadjah Mada.
- Sugiyanto, G. 2008. Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil* 8(2): 91-104.
- Sumantry, CV. *Sejarah Singkat Karet*. <http://sumantry.com/artikel/49-sejarah-singkat-karet> (accessed April 17, 2015)
- Way, George. 2012. Asphalt-Rubber 45 Years of Progress. *Asphalt-rubber 2012 Conference*. Munich: Asphalt Rubber.
- Way, George, Kamil K., and Krishna P.B. 2012. "Asphalt-Rubber Standard Practice Guide An Overview". *Asphalt-rubber 2012 Conference*. Munich: Asphalt Rubber.