

# Pembuatan Aspal Modifikasi Polimer Berbasis Karet Alam Tanpa dan Dengan Mastikasi

Bahrudin<sup>1a)</sup>, Arya Wiranata<sup>1</sup>, Alfian Malik<sup>2</sup>, Robby Kumar<sup>3</sup>,  
Dia Sari Permata<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Jurusan Teknik Kimia, Universitas Riau, Pekanbaru 28293

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil, Universitas Riau, Pekanbaru 28293

<sup>3</sup>Balai Pengembangan Produk dan Standarisasi Industri, Pekanbaru 28281

<sup>a)</sup>Corresponding/ Main Contributor [bahrudin@lecturer.unri.ac.id](mailto:bahrudin@lecturer.unri.ac.id)

## ABSTRAK

Penggunaan aspal termodifikasi karet alam diyakini dapat menghasilkan jalan aspal yang lebih tahan terhadap beban lalu lintas tinggi dan perubahan iklim yang ekstrim. Karet alam yang digunakan dapat berupa lateks, karet padat maupun karet bekas pakai. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh perlakuan crumb rubber tipe Standard Indonesian Rubber (SIR) 20 terhadap karakteristik produk aspal-karet yang dihasilkannya. Perlakuan tersebut meliputi crumb rubber orisinil (CR), crumb rubber dengan mastikasi (CRM) dan crumb rubber mastikasi dengan penambahan aspal sebagai pelunak (CRMA). Proses mastikasi karet dengan penambahan aspal 1% sebagai pelunak (CRMA) dan tanpa pelunak (CRM) dilakukan dengan menggunakan Open Mill pada suhu kamar. Sebelum dicampur dengan aspal, karet terlebih dahulu dilelehkan pada suhu 200°C. Pencampuran crumb rubber tersebut dengan aspal dilakukan pada suhu 170 °C, dimana kadar CR divariasikan pada kadar 5%, 8%, dan 10% w/w. Perlakuan yang sama juga dilakukan terhadap CRM dan CRMA, namun dengan kadar hanya 10% w/w. Pengujian sampel aspal-karet meliputi: Fourier Transform Infra Red (FTIR), penetrasi, titik lembek, kehilangan berat dan stabilitas marshall. Hasil penelitian menunjukkan bahwa karakteristik terbaik dari produk aspal-karet tersebut diperoleh untuk campuran dengan menggunakan CRM. Karakteristik produk aspal-karet berbasis CRM tersebut meliputi penetrasi 58,5 dmm, titik lembek 59,1 °C, kehilangan berat 0% dan stabilitas marshall 1710 kg.

**Kata Kunci :** aspal karet, crumb rubber, mastikasi, stabilitas marshall, titik lembek

## Abstract

*The use of modified natural rubber asphalt is believed to produce asphalt roads that are more resistant to high traffic loads and extreme climate change. Natural rubber used can be in the form of latex, solid rubber or used rubber. This study aims to determine the effect of crumb rubber treatment type Standard Indonesian Rubber (SIR) 20 on the characteristics of asphalt-rubber products. The treatments include crumb rubber without treatment (CR), crumb rubber with mastication (CRM) and crumb rubber mastication with the addition of asphalt as a softener (CRMA). The mastication of the CRMA and CRM was both carried out using an Open Mill at room temperature. Before it was mixed with asphalt, the rubber was first melted at 200°C. Mixing the crumb rubber with asphalt was carried out at 170 °C, where CR varied at 5%, 8%, and 10% w/w. The same treatment was also carried out for both CRM and CRMA, but with only 10% w/w. Characterization for asphalt-rubber samples include: Fourier Transform Infra Red (FTIR), penetration, softening point, weight loss and marshall stability. The results showed that the best characteristics of the asphalt-rubber products are obtained for blends using CRM. The characteristics of CRM-based bitumen-rubber products include penetration 58.5 dmm, softening point 59.1 °C, weight loss 0% and marshall stability 1710 kg.*

**Keywords :** asphalt rubber, crumb rubber, mastication, marshall stability, softening point

## PENDAHULUAN

Pertumbuhan transportasi darat yang tidak diiringi dengan pertumbuhan lebar dan panjang jalan dapat menyebabkan kemacetan lalu lintas. Kemacetan lalu lintas dalam waktu yang lama akan memberikan beban besar terhadap konstruksi jalan, sehingga dapat menyebabkan terjadinya keretakan ataupun rutting pada jalan. Selain itu, kerusakan jalan dapat disebabkan oleh iklim yang ekstrim, genangan air, kelembapan dan mutu aspal yang jelek [1]. Panjang jalan beraspal di Indonesia pada tahun 2017 mencapai 321.093 km dengan kondisi 16,72% rusak dan 17,36% rusak berat [2]. Perbaikan terhadap jalan rusak akan meningkatkan biaya perawatan jalan beraspal setiap tahunnya. Salah satu langkah untuk menekan peningkatan biaya perawatan jalan beraspal adalah dengan mengkaji ulang konstruksi jalan dan peningkatan kualitas mutu aspal melalui proses modifikasi. Penggunaan aspal termodifikasi karet alam diyakini dapat menghasilkan jalan aspal yang lebih tahan terhadap beban lalu lintas tinggi dan perubahan iklim yang ekstrim.

Modifikasi aspal dapat dilakukan dengan penambahan aditif. Kriteria bahan aditif untuk campuran aspal harus mampu menghasilkan stabilitas dan titik lembek yang tinggi, meningkatkan fleksibilitas, meningkatkan daya tahan/durabilitas dan meningkatkan daya ikat aspal terhadap agregat. Salah satu bahan aditif potensial yang banyak terdapat di Indonesia adalah karet alam. Karet alam yang digunakan dapat berupa lateks, karet padat maupun karet bekas pakai. Indonesia merupakan negara produsen karet alam terbesar kedua di dunia setelah Thailand, dimana produksi karet alam mencapai 3,774 juta ton pada akhir tahun 2018 [3]. Saat ini sekitar 85% karet Indonesia diekspor ke beberapa negara seperti Amerika Serikat, China, Jepang dan beberapa negara lainnya. Harga karet dunia pada Januari 2017 hingga Januari 2019 mengalami penurunan hingga 48,1% [4]. Salah satu penyebab turunnya harga karet alam dipicu oleh masih dominannya industri ban sebagai konsumen utama karet alam. Pengembangan pemanfaatan karet alam ke sektor lainnya merupakan suatu keharusan dan harus segera dilakukan, khususnya untuk kebutuhan domestik, jika ingin harga karet alam stabil dan tidak terus menurun.

Kajian pemanfaatan karet alam sebagai aditif aspal sudah dilakukan oleh beberapa peneliti. Jenis karet yang digunakan dapat berupa lateks, cup lump (CL), karet teknis (seperti crumb rubber) maupun karet bekas pakai dari ban bekas. Wen [5] menggunakan lateks dengan Dry Rubber Content (DRC) > 60% sebagai aditif aspal. Penggunaan lateks tersebut dapat menurunkan sensitifitas aspal terhadap suhu, meningkatkan ketahanan selama pemakaian dan distribusi karet yang lebih merata dalam campuran. Penambahan CL dapat meningkatkan titik lembek aspal, namun menurunkan penetrasi dan daktilitasnya [6]. Ramadhan [7] menggunakan Block Skim Rubber (BSR) dan Crumb Rubber Standard Indonesian Rubber (SIR 20) yang dimastikasi pada open mill. Perlakuan mastikasi tersebut dapat menurunkan viskositas mooney karet, mempercepat waktu pencampuran dan meningkatkan titik lembek aspal. Penggunaan karet teraktivasi dari ban bekas sebagai aditif aspal juga menunjukkan peningkatan terhadap titik lembek aspal [8].

Penggunaan karet dalam bentuk padatan seperti crumb rubber akan membutuhkan waktu yang sangat lama dalam proses pencampurannya sehingga dibutuhkan proses depolimerisasi dengan menggunakan mastikasi [7]. Mastikasi adalah proses perubahan sifat fisik karet dari elastis menjadi plastis. Selama mastikasi, pemutusan rantai polimer jadi dikarenakan gaya geser oleh roll mill. Proses ini mengakibatkan terjadinya penurunan berat molekul dan viskositas dari karet. Proses mastikasi paling efisien dilakukan pada suhu dibawah 60 – 70°C dan diatas 120 – 130°C. Proses mastikasi dapat dipercepat dengan penambahan *plasticizer* sebagai agen pelunak dari karet. Untuk menghemat biaya produksi aspal karet digunakan aspal penetrasi 60/70 sebagai pelunak. Senyawa yang berasal dari hidrokarbon *oil* sangat cocok digunakan sebagai pelunak untuk jenis karet alam. Aspal merupakan senyawa hidrokarbon *oil* sehingga sangat cocok digunakan sebagai alternatif pelunak untuk karet alam.

Berdasarkan beberapa penelitian tersebut memperlihatkan bahwa modifikasi aspal dengan menggunakan berbagai jenis karet alam memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan kualitas aspal. Peningkatan terjadi pada durabilitas, resistensi terhadap suhu, resistensi terhadap rutting dan mencegah penuaan dini terhadap aspal. Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan karet alam berjenis Crumb Rubber tipe Standard Indonesian Rubber (SIR) 20. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pengaruh perlakuan crumb rubber jenis Standard Indonesian Rubber (SIR) 20 (yaitu penambahan crumb rubber secara langsung (CR), crumb rubber dengan mastikasi (CRM) dan crumb rubber mastikasi dengan penambahan aspal sebagai pelunak (CRMA)) terhadap karakteristik produk aspal-karet yang dihasilkannya.

## METODE PENELITIAN

### Bahan

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Penetrasi 60/70 dengan spesifikasi sesuai pada Tabel 1, produksi PT. Pertamina (Persero). Karet alam yang digunakan adalah Crumb Rubber dengan spesifikasi Standard Indonesian Rubber 20, produksi PT. Rickry, Provinsi Riau. Agregat yang digunakan dalam penelitian ini menggunakan agregat olahan dari PT. Virajaya Riau Putra, Provinsi Riau. Spesifikasi agregat yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 2.

**Tabel 1.** Spesifikasi Aspal Penetrasi Aspal 60/70

Karakteristik	Standar Uji	Hasil Uji
Penetrasi pada 25°C (dmm)	ASTM D5	70,2
Titik lembek (°C)	ASTM D36	48
Kehilangan berat, TFOT (%)	ASTM D6	0,365
Penetrasi setelah TFOT (dmm)	ASTM D5	64,7
Daktilitas (cm)	ASTM D113	110
Stabilitas Marshall (kg)	ASTM D6927	1179,25

**Tabel 2.** Komposisi Agregat Pengujian Marshall Stability

Agregate	Composition (%)
Coarse Aggregate	14
Medium Aggregate	30
Fine Aggregate	45
Filler Cement	5

### Prosedur Penelitian

#### *Persiapan Sampel Aspal Modifikasi*

Mula-mula crumb rubber (CR) dipotong dadu dengan ukuran 0,5 cm × 0,5 cm × 0,5 cm. Sebagian CR dimastikasi dengan penambahan 1% Aspal (CRMA) dan tanpa penambahan Aspal (CMR). Proses mastikasi menggunakan Open Roll Mill pada suhu ruang. Selanjutnya CR, CRM, CRMA, masing-masing dilelehkan pada suhu 200 °C. Pencampuran CR dengan aspal dilakukan pada kondisi leleh dengan suhu 170 °C, dimana kadar CR divariasikan pada kadar 5%, 8%, dan 10% w/w. Pencampuran dilakukan dengan menggunakan mixer pada kecepatan aduk 50 rpm dan lama waktu pengadukan 30 menit. Sampel campuran aspal-karet juga dibuat dengan cara yang sama untuk produk aspal-CRM dan aspal-CRMA.

#### *Karakterisasi Sampel Aspal Modifikasi*

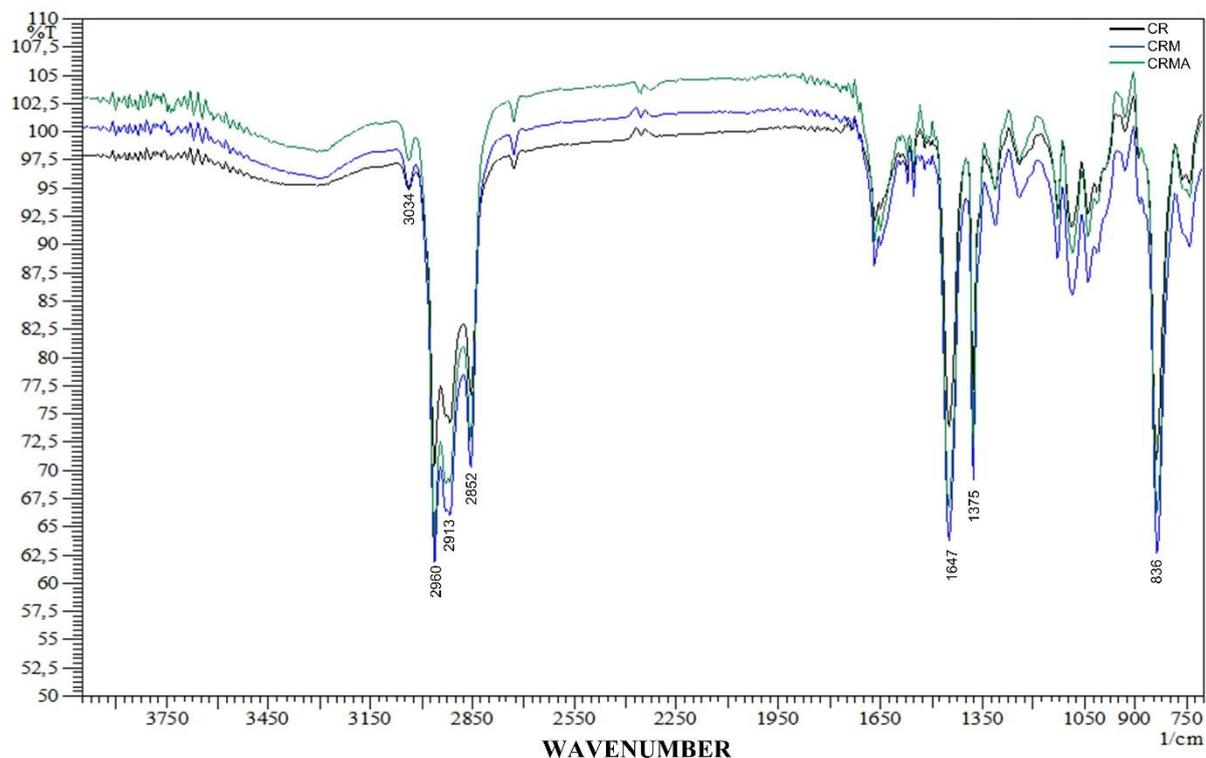
Karakterisasi sampel campuran aspal-karet meliputi pengujian Fourier Transform Infra Red (FTIR), Penetrasi (ASTM D5), Titik Lembek (ASTM D36), Kehilangan Berat (ASTM D6 / D6M), dan Stabilitas Marshall (ASTM D6927). Pengujian Stabilitas Marshall menggunakan komposisi agregat seperti ditunjukkan pada Tabel 2 dengan kadar aspal optimum 6% untuk semua sampel aspal-karet.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Spektra FTIR Karet Mastikasi

Pengujian FTIR dilakukan untuk melihat pengaruh mastikasi dan penambahan 1% aspal terhadap molekul karet sebelum dicampurkan dengan aspal. Pengujian FTIR terhadap sampel karet menggunakan panjang gelombang 4000 – 700 cm<sup>-1</sup> dan hasil uji FTIR untuk karet dapat dilihat pada Gambar 1. Puncak yang terbentuk pada panjang gelombang 3030–3040 cm<sup>-1</sup> menunjukkan gugus fungsi –CH=CH<sub>2</sub>, panjang gelombang 2958–2960 cm<sup>-1</sup> menunjukkan gugus fungsi –CH<sub>3</sub>, 2919–2927 cm<sup>-1</sup> menunjukkan gugus fungsi –CH<sub>2</sub>–

asimetris, panjang gelombang 2852–2854  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi  $-\text{CH}_2-$  simetris, panjang gelombang 1647  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi  $\text{C}=\text{C}$ , panjang gelombang 1375  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi  $-\text{CH}_3$  asimetris dan panjang gelombang 836  $\text{cm}^{-1}$  menunjukkan gugus fungsi  $\text{C}=\text{C}-\text{H}$  (cis-1,4 adisi [9]).



**Gambar 1.** Spektra FTIR Sampel CR, CRM dan CRMA

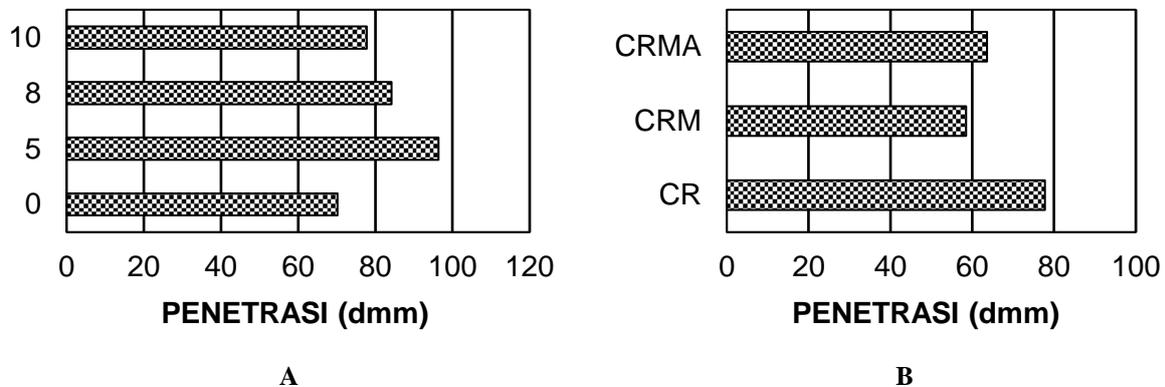
Proses mastikasi menyebabkan rantai molekul polimer terputus sehingga membentuk radikal bebas yang aktif mengikat kembali rantai polimer ataupun mengikat molekul lainnya. Dalam *open mill* terbuka radikal bebas cenderung mengikat oksigen dari udara bebas yang akan membentuk radikal peroksida [10], radikal peroksida yang terbentuk akan membentuk gugus aldehida yang akan menyebabkan ikatan silang [11]. Peningkatan ikatan silang dapat dilihat pada gambar 1 antara angka gelombang 1370–1380, 2850–2880, 2950–2980  $\text{cm}^{-1}$ . Saat yang sama terjadi peningkatan ikatan rangkap pada angka gelombang 800–900, 1650–1680, dan 3010–3040  $\text{cm}^{-1}$  [12].

Terlihat bahwa karet dengan perlakuan mastikasi (CRM) memiliki puncak yang lebih curam dibandingkan dengan karet tanpa perlakuan mastikasi (CR) dan dengan mastikasi dan penambahan 1% aspal (CRMA). Proses mastikasi dan penambahan 1% aspal tidak mempengaruhi perubahan struktur kimia pada karet secara signifikan, tetapi hanya merubah sifat fisik dari karet tersebut menjadi lebih lunak. Hal ini menandakan rantai polimer karet menjadi lebih pendek dan interaksi antar molekulnya menjadi lebih lemah. Penambahan 1% aspal dalam karet juga dapat berperan sebagai plasticizer yang menjadikan karet lebih lunak lagi. Plasticizers harus memiliki kriteria yaitu substansi non volatil, mempunyai titik didih yang tinggi, dan jika ditambahkan ke dalam materi lain hanya mengubah sifat fisik atau sifat mekanik bahan tersebut [13].

Karet alam dalam bentuk padatan seperti crumb rubber dapat digunakan sebagai aditif aspal secara langsung. Namun, penggunaan karet alam dalam bentuk padatan secara langsung akan membutuhkan waktu yang lama untuk dapat tercampur sempurna dengan aspal. Proses mastikasi karet dengan cara penggilingannya dalam *open mill* bertujuan untuk mengurangi panjang rantai molekul karet alam sehingga menjadi lebih lunak. Rantai molekul yang lebih pendek dapat mempersingkat waktu pencampuran karet dan aspal [14]. Selama proses mastikasi karet dipengaruhi oleh faktor-faktor lama waktu mastikasi, suhu proses, laju geser roll penggilingan, tegangan geser dan viskositas karet [15].

## Penetrasi Aspal-Karet

Penetrasi aspal mengidentifikasi tingkat kekerasan aspal. Aspal dengan penetrasi rendah cocok digunakan pada daerah dengan iklim panas. Hal ini dikarenakan aspal dengan penetrasi rendah cenderung memiliki titik leleh dan ketahanan rutting yang lebih tinggi, sehingga memperpanjang masa pakai aspal. Penambahan karet alam dalam aspal dapat meningkatkan atau menurunkan penetrasi aspal yang tergantung pada kondisi operasi pencampuran. Gambar 2A menunjukkan pengaruh penambahan Crumb Rubber (CR) secara langsung dengan variasi nisbah karet. Penambahan 5%, 8% dan 10% karet mengakibatkan peningkatan penetrasi sebesar 37,42%, 19,94% dan 10,82% dari aspal konvensional. Peningkatan penetrasi aspal disebabkan lelehan CR tidak tercampur merata dalam aspal dan cenderung membentuk gumpalan pada permukaan campuran aspal – karet. Akibatnya terjadi akumulasi lelehan karet pada permukaan campuran menyebabkan permukaan aspal berubah menjadi lebih lembek sehingga penetrasi aspal meningkat [6].

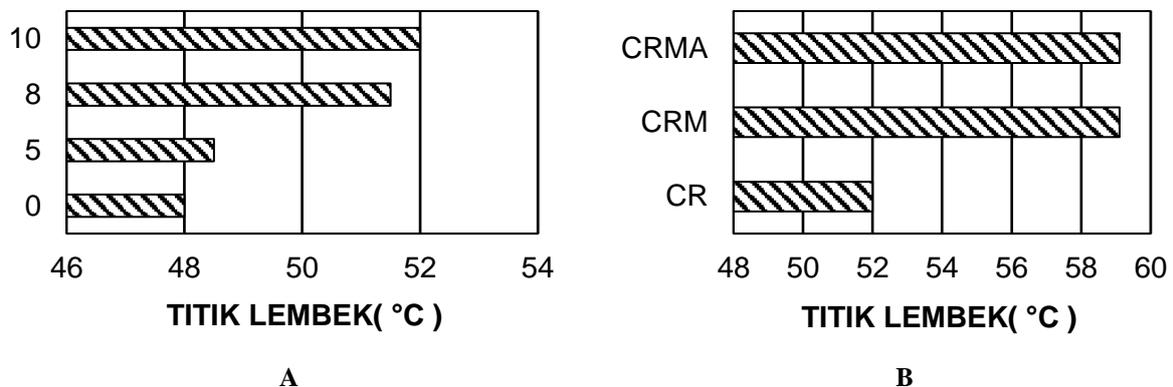


**Gambar 2.** A) Pengaruh Nisbah CR Terhadap Penetrasi Aspal dan B) Pengaruh Mastikasi dan Penambahan Aditif Pelunak Terhadap Penetrasi aspal

Terbentuknya akumulasi pada permukaan campuran aspal – karet diakibatkan kecepatan pengadukan hanya 100 rpm. Kecepatan yang rendah menyebabkan distribusi karet dalam aspal menjadi tidak merata dan cenderung berada pada permukaan campuran. Campuran aspal dengan penambahan 8% dan 10% aspal terjadi penurunan penetrasi dibandingkan campuran aspal dengan 5% karet. Peningkatan nisbah karet dalam aspal akan memperbesar kapasitas penyerapan fraksi ringan aspal dan mempercepat distribusi karet dalam aspal [16]. Penyerapan fraksi ringan aspal oleh karet akan membuat karet mengembang membentuk viscous gel yang mengakibatkan penurunan penetrasi [17]. Gambar 2A memperlihatkan campuran aspal dengan 10% karet memiliki kondisi operasi yang dapat diaplikasikan dikarenakan karakteristik aspal yang tidak terlalu lembek. Penambahan karet dengan perlakuan mastikasi (CRM) dan penambahan aditif pelunak (CRMA) memberikan hasil penurunan penetrasi sebesar 24,80% dan 18,25% dari aspal dengan penambahan CR tanpa mastikasi pada nisbah karet yang sama sebesar 10%. Penurunan penetrasi aspal pada aspal – CRM dan CRMA disebabkan oleh terputusnya ikatan silang rantai polimer dikarenakan panas yang berlebihan saat proses pelelehan yang membentuk sisi aktif CR. Sisi aktif CR hasil terputusnya ikatan silang tersebut akan berikatan dengan asphaltene [8]. Ikatan sisi aktif CR dengan asphaltene akan meningkatkan berat molekul asphaltene sehingga, meningkatkan kekakuan aspal dan menurunkan sensitifitas terhadap suhu [18]. Sisi aktif CR yang berikatan dengan asphaltene dapat meningkatkan ikatan adhesi dan kohesi semakin kuat dengan indikasi aspal menjadi lebih keras. Proses mastikasi berperan besar terhadap mempersingkat waktu pencampuran dan distribusi karet lebih cepat merata [8].

### Titik Lembek Aspal-Karet

Proses modifikasi aspal dengan penambahan bahan aditif berupa CR dinyatakan berhasil apabila nilai titik leleh aspal modifikasi lebih tinggi dari pada nilai titik leleh aspal konvensional [14]. Titik leleh meningkat dengan meningkatnya kadar asphaltene dan semi padat (resin) disertai menurunnya kadar maltene secara linear [19]. Modifikasi aspal dengan CR memberikan ketahanan resistensi terhadap suhu yang lebih tinggi. Gambar 3A menunjukkan peningkatan titik leleh sebesar 0 – 8,33% dari aspal konvensional dengan peningkatan titik leleh tertinggi diperoleh dengan penambahan 10% CR. Titik leleh semakin meningkat dengan penambahan 10% CRM dan CRMA. Peningkatan titik leleh setelah penambahan CRM dan CRMA sebesar 23,95% dari aspal konvensional atau 14,42% dari penambahan 10% CR dengan nilai titik leleh sebesar 59,1°C seperti yang terlihat pada gambar 3B.

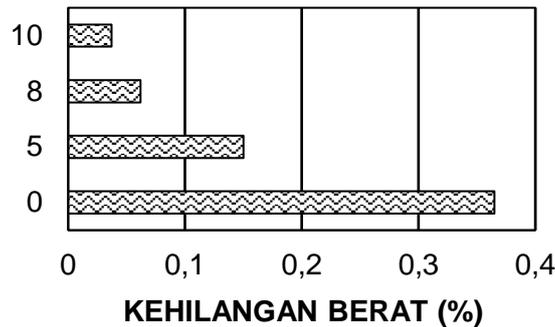


**Gambar 3.** A) Pengaruh Nisbah CR Terhadap Titik Lembek Aspal dan B) Pengaruh Mastikasi dan Penambahan aditif pelunak terhadap Titik Lembek aspal

penambahan CR ke dalam aspal akan meningkatkan berat molekul aspal tersebut, sehingga kerapatan molekul meningkat dan hambatan gesekan pada bola pengujian lebih besar [20]. Peningkatan resin dalam aspal akibat penambahan CR memicu meningkatkan sifat kohesi aspal [21]. Peningkatan sifat kohesi aspal berbanding terbalik dengan penetrasi aspal. Sifat kohesi yang kuat akan menghasilkan aspal yang keras dan memiliki titik leleh yang lebih tinggi. Peningkatan titik leleh yang cukup besar terjadi setelah penambahan CRM dan CRMA. Hal ini diakibatkan distribusi karet lebih merata, Proses mastikasi akan menyebabkan ukuran partikel CRM dan CRMA dalam campuran aspal akan lebih halus. Selain itu proses mastikasi membentuk sisi aktif CR yang mengikat asphaltene, akibat pengikatan tersebut membentuk ikatan kohesi semakin tinggi dan aspal yang dihasilkan semakin keras [8]. Peningkatan titik leleh pada aspal dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap rutting, peningkatan daktilitas, stabilitas thermal dan waktu aging.

### Kehilangan Berat Aspal-Karet

Kehilangan berat pada aspal adalah metoda selisih berat sampel sebelum dan setelah dilakukan *Thin Film Oven Test* (TFOT). Kehilangan berat pada aspal terjadi karena adanya komponen aromatik yang merupakan komponen senyawa maltene mudah menguap seperti *benzene* dan *xylene* [17]. Besarnya nilai kehilangan berat aspal menunjukkan kepekaan aspal tersebut terhadap perubahan suhu. Pengujian menggunakan TFOT bertujuan untuk mengetahui pengaruh senyawa mudah menguap terhadap penuaan aspal (aging) jangka pendek dan sensitifitas aspal terhadap suhu tinggi. Kehilangan berat aspal yang diizinkan maksimal 1% dari berat aspal [5].



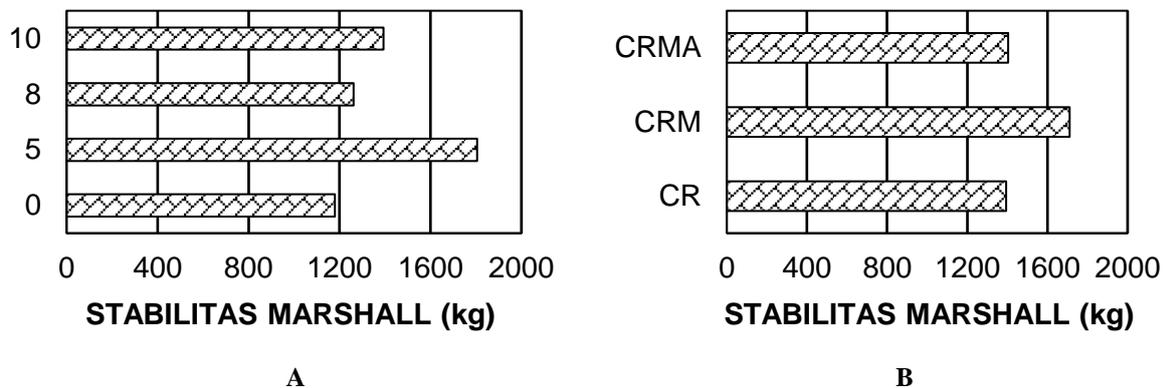
**Gambar 4.** Pengaruh Nisbah CR Terhadap Kehilangan Berat Aspal

Gambar 4 Menunjukkan Penambahan CR dapat menekan kehilangan berat aspal antara 58,9% – 89,8 %. Kehilangan berat aspal terendah diperoleh dengan penambahan CR sebesar 10% dengan nilai kehilangan berat sebesar 0,037%. Fungsi CR dalam aspal bertindak sebagai membran bagi fraksi ringan dalam aspal [5]. Aspal dengan penambahan CRM dan CRMA tidak mengalami kehilangan berat aspal saat dilakukan pengujian TFOT. Hal ini disebabkan karet yang tersebar merata dalam aspal dan mampu mengikat senyawa volatil dalam aspal dengan baik. Kehilangan berat pada aspal menyebabkan penurunan nilai penetrasi dan peningkatan titik lembek. Aspal dengan titik lembek tinggi lebih resisten terhadap terjadinya rutting akibat perubahan suhu. Kehilangan berat aspal erat kaitannya dengan penuaan aspal jangka pendek, menurunnya kehilangan berat setelah penambahan CR diharapkan masa pakai aspal semakin lama.

### Stabilitas Marshall Aspal-Karet

Aspal modifikasi dalam aplikasinya harus memiliki kemampuan dalam menahan beban lalu lintas tanpa terjadi deformasi permanen [22]. Selain itu stabilitas campuran aspal harus memiliki ketahanan rutting dan kinerja yang lebih baik dalam suhu tinggi dan rendah. Penambahan karet ke dalam aspal dalam aplikasinya memiliki keuntungan seperti kualitas mengendarai lebih baik, resisten terhadap kelembaban, durabilitas lebih tinggi, kepekaan terhadap suhu berkurang dan tingkat kebisingan yang rendah. Penambahan CR dalam aspal memperbaiki kemampuan aspal dalam menahan beban lalu lintas, hal itu dapat dilihat pada gambar 5A dengan meningkatnya stabilitas dari aspal sebesar 6,97 -53%. Peningkatan paling tinggi diperoleh pada penambahan 5% CR dengan nilai stabilitas 1804,6 kg. Pada penelitian ini digunakan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6% yang diterapkan pada semua sampel.

Penambahan 8% dan 10% CR menyebabkan terjadinya penurunan stabilitas aspal sebesar 30% dari aspal – 5% CR. Penurunan stabilitas tersebut disebabkan tidak optimalnya kadar KAO dalam campuran. Tidak optimalnya KAO dalam campuran mempengaruhi sifat kohesi dan adhesi dari aspal. Penambahan CR menyebabkan penurunan kadar optimum aspal dalam campuran dikarenakan penetrasi dan titik lembek aspal yang berubah [23]. Kadar optimum aspal yang tidak tepat akan menyebabkan campuran aspal mudah mengalami deformasi dan rutting secara permanen yang berefek pada rendahnya nilai stabilitas campuran aspal [24,25].



**Gambar 5. A)** Pengaruh Nisbah CR Terhadap Stabilitas Aspal dan **B)** Pengaruh Mastikasi dan Penambahan Aditif Pelunak Terhadap Stabilitas aspal

Gambar 5B memperlihatkan campuran aspal dengan penambahan 10% CRM dan CRMA memiliki stabilitas yang lebih baik dari pada 10% CR. Campuran aspal dengan 10% CRM memiliki nilai stabilitas 1.710,9 kg dan campuran aspal dengan 10% CRMA memiliki nilai stabilitas 1.404,0 kg. Campuran aspal – 10% CRM dapat meningkatkan potensi aspal – karet dari segi stabilitas campuran aspal. Hal ini disebabkan aspal tersebut memiliki penetrasi yang rendah, hal ini menandakan ikatan adhesi dan kohesi aspal tersebut lebih baik dibandingkan dengan aspal – 10% CR. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, campuran aspal – 10% CRM yang paling optimum untuk diaplikasikan dalam pembuatan jalan dikarenakan nilai Void Filled Aggregate (VFA) pada campuran tersebut mencapai 87,2%. Nilai VFA yang besar menandakan aspal mampu mengisi rongga diantara butir agregat sehingga ikatan kohesi dan adhesi aspal dengan agregat semakin kuat sehingga memiliki nilai stabilitas yang tinggi. Nilai VFA yang besar menyebabkan nilai Void In Mixture (VIM) dan nilai Void in Mineral Aggregate (VMA) semakin kecil, campuran aspal – CRM memiliki nilai VIM sebesar 1,97 % dan nilai VMA 15,37 % yang menandakan kekedapan aspal yang baik. Campuran aspal yang kedap akan menghambat oksidasi aspal sehingga dapat menunda penuaan aspal. Selain itu, nilai flow yang dihasilkan hanya 4,7 mm yang menandakan aspal bersifat kaku dan resisten terhadap rutting.

Stabilitas campuran aspal dapat dipengaruhi beberapa faktor yang memberikan perbedaan signifikan terhadap hasil penelitian lainnya. Faktor yang mempengaruhi stabilitas campuran aspal diantaranya adalah kadar aspal optimum dalam campuran, gradasi dan komposisi agregat dalam campuran, penetrasi aspal – karet yang digunakan, viskositas campuran dan temperatur pencampuran dan pemadatan [26]. Peningkatan stabilitas aspal memberikan daya tahan aspal lebih baik dalam menahan beban lalu lintas, peningkatan resistensi rutting, mengurangi deformasi pada suhu tinggi, mengurangi resistensi terhadap kelelahan dan anti penuaan akibat penambahan Crumb Rubber.

## KESIMPULAN

Penambahan lelehan Crumb Rubber (CR) dapat mengubah reologi aspal konvensional menjadi lebih baik dalam segi daya tahan terhadap beban dan perubahan suhu. Aspal dengan penambahan CR paling optimum pada kadar 10%. Tetapi kondisi tersebut dapat dioptimalkan kembali dengan penambahan proses mastikasi pada karet (CRM). Hasil spektra FTIR pada karet menunjukkan tidak terjadi perubahan struktur kimia melainkan hanya perubahan sifat fisik karet selama proses mastikasi dan penambahan aditif aspal. Perubahan fisik yang terjadi hanya membuat karet menjadi lebih lunak dan mudah meleleh. Penambahan 1% aspal sebagai aditif (CRMA) dapat berperan sebagai agen plasticizer sehingga pelunakan karet menjadi lebih cepat. Aspal dengan penambahan 10% CRM memiliki kondisi paling optimum dengan nilai penetrasi 58,5 dmm, titik leleh 59,1°C, tidak terjadi kehilangan berat selama TFOT dan stabilitas Marshall mencapai 1710 kg. Penambahan CR dalam aspal diharapkan dapat meningkatkan ketahanan terhadap beban, resistensi terhadap rutting dan waktu aging sehingga masa pakai aspal semakin lama.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih kepada DRPM Kemristekdikti dan BPPSI Pekanbaru yang telah memberikan dukungan dana untuk pelaksanaan penelitian ini.

## DAFTAR PUSTAKA

1. Pais, J. C., Amorim, S. I., & Minhoto, M. J. (2013). Impact of traffic overload on road pavement performance. *Journal of transportation Engineering*, 139(9), 873-879.
2. Badan Pusat Statistik (BPS). (2018). Statistik Transportasi Darat 2017. Badan Pusat Statistik.
3. GAPKINDO. (2018). Analisis Pasar Karet 2018. Info Karet vol. 12.
4. Tradingeconomics Statistic. rubber commodity price statistics. <https://tradingeconomics.com/commodity/rubber/>, 2019 (diakses 05 Agustus 2019).
5. Wen, Y., Wang, Y., Zhao, K., & Sumalee, A. (2017). The use of natural rubber latex as a renewable and sustainable modifier of asphalt binder. *International Journal of Pavement Engineering*, 18(6), 547-559.
6. Azahar, N. M., Hassan, N. A., Putrajaya, R., Hainin, M. R., Puan, O. C., Shukry, N. A. M., & Hezmi, M. A. (2019, January). Engineering properties of asphalt binder modified with cup lump rubber. In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 220, No. 1, p. 012014). IOP Publishing.
7. Ramadhan, A., Cifriadi, A., Prastanto, H., & Kinasih, N. A. (2019). Effect of depolymerized block skim rubber (BSR) on the physical properties of modified asphalt. *Majalah Kulit, Karet, dan Plastik*, 34(2), 69-76.
8. Singh, B., Kumar, L., Gupta, M., Chauhan, M., & Chauhan, G. S. (2013). Effect of activated crumb rubber on the properties of crumb rubber-modified bitumen. *Journal of Applied Polymer Science*, 129(5), 2821-2831.
9. Rolere, S., Liengprayoon, S., Vaysse, L., Sainte-Beuve, J., & Bonfils, F. (2015). Investigating natural rubber composition with Fourier Transform Infrared (FT-IR) spectroscopy: A rapid and non-destructive method to determine both protein and lipid contents simultaneously. *Polymer Testing*, 43, 83-93.
10. Wisojodharmo, L. A., Fidyarningsih, R., Saputra, D. A., & Fitriani, D. A. (2018). Pengaruh Variasi Peptizers terhadap Viskositas dan Sifat Fisik Kompon Karet. *Jusami/ Indonesian Journal of Materials Science*, 17(3), 110-114.
11. Kruželák, J., Sýkora, R., & Hudec, I. (2014). Peroxide vulcanization of natural rubber. Part I: effect of temperature and peroxide concentration. *Journal of Polymer Engineering*, 34(7), 617-624.
12. Manaila, E., Stelescu, M., & Craciun, G. (2018). Degradation Studies Realized on Natural Rubber and Plasticized Potato Starch Based Eco-Composites Obtained by Peroxide Cross-Linking. *International journal of molecular sciences*, 19(10), 2862.
13. Wypych, G. 2017. Handbook of Plasticizers Third Edition. *ChemTec Publishing*. Toronto.
14. Prastanto, H. (2014). Depolimerisasi karet alam secara mekanis untuk bahan aditif aspal. *Jurnal Penelitian Karet*, 32(1), 81-87.
15. Litvinov, V. M., & De, P. P. (2002). *Spectroscopy of rubbers and rubbery materials*. iSmithers Rapra Publishing
16. Erkuş, Y., Kök, B. V., & Yilmaz, M. (2017). Effects of graphite on rheological and conventional properties of bituminous binders. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 10(4), 315-321.
17. Mashaan, N. S., Ali, A. H., Karim, M. R., & Abdelaziz, M. (2011). Effect of crumb rubber concentration on the physical and rheological properties of rubberised bitumen binders. *International journal of the physical sciences*, 6(4), 684-690.
18. Hamzaoui, R., Guessasma, S., & Bennabi, A. (2012). Penetration testing and thermal behavior of bitumen 35/50 and modified bitumen 13/40. *The European Physical Journal-Applied Physics*, 59(1).
19. Oyekunle, L. O. (2006). Certain relationships between chemical composition and properties of petroleum asphalts from different origin. *Oil & Gas Science and Technology-Revue de l'IFP*, 61(3), 433-441.
20. Fang, C., Qiao, X., Yu, R., Yu, X., Liu, J., Yu, J., & Xia, R. (2016). Influence of modification process parameters on the properties of crumb rubber/EVA modified asphalt. *Journal of Applied Polymer Science*, 133(27).

21. Hofko, B., Eberhardsteiner, L., Füssl, J., Grothe, H., Handle, F., Hospodka, M., ... & Scarpas, A. (2016). Impact of maltene and asphaltene fraction on mechanical behavior and microstructure of bitumen. *Materials and Structures*, 49(3), 829-841.
22. Speight, J. G. (2015). *Asphalt materials science and technology*. Butterworth-Heinemann.
23. Wulandari, P. S., & Tjandra, D. (2017). Use of crumb rubber as an additive in asphalt concrete mixture. *Procedia engineering*, 171, 1384-1389.
24. Irfan, M., Ali, Y., Ahmed, S., & Hafeez, I. (2018). Performance evaluation of crumb rubber-modified asphalt mixtures based on laboratory and field investigations. *Arabian Journal for Science and Engineering*, 43(4), 1795-1806.
25. Limbong, R. H., Hadiwardoyo, S. P., Sumabrata, R. J., & Ariyapijati, R. H. (2017). Influence of void in mix on rutting performance hot mix asphalt pavement with crumb rubber additive. In *Key Engineering Materials* (Vol. 753, pp. 321-325). Trans Tech Publications.
26. Siswanto, H., Supriyanto, B., Pranoto, Chandra, P. R., & Hakim, A. R. (2017, September). Marshall properties of asphalt concrete using crumb rubber modified of motorcycle tire waste. In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1887, No. 1, p. 020039). AIP Publishing.