

Performa Campuran Beraspal Laston AC-WC menggunakan Campuran Serbuk Ban Bekas dan Karet Alam sebagai Bahan Tambah Melalui Proses Kering

Rizki Prasetya Person1)

1) Dosen Program Studi Teknik Sipil Politeknik Negeri Sriwijaya
e-mail: rizki.prasetya.person@polsri.ac.id

ABSTRAK

Salah satu cara yang dapat dilakukan untuk mengatasi masalah pada Laston AC-WC adalah dengan memodifikasinya menggunakan serbuk karet ban bekas (crumb rubber). Pustakan bersama Puslitkaret dan beberapa pihak terkait berinovasi dengan melakukan pencampuran serbuk ban bekas dengan karet alam padat (SIR 20), namun masih memiliki kelemahan di mana serbuk yang dihasilkan mengalami penggumpalan karena daya rekat karet SIR 20 yang terlalu tinggi, sehingga dilakukan percobaan untuk menggantinya dengan jenis karet alam berupa lateks dengan nama produk Vulatex. Campuran karet difungsikan sebagai pengganti sebagian persentase agregat halus di mana proses pencampuran yang digunakan adalah dengan cara kering (dry mix). Persentase campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang digunakan adalah 0,5% dan 0,75% terhadap berat total agregat. Pengaruh dari campuran karet pada campuran beraspal dianalisis menggunakan beberapa pengujian performa campuran yang terdiri dari ketahanan terhadap beban yang diindikasikan dengan nilai stabilitas dan pelelehan (*flow*) serta ketahanan terhadap pengaruh rendaman air yang diukur melalui nilai indeks kekuatan sisa. Campuran karet membantu agregat halus dan filler menyerap aspal lebih banyak sehingga memberikan pengaruh pada penurunan kualitas karakteristik volumetrik dan parameter Marshall, di mana rongga-rongga pada campuran beraspal meningkat akibat dari penurunan kepadatan yang menghasilkan penurunan stabilitas dan stabilitas sisa serta menghasilkan pelelehan yang lebih tinggi. Namun hasil performa dari campuran beraspal yang dimodifikasi dengan 0,5% campuran karet relatif berbeda tipis dari campuran beraspal tanpa modifikasi dan masih dapat diterima pengunaannya.

Kata kunci: AC-WC, karet alam, stabilitas sisa, serbuk karet, Vulatex

1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan serbuk karet pada campuran beraspal memiliki tujuan untuk mengurangi jumlah limbah karet yang terbuang ke lingkungan, yaitu limbah dari ban kendaraan bekas dan penggunaan karet alam bertujuan meningkatkan kembali nilai jual karet sebagai salah satu komoditi penting yang ada di Indonesia. Salah satu jenis serbuk karet yaitu serbuk karet ban bekas dapat digunakan sebagai bahan tambah pada campuran beraspal baik melalui proses basah ataupun proses kering, namun belum menghasilkan nilai stabilitas dan stabilitas sisa yang lebih baik dari campuran beraspal konvensional [13].

Cara lain yang diharapkan mampu untuk mencapai nilai stabilitas dan stabilitas sisa yang lebih baik adalah dengan menggunakan

bahan tambah berupa campuran dari serbuk karet ban bekas, karet alam, dan beberapa bahan penunjang lainnya. Salah satu penelitian yang menjadi inspirasi awal mengenai campuran serbuk karet ban bekas dan karet alam adalah penelitian yang dilakukan pula oleh Sousa, dkk. (2012) [12]. Pada penelitian ini, serbuk karet ban bekas dijadikan material utama sebagai pemodifikasi dengan membentuk serbuk karet yang diaktivasi dan direaksikan menggunakan material hidrokarbon (*soft bitumen*) dan suatu stabilizer aspal (*binder stabilizer*).

Campuran dari beberapa material tersebut diproduksi dan diaktivasi dengan proses sedemikian rupa, sehingga membentuk butiran karet kering yang teraktivasi dan dikenal sebagai *Reacted and Activated Rubber* (RAR).

Konsep pembuatan dan pencampuran produk RAR tersebut menjadi awal mula digagasnya produksi campuran serbuk ban bekas dan karet alam pada campuran beraspal di Indonesia.

Pada penelitian ini dilakukan analisis kinerja campuran beraspal gradasi AC-WC dengan memanfaatkan campuran serbuk ban bekas dan karet alam sebagai bahan pemodifikasi yang pembuatannya mengikuti konsep pembuatan material RAR namun terdiri atas beberapa material penyusun yang tidak sama dengan RAR. Beberapa bahan yang menjadi material penyusun campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang akan digunakan pada penelitian ini adalah serbuk ban bekas, karet alam lateks (Vulutex), minyak aromatik dengan fungsi untuk menjenuhkan material karet (Minarex), dan kalsium karbonat (CaCO_3) yang berfungsi untuk mengurangi daya rekat material lain agar ketika dicampur tidak menggumpal.

Pengujian tahap awal yang dilakukan adalah pengujian pilot, di mana campuran serbuk ban bekas dan karet alam tersebut digunakan sebagai pengganti sebagian aspal namun tetap menggunakan metode pencampuran dengan proses kering (*dry mix*). Apabila hasil dari pengujian pilot tidak memenuhi syarat spesifikasi untuk karakteristik volumetrik dan parameter *Marshall*, maka campuran serbuk ban bekas dan karet alam akan digunakan sebagai bahan pemodifikasi campuran beraspal dengan memanfaatkannya sebagai pengganti sebagian agregat halus.

Setelah melalui tahap pilot test, maka akan dilanjutkan ke tahap pengujian lanjut dengan tujuan untuk menganalisis performa campuran beraspal yang menggunakan bahan modifikasi campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang terdiri dari pengujian Marshall dan perendaman Marshall (*Marshall Immersion*).

B. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ditentukan untuk dapat dicapai melalui penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Membandingkan dan menganalisis karakteristik volumetrik dan parameter Marshall campuran beraspal konvensional dan campuran beraspal yang dimodifikasi

dengan campuran serbuk ban bekas dan karet alam.

2. Membandingkan dan menganalisis nilai stabilitas sisa dan indeks kekuatan sisa campuran beraspal konvensional dan campuran beraspal yang dimodifikasi dengan campuran serbuk ban bekas dan karet alam.

C. Ruang Lingkup Penelitian

Beberapa hal yang masuk ke dalam ruang lingkup pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proporsi campuran karet untuk menggantikan sebagian aspal pada pengujian pilot dikunci pada kadar 20% terhadap berat total aspal.
2. Material penyusun campuran karet:
 - a. Serbuk karet ban bekas
 - b. Karet alam lateks (Vulutex)
 - c. Minyak Minarex
 - d. Kalsium Karbonat (CaCO_3)
3. Berdasarkan beberapa penelitian mengenai campuran serbuk ban bekas dan karet alam SIR 20, syarat material penyusun campuran karet yang disarankan oleh BPTK yaitu:
 - a. Serbuk ban bekas + karet alam = Min. 65% terhadap berat total campuran karet
 - b. Perbandingan karet alam dan serbuk ban bekas = 1:4
 - c. Perbandingan minyak Minarex dengan gabungan serbuk ban bekas dan karet alam = 1:10
4. Berdasarkan syarat di atas, maka proporsi material penyusun campuran karet:
 - a. Serbuk karet ban bekas = 52%
 - b. Karet alam Vulutex = 13%
 - c. Minyak Minarex = 6,5%
 - d. Kalsium Karbonat = 28,5%
5. Pada pengujian pilot, campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang digunakan adalah sebesar 2% terhadap berat total agregat, namun dikarenakan nilai MQ yang dihasilkan tidak memenuhi standar maka persen karet yang digunakan adalah sebesar 0,5% dan 0,75% terhadap berat total agregat.

D. Batasan Penelitian

Batasan-batasan yang diterapkan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Proses pengujian sifat fisik material (aspal, agregat, *filler*, dan serbuk karet), pembuatan benda uji, dan pengujian terhadap benda uji mengacu pada beberapa spesifikasi, yaitu sebagai berikut:
 - a. Spesifikasi Umum Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2018
 - b. Spesifikasi Khusus Interim Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Tahun 2017 (tentang penggunaan serbuk karet dalam campuran beraspal)
 - c. Standar Nasional Indonesia (SNI).
 - d. *American Society for Testing and Material (ASTM)*
 - e. *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*
2. Pengujian perendaman *Marshall (Marshall Immersion)* untuk mengetahui nilai stabilitas sisa dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) campuran beraspal yang telah melalui perendaman pada kondisi suhu 60°C selama 24 jam.

II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Laston Lapis Aus (*Asphalt Concrete-Wearing Course, AC-WC*)

Menurut Yoder dan Witczak (1975), lapis aspal beton (*laston*) atau yang sering disebut dengan *Asphalt Concrete* merupakan lapis permukaan pada perkerasan jalan yang digunakan dengan tujuan untuk mengantisipasi beban berat yang terjadi sebagai akibat dari jalan raya yang memiliki volume lalu lintas tinggi. Permukaan perkerasan jalan terdiri dari lapis antara atau lapis pengikat (*binder course*) dan lapis permukaan (*surface course*), yang jika dibutuhkan dapat juga ditambah dengan *prime coat*, *tack coat*, dan *seal coat*.

B. Campuran Serbuk Ban Bekas dan Karet Alam

Pada penelitian ini, karet alam yang digunakan untuk dicampur dengan serbuk ban bekas adalah karet alam berbentuk cair atau lateks yang bernama *Vulutex*. Kedua jenis material karet tersebut kemudian dicampur dengan material minyak penjenh karet

sebagai material hidrokarbon yang bernama *Minarex* dan kalsium karbonat (CaCO_3).

Penentuan proporsi masing-masing material penyusun dengan sedikit perubahan dan penentuan ulang serta syarat nilai karakteristik dari campuran serbuk ban bekas dan karet alam mengikuti konsep pembuatan dan penggunaan spesifikasi dari material SKAT. Selain itu, cara pengaplikasian dari material campuran serbuk ban bekas dan karet alam juga mengikuti cara penerapan material SKAT ke dalam campuran beraspal, yaitu menggunakan proses kering (*dry mix*).

C. *Vulutex*

Vulutex adalah partikel karet alam yang didispersi dalam air dan telah dijual secara komersial. Bentuknya terkonsentrasi menjadi bahan padat (karet dan non karet) biasanya dengan kadar 55%. Kadar air dalam produk *Vulutex* adalah sebesar 40 – 43%. Material penyusun *Vulutex* selain lateks karet alam adalah 0,2 – 0,6% ammonia dan 2 – 3% surfaktan. Adapun keunggulan *Vulutex* di antaranya adalah menambah daya rekat aspal dan agregat serta stabil dan mudah bercampur dalam aspal panas maupun aspal emulsi.

D. *Minarex*

Minarex merupakan minyak aromatik yang diproduksi oleh Pertamina sebagai hasil sampingan dari pengolahan minyak bumi. *Minarex* umumnya digunakan pada industri karet dan ban. Tujuan dari penggunaan *Minarex* pada pembuatan campuran serbuk ban bekas dan karet alam adalah untuk memberikan kadar minyak tambahan pada campuran agar dapat terserap oleh gabungan serbuk karet ban bekas dan karet alam atau yang disebut sebagai proses penjenh karet. Jika tidak terdapat minyak yang cukup dalam campuran tersebut maka gabungan serbuk ban bekas dan karet alam akan menyerap minyak-minyak ringan dari aspal pada saat proses pembuatan campuran beraspal yang akan mengakibatkan aspal menjadi cepat keras dan getas.

E. Campuran Beraspal dengan Modifikasi Campuran Serbuk Karet Ban Bekas dan Karet Alam

Serbuk karet yang digunakan pada campuran serbuk karet alam dan karet ban

bekas disyaratkan memiliki nilai berat jenis kering oven (*bulk density*) dalam rentang 0,55 – 0,60 gr/cm³. Penggunaan minimum material hidrokarbon untuk mengaktivasi serbuk karet dari hasil alam dan serbuk karet dari ban kendaraan bekas adalah sebesar 14%.

Kemudian untuk penggunaan minimum campuran serbuk karet hasil alam dan serbuk karet dari ban kendaraan bekas disyaratkan sebesar 65%. Selain itu syarat lain yang ditentukan dalam spesifikasi tersebut adalah secara keseluruhan material campuran serbuk karet ban bekas dan karet alam harus mengandung karet alam senilai minimum 23% terhadap total campuran serbuk karet tersebut.

III. METODOLOGI PENELITIAN

A. Alur Penelitian

Alur dari penelitian ini terdiri dari beberapa tahap yang dimulai dari pelaksanaan studi literatur hingga mencapai penarikan kesimpulan dan saran. Susunan tahapan tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pelaksanaan studi literatur
2. Penyusunan metodologi penelitian
3. Pemilihan dan persiapan material
4. Penentuan proporsi material penyusun dan cara pengaplikasian campuran serbuk ban bekas dan karet alam
5. Pembuatan campuran serbuk ban bekas dan karet alam dengan beberapa komposisi material penyusun yang telah ditentukan
6. Pengujian sifat fisik material (aspal, agregat, *filler*, dan campuran serbuk ban bekas dan karet alam)
7. Pengujian pilot (perhitungan volumetrik dan pengujian Marshall dengan total 15 sampel)
8. Perhitungan volumetrik, pengujian Marshall, dan pengujian kepadatan mutlak untuk menentukan nilai KAO setiap variasi campuran beraspal
9. Penentuan nilai KAO setiap variasi campuran beraspal dengan metode *Barchart*
10. Pengujian performa setiap variasi campuran beraspal pada kondisi KAO (pengujian Marshall dan pengujian perendaman Marshall atau *Marshall Immersion*)
11. Penyajian dan analisis data hasil pengujian

12. Penarikan kesimpulan dan saran

B. Pengaplikasian Campuran Serbuk Ban Bekas dan Karet Alam

Langkah-langkah yang dilakukan untuk menghasilkan campuran serbuk ban bekas dan karet alam pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Mempersiapkan alat dan bahan
2. Menuangkan serbuk karet, Vulatex, dan Minarex dengan proporsi yang telah ditentukan ke dalam suatu wadah
3. Mencampur dan mengaduk bahan-bahan yang telah disebutkan sampai homogen selama kurang lebih lima sampai sepuluh menit pada kondisi suhu ruang
4. Memindahkan bahan-bahan yang telah dicampur ke dalam wajan
5. Memanaskan campuran bahan sambil diaduk menggunakan spatula pada kondisi suhu 80 - 90°C
6. Saat suhu mencapai 80 - 90°C, masukkan secara bertahap CaCO₃ ke dalam campuran bahan kemudian diaduk hingga homogeny
7. Mengangkat wajan yang berisi campuran serbuk ban bekas dan karet alam dan mendinginkan kembali campuran tersebut hingga mencapai suhu ruang
8. Melakukan penyaringan menggunakan saringan nomor 16 untuk memisahkan butiran yang berukuran besar
9. Menyaring kembali menggunakan saringan 40 mesh untuk mendapatkan campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang berukuran 40 mesh dan memisahkan CaCO₃
10. Simpan campuran serbuk ban bekas dan karet alam dalam wadah tertutup dan pada kondisi suhu ruang ketika sedang tidak digunakan

IV. DATA DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Pengujian Pilot

Berdasarkan hasil yang didapatkan dari pengujian pilot, didapatkan nilai karakteristik volumetrik dan parameter Marshall dari rencana awal variasi proporsi material penyusun, kadar total yang digunakan, dan proses pengaplikasian ke dalam campuran beraspal dari campuran serbuk ban bekas dan karet alam belum memenuhi standar nilai yang

disyaratkan dan menunjukkan penurunan performa yang besar.

Berdasarkan hasil diskusi ulang dengan pembimbing penelitian, maka diputuskan untuk menggunakan hanya satu variasi proporsi material penyusun campuran serbuk ban bekas dan karet alam, namun yang divariasikan adalah kadar total penggunaannya pada campuran beraspal, yaitu sebesar 0,5% dan 0,75% terhadap berat total agregat.

Fungsi dari campuran serbuk ban bekas dan karet alam pada campuran beraspal juga diganti yaitu sebagai pengganti sebagian persentase agregat halus karena memiliki ukuran butir yang masuk ke dalam rentang ukuran butir agregat halus dan tidak memiliki material penyusun yang mampu memberikan karakteristik menyerupai aspal seperti material RAR.

Proses pengaplikasiannya tetap menggunakan petunjuk di dalam Spesifikasi Khusus Interim 2017 yaitu menggunakan proses kering (dry mix). Berdasarkan penentuan ulang tersebut, maka standar persyaratan nilai untuk karakteristik dan performa mengikuti standar di dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk campuran beraspal panas laston AC-WC yang dimodifikasi. Berdasarkan penjelasan di atas, maka variasi campuran beraspal yang akan diteliti selanjutnya yaitu campuran beraspal tanpa modifikasi (0% CK), campuran beraspal dengan 0,5% (0,5% CK) campuran serbuk ban bekas dan karet alam, dan campuran beraspal dengan 0,75% campuran serbuk ban bekas dan karet alam (0,75% CK).

B. Hasil Perhitungan Volumetrik, Kepadatan Mutlak, dan Pengujian Marshall

Perhitungan volumetrik, kepadatan mutlak, dan pengujian *Marshall* merupakan serangkaian pengujian yang dilakukan untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang akan digunakan sebagai kadar aspal pada pengujian lanjut performa campuran beraspal yang disajikan pada tabel berikut ini.

Tabel 1. Hasil karakteristik volumetrik, kepadatan mutlak, dan parameter *Marshall* pada kondisi KAO

Kriteria	0% CK	0,5% CK	0,75% CK	Syarat
KAO (%)	5,88	6,16	6,25	-
Kepadatan, gr/cm ³	2,27	2,263	2,254	-
Dust Proportion	0,97	1,020	1,063	0,6 – 1,2
VMA, %	16,4	15,50	15,16	Min. 15
VFA, %	73,9	73,68	71,73	Min. 65
VIM, %	4,28	4,08	4,29	3 – 5
VIM _{ref} , %	2,64	2,67	2,75	Min. 2
Stabilitas, kg	139	-	-	Min. 800
	5,3	-	-	Min. 1000
	-	1240,7	1112,4	
Pelelehan, mm	3,10	3,31	3,59	2 – 4

C. Hasil Pengujian Perendaman Marshall (*Marshall Immersion*)

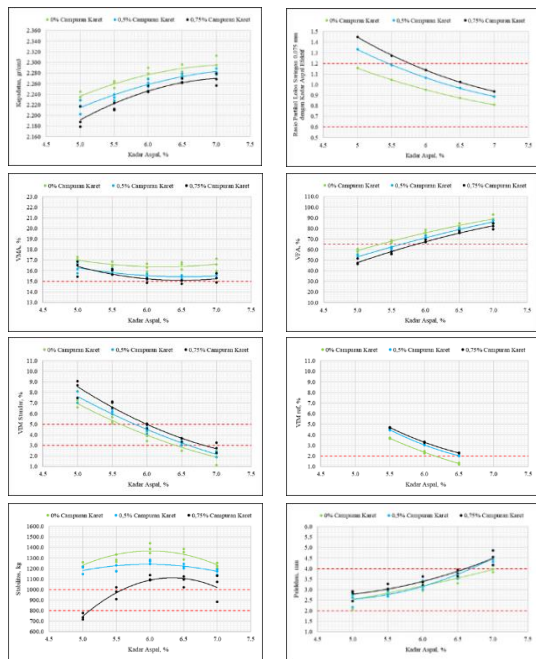
Pengujian *Marshall Immersion* dilakukan untuk menentukan persentase perbandingan yang disebut sebagai nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) antara hasil stabilitas dari campuran beraspal yang direndam pada suhu 60°C selama 30 menit (perendaman standar) dengan stabilitas hasil perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam. Hasil pengujian perendaman *Marshall* diperlihatkan pada tabel berikut ini.

Tabel 2. Hasil karakteristik volumetrik, kepadatan mutlak, dan parameter *Marshall* pada kondisi KAO

Parameter	Variasi Camp. Beraspal			Syarat
	0% CK	0,5% CK	0,75% CK	
Kadar Aspal, %	5,88	6,16	6,25	-
Stabilitas Perendaman 30 Menit, kg	1395,3	-	-	Min. 800
	-	1240,7	1112,4	Min. 1000
Stabilitas Perendaman 24 Jam, kg	1347,1	1178,5	1022,5	-
IKS, %	96,54	94,98	91,92	≥ 90

D. Analisis Hasil Perhitungan Volumetrik, Kepadatan Mutlak, dan Pengujian *Marshall*

Perbandingan hasil karakteristik volumetrik, kepadatan mutlak, dan parameter *Marshall* dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 1. Grafik perbandingan karakteristik volumetrik, kepadatan mutlak, parameter Marshall, dan nilai KAO

Secara keseluruhan pemanfaatan campuran serbuk ban bekas dan karet alam sebagai pengganti sebagian persentase agregat halus pada campuran beraspal menghasilkan performa yang lebih rendah dibandingkan campuran beraspal yang tidak menggunakan campuran serbuk ban bekas dan karet alam.

Namun berdasarkan hasil karakteristik volumetrik berupa nilai kepadatan, VMA, VIM, dan VFA, parameter pengujian kepadatan mutlak berupa nilai VIMref, dan parameter Marshall yang terdiri dari nilai stabilitas dan pelehan dari campuran beraspal yang menggunakan 0,5% campuran karet memiliki selisih yang tidak terlalu jauh dari campuran beraspal tanpa modifikasi.

Berdasarkan hasil perhitungan beberapa karakteristik volumetrik, stabilitas, dan pelehan tersebut, maka didapatkan nilai KAO untuk masing-masing campuran tanpa modifikasi, campuran beraspal 0,5% CK, dan campuran beraspal 0,75% CK adalah 5,88%, 6,16%, dan 6,25%.

E. Analisis Hasil Pengujian Perendaman Marshall (*Marshall Immersion*)

Perbandingan nilai stabilitas standar, stabilitas sisa, dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) sebagai hasil dari pengujian perendaman

Marshall dapat dilihat pada gambar di bawah ini.

Gambar 2. Grafik perbandingan nilai Stabilitas standar, stabilitas sisa, dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

Stabilitas sisa yang dihasilkan dari pengujian perendaman Marshall (*Marshall Immersion*) untuk ketiga variasi campuran beraspal masih bernilai di atas 1000 kg, dengan penurunan nilai terjadi sejalan dengan meningkatnya proporsi penggunaan campuran serbuk ban bekas dan karet alam. Hal ini menandakan bahwa dengan adanya pengaruh dari rendaman air dalam kondisi suhu yang tinggi (60°C), campuran beraspal yang

dimodifikasi menggunakan campuran serbuk ban bekas dan karet alam masih memiliki kekuatan yang cukup untuk menahan beban yang diberikan.

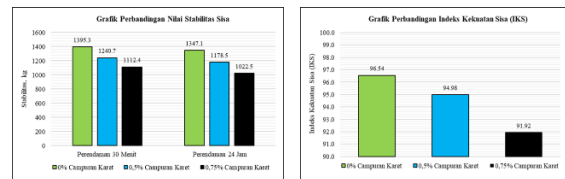
Nilai stabilitas sisa di atas 1000 kg yang dihasilkan tersebut masih berada di atas standar nilai yang ditetapkan yaitu minimum 800 kg untuk campuran beraspal tanpa modifikasi, dan minimum 1000 kg untuk campuran beraspal dengan modifikasi.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Seiring dengan meningkatnya penggunaan



campuran serbuk ban bekas dan karet alam sebagai pengganti sebagian persentase agregat halus mengakibatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) turut meningkat. Penggunaan material campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang terlalu banyak membuat kebutuhan akan aspal menjadi lebih tinggi dan mengakibatkan turunnya performa campuran beraspal. Campuran serbuk ban bekas dan karet alam sebesar 0,5% menghasilkan performa yang tidak terlalu jauh dari campuran beraspal tanpa

modifikasi dan masih dapat diterima penggunaannya.

2. Berdasarkan pengujian perendaman *Marshall* dari ketiga variasi campuran beraspal menunjukkan bahwa sejalan dengan bertambahnya kadar penggunaan campuran serbuk ban bekas dan karet alam maka semakin menurun nilai IKS yang dihasilkan. Hal ini membuktikan bahwa kadar campuran serbuk ban bekas dan karet alam yang terlalu banyak menjadikan campuran beraspal lebih rentan terhadap pengaruh air dalam kondisi suhu yang tinggi. Campuran beraspal dengan campuran serbuk ban bekas dan karet sebesar 0,5% menunjukkan nilai stabilitas, stabilitas sisa, dan Indeks Kekuatan Sisa yang cukup baik dan tidak terlalu jauh dari campuran beraspal tanpa modifikasi.

B. Saran

Saran yang dapat diberikan terhadap penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Perlu dilakukan penelitian mengenai performa campuran beraspal yang dimodifikasi oleh campuran serbuk ban bekas dan karet alam dengan fokus utama pada variasi proporsi material penyusunnya.
2. Perlu dilakukan penelitian mengenai pengaruh dari urutan pada proses pembuatan campuran beraspal yang menggunakan campuran serbuk ban bekas dan karet alam seperti urutan pada pengaplikasian material RAR, di mana agregat dicampurkan terlebih dahulu dengan aspal sebelum material RAR dicampurkan.
3. Perlu dilakukan penelitian mengenai performa campuran beraspal yang dimodifikasi menggunakan campuran serbuk ban bekas dan karet alam menggunakan proses kering (*dry mix*) dan proses basah (*wet mix*).

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Asphalt Institute, 1989, *The Asphalt Handbook, Manual Series No. 4 (MS-4)*, Lexington, USA.
- [2] Asphalt Institute, 1994, *Mix Design Method, Manual Series No. 2 (MS-2) 6th Edition*, Lexington, USA.
- [3] Brown, S. F. dan Brunton, J. M., 1984, *An Introduction to The Analytical Design of Bituminous Pavements*, University of Nottingham, U.K.
- [4] Hardiyatmo, H. C., 2017, *Perancangan Perkerasan Jalan & Penyelidikan Tanah*, Gadjah Mada University Press, Yogyakarta.
- [5] Huang, Y. H., 2004, *Pavement Analysis and Design Second Edition*, Prentice-Hall, New Jersey.
- [6] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2017, *Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal dengan Aspal Keras, Serbuk Karet Alam dan Ban Bekas No. Seksi SKh-1.6.16.*, Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- [7] Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018, *Spesifikasi Umum 2018 untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan No. 02/SE/Db/2018.*, Direktorat Jenderal Bina Marga. Jakarta.
- [8] Krebs, R. D. dan Walker, R.D., 1971, *Highway Materials*, McGraw-Hill Book Company, New York.
- [9] Lestari, S. P. dan Bahar, T., 2015), Optimasi Kinerja Aspal BNA Blend 75:25 terhadap Campuran Aspal Beton menggunakan Variasi Serbuk Ban Bekas, The 18th FSTPT International Symposium Universitas Lampung, Lampung.
- [10] PT. Santo Indo Perkasa, 2019, Data Sekunder Pengujian Crumb Rubber, Tangerang.
- [11] Shell Bitumen, 2015, *The Shell Bitumen Handbook Sixth Edition*, Shell Bitumen, U.K.
- [12] Sousa, J. B., Vorobiev, A., Ishai, I., Svehinsky, G., 2012, *Elastomeric Asphalt Extender – A New Frontier of Asphalt Rubber Mixes*, Strategic Highway Research Program (SHRP) National Research Council, Washington.
- [13] Syahputra, D. (2019): Evaluasi Kinerja Campuran Aspal Laston Lapis Aus (AC-

WC) dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Bekas (Crumb Rubber), *Perpustakaan Sistem Teknik Jalan Raya Institut Teknologi Bandung*, Bandung.

- [14] Tahami, S. A., Mirhosseini, A. F., Dessouky, S., Mork, H., dan Kavussi, A., 2018, The Use of High Content of Fine Crumb Rubber in Asphalt Mixes using Dry Process, *Construction and Building Materials*, Elsevier (2019), 222, 643 – 653.
- [15] Utami, Faradina. (2019): Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Panas dengan Bahan Tambah Natural Rubber (Lateks) untuk Lapis Antara (AC-BC), *Perpustakaan Sistem Teknik Jalan Raya Institut Teknologi Bandung*, Bandung