

Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Sebagai Substitusi Sebagian Kadar Aspal Terhadap Stabilitas AC-BC Dengan Metode *Marshall Test*

Weimintoro¹, Ahmad Farid², Ahmad Ruli Khoirul Azmi³, Nadya Shafira Salsabila⁴
(^{1,2,3,4}) *Teknik Sipil, Fakultas Teknik & Ilmu Komputer, Universitas Pancasakti, Tegal*
E-mail: weimintoro@upstegal.ac.id

ABSTRAK: Perkerasan jalan di Indonesia pada saat ini umumnya menggunakan jenis perkerasan kaku dan perkerasan fleksibel. Dalam beberapa kasus yang terjadi, banyak konstruksi jalan yang mengalami masa kerusakan dalam masa pelayanan yang tertentu, padahal tujuan akhir adalah tersedianya jalan dengan standar baik sesuai dengan fungsinya. Untuk mencapai tujuan ini, salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pelayanan adalah dengan meningkatkan fungsi aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan tambahan atau *aditif*. Dalam hal ini dilakukan percobaan dengan menggunakan limbah karet ban yang tidak terpakai lagi. Salah satu solusi untuk mengatasi limbah adalah dengan cara mendaur ulang limbah. Pemilihan limbah karet ban pada penelitian ini adalah sebagai bahan campuran lapisan aspal panas, karena limbah karet ban mengandung zat pengikat yang bisa mengikat partikel. Pada penelitian ini diharapkan dengan menambahkan limbah karet ban untuk konstruksi perkerasan jalan dapat memberikan banyak keuntungan. Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen menggunakan bahan tambah limbah karet ban dengan variasi yang berbeda, yaitu 3%, 5% dan 7%. Karet ban yang digunakan adalah ban dalam sepeda motor yang dipotong menjadi kecil, rata-rata 1,5 mm. masing-masing variasi dibuat 3 benda uji dengan jumlah benda uji total 9 benda uji. Pembuatan benda uji menggunakan campuran AC-BC kemudian diuji menggunakan metode marshall untuk mendapatkan nilai kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA, kelelahan (*flow*), stabilitas dan *MQ* (*Marshall Quotient*). Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan kadar limbah karet ban mempengaruhi nilai karakteristik aspal pada pengujian marshall. Semakin bertambahnya kadar limbah karet ban, maka akan meningkatkan nilai VIM, VMA, stabilitas dan juga *MQ*. Sedangkan nilai kepadatan, VFA dan kelelahan (*flow*) semakin menurun.

Kata Kunci: Limbah Karet Ban, Aspal, *Marshall*.

1. PENDAHULUAN

Transportasi merupakan salah satu pendukung perkembangan negara Indonesia sebagai negara yang sedang berkembang, dalam hal ini adalah jalan raya yang sangat dibutuhkan untuk menunjang kemajuan suatu bangsa. Kondisi jalan yang baik terjadi karena ditunjang dari perencanaan perkerasan yang sesuai dengan standar yang ditetapkan. Perkerasan jalan di Indonesia harus dapat tahan terhadap cuaca dengan suhu dan curah hujan yang tinggi.

Dalam beberapa kasus yang terjadi, banyak konstruksi jalan yang mengalami masa kerusakan dalam masa pelayanan yang tertentu, padahal tujuan akhir adalah tersedianya jalan dengan standar baik sesuai dengan fungsinya. salah satu upaya yang dapat dilakukan untuk meningkatkan umur pelayanan adalah dengan meningkatkan fungsi aspal sebagai bahan pengikat dengan menggunakan tambahan atau *aditif*. Dalam hal ini dilakukan percobaan dengan menggunakan limbah karet ban yang tidak terpakai lagi.

Pemilihan limbah karet ban dalam penelitian ini adalah sebagai bahan campuran lapisan aspal, karena limbah karet ban mengandung zat adektif yang digunakan untuk meningkatkan homogenisasi senyawa dalam ekstrusi dan adhesi lapisan. Sisa-sisa limbah karet ban ini bisa digunakan sebagai bahan tambahan untuk campuran lapisan aspal, diharapkan dengan menambahkan campuran limbah karet ban dalam untuk konstruksi perkerasan jalan pada campuran aspal dapat memberikan banyak keuntungan diantaranya permukaan perkerasan menjadi lebih tahan lama, tahan terhadap retakan akibat lendutan yang berlebihan serta retakan akibat beban kendaraan.

2. LANDASAN TEORI

Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapis tambahan yang terletak diantara tanah dan roda kendaraan atau lapis paling atas dari badan jalan. Kontruksi perkerasan jalan dilihat dari bahan pengikatnya dibedakan atas:

- 1) Kontruksi Perkerasan Lentur (*flexible pavement*) Perkerasan lentur merupakan jenis perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya. Konstruksi perkerasan lentur sendiri terdiri dari 5 lapisan yaitu permukaan, lapis pengikat, lapisan pondasi atas, lapisan pondasi bawah dan lapisan tanah dasar. Setiap lapisan-lapisan perkerasannya bersifat memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
- 2) Konstruksi Perkerasan Kaku (*rigid pavement*) Perkerasan kaku yaitu perkerasan yang menggunakan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakan diatas tanah dasar dengan atau lapisan pondasi bawah. Selanjutnya beban lalu lintas akan dipikul oleh pelat beton tersebut.
- 3) Konstruksi Perkerasan Komposit (*composite pavement*) Perkerasan komposit yaitu perkerasan kaku yang dikombinasikan dengan perkerasan lentur, dapat berupa perkerasan lentur diatas perkerasan kaku atau sebaliknya perkerasan kaku diatas perkerasan lentur.

Aspal

Aspal/bitumen adalah adalah zat perekat material (*viscous cementitious material*), berwarna hitam atau gelap, berbentuk padat atau semi padat, yang dapat

diperoleh di alam ataupun sebagai hasil produksi. Bitumen dapat berupa aspal, tar atau *pitch*. Aspal bersifat mencair jika dipanaskan dan kembali membeku jika temperatur turun. Sifat ini digunakan dalam proses konstruksi perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antar 4-10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*)

Asphalt Concrete -Binder Course merupakan lapisan perkerasan jalan yang berada diantara lapisan aus (AC-WC) dan lapisan pondasi atas (AC-Base). Lapisan AC-BC ini berguna untuk menyalurkan atau meneruskan beban yang diterimanya menuju ke pondasi atau menuju ke lapisan yang ada dibawahnya. Lapisan ini tidak berhubungan langsung dengan cuaca, tetapi harus mempunyai ketebalan dan kekakuan yang cukup untuk mengurangi tegangan atau regangan akibat beban lalu lintas yang akan diteruskan ke lapisan dibawahnya yaitu *Base* dan *Sub Grade*. Karakteristik yang terpenting pada campuran lapisan AC-BC ini adalah stabilitas.

Agregat

Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa fragmen-fragmen. Berikut adalah macam-macam dari agregat berdasarkan dimensi butiran:

- 1) Agregat kasar: batuan yang tertahan disaringan 2,36 mm atau sama dengan saringan standar ASTM No.8 dalam campuran agregat aspal, agregat kasar sangat penting dalam membentuk kinerja karena stabilitas dari campuran diperoleh dari interlocking antar agregat. Agregat kasar yang digunakan sebagai bahan penyusun campuran aspal beton tentunya harus memenuhi ketentuan yang ada. Agregat halus mempunyai kadar gumpalan tanah liat dan partikel maksimum 0,5%.
- 2) Agregat halus: batuan yang lolos saringan No.8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan No.200 (0,075 mm). agregat dapat meningkatkan stabilitas campuran dengan penguncian (*interlocking*) antara butiran. Selain itu agregat halus juga mengisi ruang antara butir. Bahan ini dapat terdiri dari butir-butiran batu pecah atau pasir alam atau campuran dari keduanya.

Gradasi Agregat

Gradasi agregat adalah distribusi ukuran butiran dari agregat, baik agregat kasar maupun halus dan dinyatakan dalam presentase terhadap total beratnya. Gradasi ditentukan dengan melewati sejumlah material melalui serangkaian saringan dari ukuran besar ke ukuran kecil dan menimbang berat material yang tertahan pada masing-masing saringan.

Limbah Karet Ban

Limbah Karet Ban Bermotor Ban adalah material komposit, biasanya dari karet alam/karet isoprena yang digunakan untuk ban truk dan ban mobil penumpang

seperti pada serbuk tapak, *sidewall*, *carassply*, dan *innerliner*. Ban bekas adalah suatu jaringan tiga dimensi atau suatu produk ikatan silang dari karet alam dan karet sintetis diperkuat dengan carbon black yang menyerap minyak encer (Warith, 2006).

Metode Pengujian Marshall

Marshall Test merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) yang berkapasitas 2500 kg atau 5000 pon. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur stabilitas campuran, sedangkan arloji kelelahan (*flow meter*) berfungsi untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*).

Marshall Quotient

Marshall quotient adalah hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai *marshall quotient* yang disyaratkan adalah lebih besar dari 250 kg/mm sesuai dengan persyaratan Bina Marga 2010.

3. METODE PENELITIAN

Waktu dan Tempat Penelitian

Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen. Penelitian ini dilakukan dari bulan Oktober 2021 – Januari 2022. Pada penelitian ini menggunakan metode eksperimen yang dilakukan pada laboratorium beton PT. Nisajana Hasna Rizqy (Jl. Yomani Guci KM 3 Danawarih, Kecamatan Balapulang, Kabupaten Tegal, Tegal, Jawa Tengah). Benda uji yang digunakan berbentuk silinder dimensi 10x7,5 cm sebanyak 9 buah, terdiri dari 3 sampel variasi yang tiap-tiap sampelnya mempunyai 3 benda uji.

Variabel Penelitian

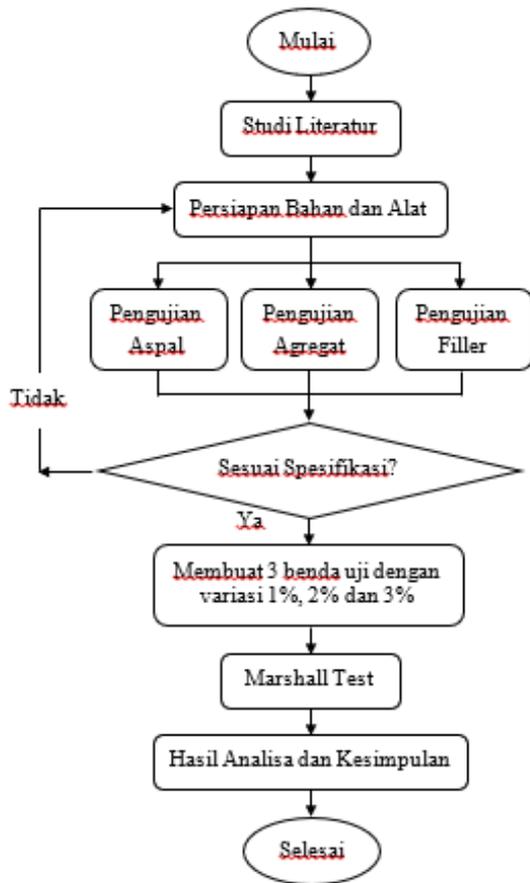
Berikut adalah variabel-variabel yang digunakan dalam penelitian:

- 1) Variabel bebas, pada penelitian ini adalah limbah karet ban dengan kadar 3%, 5% dan 7%.
- 2) Variabel terikat, pada penelitian ini adalah pengujian terhadap perkerasan lentur dari pengujian *marshall*, *flow* dan *marshall quotient*.

Tahap Penelitian

Berikut adalah tahapan-tahapan dalam penelitian:

- 1) Tahap I, Pada tahap ini meliputi proses dari persiapan dari persiapan ketersediaan bahan-bahan dan peralatan-peralatan yang akan digunakan/dipakai dalam proses-proses penelitian.
- 2) Tahap II, Pada tahap ini dilakukan pengujian fisik agregat dan pembuatan benda uji dengan cara membuat perencanaan campuran (design mix formula) Dari PT. NISAJANA HASNA RIZQY, selanjutnya melakukan pengujian marshall pada benda uji yang telah dibuat.
- 3) Tahap III, Pada tahap ini data-data yang telah didapatkan pada pengujian benda uji dengan menggunakan marshall test dikumpulkan dan dianalisa, sehingga akan didapat suatu kesimpulan hasil dari penelitian. Alur penelitian terdapat pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alur

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

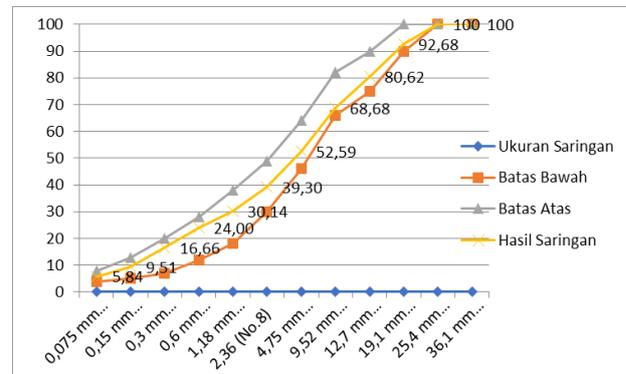
Hasil penelitian

Sebagaimana yang telah disampaikan pada Gambar 1 Diagram Alur Penelitian, pengujian material dilakukan dengan acuan Spesifikasi Bina Marga 2018 dan Job Mix Design PT. Nisajana Hasna Rizqy. Pengujian ini meliputi pengujian agregat (kasar, halus dan filler), pengujian aspal penetrasi 60/70 dan hasil pengujian Marshall dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian Agregat Gabungan

NO	Pengujian	Standar Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Keausan	SNI 2417:2008	Maks. 40%	31%	Terpenuhi
2	Gradasi Agregat	SNI ASTM C136:2012	Spesifikasi Laston (AC)	Hasil gradasi % lolos	Terpenuhi
	Ukuran Saringan		BCLP		
	36,1 mm (1,5 inci)		100	100	
	25,4 mm (1 inci)		100	100	
	19,1 mm (3/4 inci)		90--100	92,68	
	12,7 mm (1/2 inci)		75--90	80,62	
	9,52 mm (3/8 inci)		66--82	68,68	
	4,75 mm (No.4)		46--64	52,59	
	2,36 (No.8)		30--49	39,30	
	1,18 mm (No.16)		18--38	30,14	
	0,6 mm (No.30)		12--28	24,00	
	0,3 mm (No.50)		7--20	16,66	
	0,15 mm (No.100)		5--13	9,51	
	0,075 mm (No.200)		4--8	5,84	

Dari Tabel 1 disimpulkan bahwa nilai keausan dan nilai gradasi agregat sudah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut Gambar 1 adalah grafik hubungan hasil pengujian agregat gabungan.



Gambar 2. Grafik Hubungan Hasil Pengujian Agregat Gabungan

Job Mix Formula merupakan rencana campuran yang harus dikembangkan dari rencana gradasi yang telah dipilih, sesuai dengan batasan-batasan dalam spesifikasi sehingga memenuhi syarat. Berikut adalah Tabel 2 rincian dari job mix formula dengan acuan job mix design PT. Nisajana Hasna Rizqy:

Tabel 2. Job Mix Formula

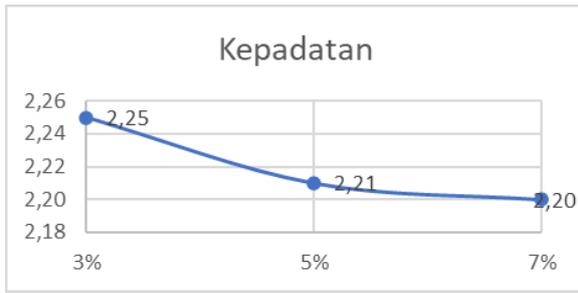
No	Uraian Material	Komposisi % terhadap campuran			Berat Total Material (gr)			
		Job Mix Design PT. NHR	3%	5%	7%	3%	5%	7%
1	Abu batu	37,65	37,65	37,65	37,65	451,80	451,80	451,80
2	Agregat ukuran maks. 1/2"	31,15	31,15	31,15	31,15	373,80	373,80	373,80
3	agregat ukuran maks. 3/4"	12,27	12,27	12,27	12,27	147,24	147,24	147,24
4	Agregat ukuran maks. 1,0"	11,33	11,33	11,33	11,33	135,96	135,96	135,96
5	Filler	2,00	2,00	2,00	2,00	24,00	24,00	24,00
6	Aspal	5,60	5,43	5,32	5,21	65,18	63,84	62,50
7	Limbah Karet Ban	-	0,17	0,28	0,39	2,02	3,36	4,70
	TOTAL	100	100	100	100	1200	1200	1200

Pembahasan

Berikut adalah pembahasan dari pengaruh penambahan limbah karet ban sebagai substitusi pada campuran aspal panas dengan kadar bahan tambah 3%, 5% dan 7% terhadap nilai Marshall Test.

1) Kepadatan (density).

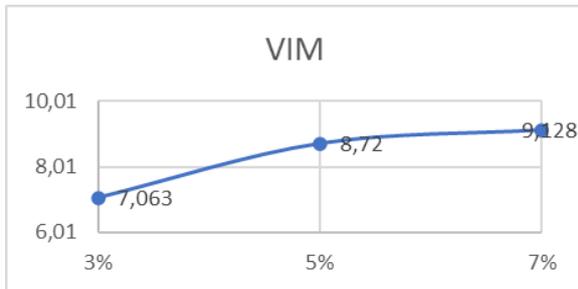
Kepadatan adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Faktor-faktor yang mempengaruhi kepadatan adalah gradasi agregat, kadar aspal, berat jenis agregat, kualitas penyusunya dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukannya. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan tinggi akan mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah. Berikut ini adalah Gambar 3 grafik mengenai hubungan kadar bahan tambah limbah karet ban dengan kepadatan.



Gambar 3. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan Kepadatan

2) *VIM (Void In The Mix)*

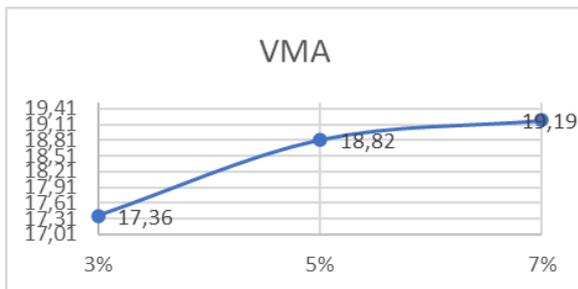
VIM merupakan rongga udara dalam campuran aspal. Rongga udara ini terdiri atas ruang udara diantara partikel agregat yang terselimuti aspal. VIM tersebut dinyatakan dalam prosentase terhadap volume beton aspal padat. Berikut ini Gambar 4 grafik perbandingan rongga udara dalam campuran antara agregat dan bahan tambah limbah karet ban.



Gambar 4. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan VIM

3) *VMA (Void In Mineral Agregat)*

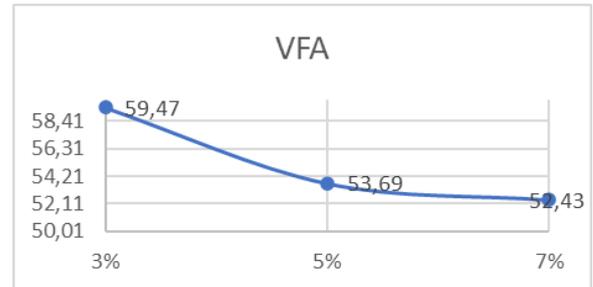
Rongga di antara mineral agregat atau *VMA (voids in mineral agregate)* adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). *VMA* dihitung berdasarkan BJ Bulk (Gsb) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume Bulk campuran yang dipadatkan. Berikut ini Gambar 5 grafik rongga di antara mineral agregat atau *VMA (voids in mineral agregate)*.



Gambar 5. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan VMA

4) *VFA (Void Filled With Asphalt)*

VFA adalah rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFA yang disyaratkan minimal 65%. Faktor faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan (jumlah serta temperature pemadatan) dan absorpsi agregat. Berikut ini adalah Gambar 6 grafik hubungan antara nilai VFA dengan menggunakan bahan tambah limbah karet ban.



Gambar 6. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan VFA

5) *Stabilitas*

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan bleeding. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang akan dilayani. Jalan yang melayani volume lalu lintas tinggi dan dominan terdiri dari kendaraan berat, membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Sebaliknya perkerasan jalan yang diperuntukkan untuk melayani lalu lintas kendaraan ringan tentu tidak perlu mempunyai stabilitas yang tinggi. Berikut ini adalah Gambar 7 grafik stabilitas dengan menggunakan bahan tambah limbah karet ban.

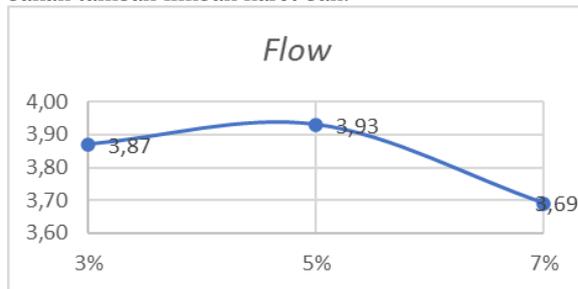


Gambar 7. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan Stabilitas

6) *Kelelahan (flow)*

Flow adalah tingkat kelehan campuran ketika diuji dalam keadaan suhu ekstrim yaitu 600 C. Ketahanan terhadap kelelahan (*flow*) merupakan kemampuan beton aspal menerima lendutan berulang akibat repetisi beban, tanpa terjadinya kelelahan berupa alur dan retak. Hal ini dapat tercapai jika mempergunakan kadar aspal yang tinggi. Berikut ini adalah Gambar 8 grafik ketahanan terhadap

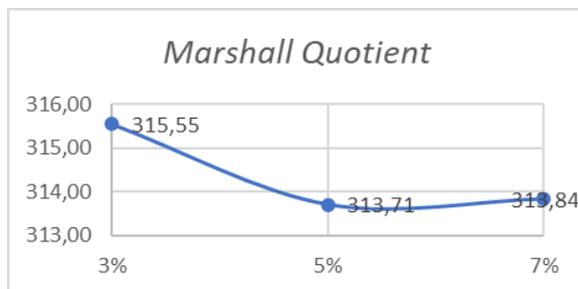
kelelahan lapis aspal beton yang menggunakan bahan tambah limbah karet ban.



Gambar 8. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan Flow

7) Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan flow. Nilai MQ (Marshall Quotient) menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Nilai dari MQ (Marshall Quotient) akan sangat berpengaruh terhadap kualitas aspal. Apabila nilai MQ (Marshall Quotient) terlalu tinggi, maka campuran akan cenderung keras dan kaku sehingga aspal akan mudah retak. Sebaliknya bila nilai MQ (Marshall Quotient) terlalu rendah, maka perkerasan menjadi terlalu lentur dan cenderung kurang stabil. Diperoleh dari perhitungan MQ (Marshall Quotient), berikut ini adalah Gambar 9 grafik perbandingan antara nilai MQ (Marshall Quotient) dengan menggunakan bahan tambah limbah karet ban.



Gambar 9. Grafik Hubung Kadar Bahan Tambah Limbah Karet Ban dengan Marshall Quotient

8) Hasil Pengujian Marshall

Hasil pengujian sampel campuran aspal AC-BC yang ditambah dengan limbah karet ban variasi kadar 3%, 5% dan 7% dari berat aspal diperoleh karakteristik Marshall dengan rincian pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Hasil Uji Marshall

No	Karakteristik	Spesifikasi	Kadar limbah karet ban terhadap berat aspal		
			3%	5%	7%
1	Kepadatan (gr/cc)	-	2,25	2,21	2,20
2	VIM (%)	3--5	7,063	8,72	9,128
3	VMA (%)	Min. 14	17,36	18,82	19,19
4	VFA (%)	Min. 65	59,47	53,69	52,43
5	Stabilitas (kg)	Min 900	1220,12	1233,91	1158,08
6	Kelelahan (mm)	2--4	3,87	3,93	3,69
7	Marshall Quotient (kg/mm)	Min. 250	315,55	313,71	313,84

Keterangan:

- = Spesifikasi
- = Masuk spesifikasi
- = Tidak masuk spesifikasi

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan

Berdasarkan hasil Analisa pengujian yang telah dilakukan, maka dapat diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Pengaruh penambahan limbah karet ban sebagai substitusi sejumlah aspal pada kadar 3%, 5% dan 7% sangat mempengaruhi karakteristik marshall. Nilai yang didapat yaitu meliputi nilai kepadatan, VIM, VMA, VFA, stabilitas, kelelahan (flow), dan marshall quotient.
- 2) Penambahan kadar bahan tambah limbah karet ban pada campuran aspal panas mempengaruhi nilai karakteristik marshall. Dimana penambahan paling efektif pada kadar 5% karena pada saat itu nilai stabilitas marshall mengalami kenaikan dengan nilai 1233,91 kg dibandingkan dengan stabilitas bahan tambah limbah karet ban dengan kadar 3% dengan nilai 1220,12 kg sedangkan untuk bahan tambah limbah karet ban dengan kadar 7% mengalami penurunan dengan nilai 1158,08 kg. Sedangkan untuk nilai kepadatan adalah sebesar 2,25 gr/cc, VIM sebesar 7,06%, VMA sebesar 17,36%, VFA sebesar 59,47%, flow sebesar 3,87 mm, dan MQ sebesar 315,55 kg/mm.
- 3) Penambahan kadar bahan tambah limbah karet ban bekas pada campuran lapis aspal panas pada penelitian ini ada yang tidak memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu VIM, VFA. Namun untuk persyaratan lain sudah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018, diantaranya Kepadatan, VMA, Stabilitas, Flow dan Marshall Quotient. Hal ini menunjukkan adanya hubungan positif antara penambahan limbah karet ban terhadap karakteristik marshall lapis aspal Benton.

Saran

Penelitian ini membutuhkan saran-saran agar lebih baik, antara lain sebagai berikut:

- 1) Masih perlu dilakukan penelitian lebih lanjut tentang “Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Sebagai Substitusi Sebagian Kadar Aspal Terhadap Stabilitas AC-BC Dengan Metode Marshall Test”.
- 2) Agar dilakukan penelitian lanjutan dengan mencari terlebih dahulu kadar aspal optimum (KAO) untuk mendapatkan kualitas campuran lapis aspal beton (laston) yang lebih baik.
- 3) Agar dilakukan penelitian selanjutnya tentang variasi kadar dari penambahan limbah karet ban.

6. DAFTAR PUSTAKA

Ade Kurniawan, N., Winarto, S., & Ridwan, A. (2019).

- Penelitian Penambahan Bahan Limbah Tetes Tebu Dari Pabrik Gula Meritjan Pada Campuran Aspal Beton. *Jurnal Manajemen Teknologi & Teknik Sipil*, 2(1), 96.
- Bahri, S. (2019). Pemanfaatan Limbah Serbuk Besi Sebagai Agregat Halus Pada Campuran Aspal Panas. *Inersia, Jurnal Teknik Sipil*, 9(2), 39–46.
- Darunifah, N. (2007). *Pengaruh Bahan Tambahan Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*.
- Fannisa, H., & Wahyudi, M. (2010). Perencanaan campuran aspal beton dengan menggunakan filler kapur padam. Sebagai Tugas Akhir Universitas Diponegoro Semarang.
- Fitri, S., Saleh, S. M., & Isya, M. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Kresek Sebagai Substitusi Aspal Pen 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Laston Ac – Bc. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 737–748.
- Hasyim, I. A. dan W. (2019). Pengaruh penambahan serbuk limbah karet ban bekas terhadap karakteristik aspal ditinjau dari nilai penetrasi dan daktilitas. 197–204.
- Martina, N., Hasan, M. F. R., & Setiawan, Y. (2019). Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus Pada Campuran Aspal Porous. *Wahana Teknik Sipil: Jurnal Pengembangan Teknik Sipil*, 24(2), 144.
- Nurdiana. (2021). PENGARUH PENAMBAHAN LIMBAH PLASTIK HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) SEBAGAI BAHAN CAMPURAN LAPIS ASPAL AC – WC *DENGAN METODE MARSHALL TEST (SNI BINA MARGA TAHUN 2010)*. 06(02).
- Putrawirawan, A., Pranoto, Y., Palondongan, M. I., Samarinda, P. N., & Marshall, K. (2018). P-39 Alternatif Penambahan Batu Laterit sebagai Bahan Substitusi Agregat Kasar Pada Perkerasan asphalt Concrete – Binder Course (Ac-Bc) the Addition Alternative of Laterit As Materials Subtitutioncourse Aregate To Pavement asphalt Concrete - Binder. *SNITT Politeknik Negeri Balikpapan*.
- Putrowijoyo, R. (2006). Kajian Laboratorium Sifat Marshall Dan Durabilitas Asphalt Concrete - Wearing Course (Ac-Wc) Dengan Membandingkan Penggunaan Antara Semen Portland Dan Abu Batu Sebagai Filler. *T+OF+WARM+MIX+ASPHA*
- Rini, T. K., Pratama, W., & Amarwati, A. (2015). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban terhadap Kuat Tekan Marshall pada Campuran Beton Aspal. *Jurnal KaLIBRASI - Karya Lintas Ilmu Bidang Rekayasa Arsitektur, Sipil, Industri.*, 10(0), 79–102.
- Spesifikasi Umum Bina. (2018). Spesifikasi Umum 2018. Edaran Dirjen Bina Marga Nomor 02/SE/Db/2018, September.
- Sukirman, S. (n.d.). perkerasan jalan lentur. In silvia sukirman 1999.
- Weimintoro. (2021). Pengaruh Komposisi Agregat Terhadap Karakteristik Beton Aspal (AC-WC) Dengan Menggunakan Batuan Lokal Sungai Gung Di Desa Danawarih Kecamatan Balapulang Kabupaten Tegal. 7(1), 15–26.
- Yacob, M., & Wesli, W. (2018). Pengaruh Kadar Filler Abu Batu Kapur Dan Abu Tempurung Kelapa Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Beton Ac-Bc. *Teras Jurnal*, 7(1), 213.