
Studi Kinerja Campuran *Hot Rolled Sheet* Substitusi Limbah Ban Bekas Dengan Variasi Temperatur Pemasatan

¹Humairah Annisa, ²Ilham Yunus

^{1,2} Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lamappapoleonro

^{1,2} Jl. Kesatria No 60, Soppeng, Sulawesi Selatan-Indonesia

e-mail : ¹humairah@unipol.ac.id, ²ilham.yunus@unipol.ac.id

JTEKSIL

Abstrak

Kata Kunci :

Ban bekas, HRS-WC, marshall, kinerja.

Beberapa penelitian mendukung penggunaan ban bekas mampu meningkatkan kinerja perkerasan jalan, maka ban bekas dapat menjadi alternatif. Penelitian ini akan berfokus pada penggunaan hasil parutan ban bekas sebagai bahan substitusi campuran. Tujuan penelitian ini, yaitu menganalisis pengaruh campuran HRS-WC dengan substitusi ban bekas terhadap kinerja campuran HRS-WC dan menganalisis pengaruh campuran HRS-WC dengan substitusi ban bekas terhadap kinerja campuran HRS-WC pada berbagai variasi temperatur pemasatan. Tahapan penelitian sebagai berikut: 1) Penelitian ini diawali dengan persiapan bahan-bahan yang dibutuhkan, yaitu *split* 1-2, *split* 0,5-1, abu batu, aspal minyak, dan ban bekas, 2) Ban bekas diparut terlebih dahulu dan diayak, yang digunakan adalah fraksi lolos saringan No. 50, 3) Masing-masing material diuji karakteristik dan kelayakan materialnya sesuai Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2, 3) Komposisi campuran HRS-WC dengan variasi kadar aspal minyak (15 bricket), 4) Uji *Marshall* untuk mengetahui karakteristik campuran dan kadar aspal optimum (KAO), 5) Komposisi kembali campuran KAO dengan variasi parutan ban bekas sebesar 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% (18 bricket), 6) Uji *Marshall* campuran HRS-WC (KAO dengan variasi parutan ban bekas, 7) Komposisi kembali HRS-WC campuran parutan ban bekas hasil uji *Marshall* yang menunjukkan hasil optimum dengan variasi temperatur pemasatan 120°C, 130 °C, dan 140 °C (9 bricket), 8) Terakhir, uji *Marshall* kembali. Target penelitian ini adalah terjadi peningkatan kinerja perkerasan jalan HRS-WC dengan substitusi ban bekas yang diparut dan dipadatkan pada temperatur yang bervariasi. Level tingkat kesiapan teknologi (TKT) penelitian ini berada pada level 2, yaitu mencari formulasi model atau aplikasi dari teknologi parutan ban bekas pada campuran HRS-WC. Target TKT selanjutnya adalah pada level 3, yaitu pembuktian konsep hasil formulasi model.

Abstract

Keywords:

Scrap tires, HRS-WC, marshall, performance

Several studies support the use of used tires to improve pavement performance, so used tires can be an alternative. This research will focus on the use of shredded used tires as a mixture substitution material. The objectives of this research are to analyze the effect of HRS-WC mixtures with used tire substitutes on the performance of HRS-WC mixtures and to analyze the effect of HRS-WC mixtures with used tire substitutes on the performance of HRS-WC mixtures at various compaction temperature variations. The research stages are as follows: 1) This research begins with the preparation of the materials needed, namely split 1-2, split 0.5-1, stone ash, asphalt oil, and used tires, 2) Used tires are shredded first and sieved, which is used is the fraction passing sieve No. 50, 3) Each material is tested for characteristics. 50, 3) Each material was tested for characteristics and material feasibility according to the General Specifications 2018 Revision 2, 3) HRS-WC mixture composition with variations in oil asphalt content (15 brickets), 4) Marshall test to

determine mixture characteristics and optimum asphalt content (KAO), 5) Re-composition of the KAO mixture with variations in shredded used tires of 0%, 2%, 4%, 6%, 8%, and 10% (18 bricks), 6) Marshall test of HRS-WC mixture (KAO with variation of used tire shredding, 7) Re-composition of HRS-WC mixture with used tire shredding which showed optimum result with variation of compaction temperature of 120oC, 130 oC, and 140 oC (9 bricks), 8) Finally, Marshall test again. The target of this research is to improve the performance of HRS-WC pavement with the substitution of shredded used tires and compacted at various temperatures. The technology readiness level (TKT) of this research is at level 2, which is looking for a model formulation or application of used tire shredding technology in HRS-WC mixtures. The next TKT target is at level 3, namely proving the concept of the model formulation results.

© 2023 Jteksil Universitas Lamappapoleonro

PENDAHULUAN

Perkembangan zaman berbanding lurus dengan semakin banyak tantangan yang dihadapi, salah satunya masalah perkerasan jalan, khususnya perkerasan jalan lentur. Masalah ini muncul akibat meningkatnya kebutuhan masyarakat sehingga terjadi aktivitas mobilisasi yang besar. Hal ini memberi beban hingga cenderung *overload* kepada konstruksi perkerasan sehingga mempengaruhi kinerja jalan. Karena jalan menunjang aktivitas lalu lintas masyarakat, maka konstruksi jalan harus memiliki kinerja yang baik. Kinerja yang baik ditunjukkan dengan ketahanan terhadap beban hingga kondisi perubahan cuaca.

Permasalahan tersebut mendorong perkembangan teknologi perkerasan jalan, dimana modifikasi, metode, dan teknologi muncul karena didasarkan oleh faktor kebutuhan. Penggunaan material alam yang digunakan secara berlebihan dan penggunaan aspal yang belum mampu memenuhi kebutuhan nasional sehingga memerlukan impor, oleh karenanya perlu terus didorong perkembangan inovasi dan teknologi dalam memodifikasi perkerasan tersebut menggunakan material alternatif.

Aspal yang paling umum digunakan di Indonesia sebagai bahan perkerasan jalan adalah aspal minyak. Aspal minyak memiliki kelemahan, yaitu sifatnya kurang tahan lama, cepat mengeras, dan relatif cepat retak . Menjadi sebuah tantangan apabila kekurangan tersebut mampu diminimalisir, salah satunya dengan menggunakan alternatif bahan tambah yang mampu meningkatkan sifat-sifat reologi aspalnya dan sifat mekanis campurannya. Salah satu bahan tambah yang dapat digunakan ke dalam aspal adalah bahan polimer, tetapi harga polimer masih relatif mahal di Indonesia . Menimbang besarnya biaya apabila polimer digunakan, maka dapat digunakan bahan lainnya, salah satunya adalah ban bekas.

Keuntungan penggunaan bahan bekas adalah membantu memenuhi kebutuhan bahan, menekan biaya konstruksi, dan mengatasi problem lingkungan khususnya dalam pemanfaatan limbah bahan bekas. Penelitian terkait ban bekas juga telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* tahun 1986, menunjukkan hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas.

Berdasarkan masalah yang telah dipaparkan, maka kami tertarik pada penelitian mengenai menggunakan ban bekas dalam campuran AC-BC berangkat atas permasalahan yang ada pada konstruksi perkerasan jalan dan hasil penelitian-penelitian terdahulu.

TINJAUAN PUSTAKA

Aspal Beton

Beton Aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur. Beton aspal adalah lapisan penutup permukaan jalan pada perkerasan lentur yang berfungsi untuk menyalurkan beban lalu lintas ke lapisan dibawahnya [12]. Lapis beton aspal dikenal dengan istilah *Asphalt Concrete (AC)* pertama kali dikembangkan oleh *Asphalt Institute* di Amerika Serikat. Campuran aspal beton (AC) terdiri dari tiga jenis yaitu *AC Wearing Course (AC-WC)*, *AC Binder Course (AC-BC)*, dan *AC Base* [1].

Jenis beton aspal yang umumnya digunakan oleh Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah adalah *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)*/ Lapis Aus Aspal Beton. Penggunaan AC-WC yaitu untuk lapis aus dalam perkerasan dan mempunyai tekstur yang paling halus dibandingkan dengan jenis Asphalt Concrete lainnya. Karena lapisan ini terletak pada permukaan (*surface*), maka lapisan ini harus memiliki ketahanan terhadap deformasi, aus akibat gesekan ban kendaraan, cuaca, dan kedap air.

Terdapat tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh beton aspal adalah stabilitas, keawetan atau durabilitas, kelenturan atau fleksibilitas, ketahanan terhadap kelelahan (*fatigue resistance*), kekesatan permukaan atau ketahanan geser, kedap air, dan kemudahan pelaksanaan [1].

Lataston (*Hot Rolled Sheet*)

Salah satu jenis aspal beton adalah Lataston atau Lapis Tipis Aspal Beton (*Hot Rolled Sheet*). Lataston (Lapis Tipis Aspal Beton) atau dikenal dengan nama *Hot Rolled Sheet* merupakan lapisan penutup yang terdiri dari campuran agregat bergradasi senjang, *filler* dan aspal keras dengan perbandingan tertentu yang dicampur dan dipadatkan secara panas (dalam suhu tertentu) dengan ketebalan padat 2,5 cm atau 3 cm.

Lataston terdiri dari dua jenis campuran, yaitu HRS Fondasi (*HRS-Base*) dan HRS Lapis Aus (*HRS Wearing Course*, *HRS-WC*) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. *HRS-Base* memiliki proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada *HRS-WC*.

Pembuatan *Hot Rolled Sheet (HRS)* bertujuan untuk mendapatkan suatu lapisan permukaan atau lapisan antar pada perkerasan jalan raya yang mampu memberikan sumbangan daya dukung serta berfungsi sebagai lapis kedap air yang dapat melindungi konstruksi bawahnya. *Hot Rolled Sheet* bersifat lentur dan mempunyai durabilitas yang tinggi, hal ini disebabkan campuran HRS dengan gradasi timpang mempunyai rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga mampu menyerap jumlah aspal dalam jumlah banyak (7-8%) tanpa terjadi *bleeding*. Selain itu, HRS mudah dipadatkan sehingga lapisan yang dihasilkan mempunyai kedap terhadap air dan udara tinggi. Kegagalan dini yang sering terjadi di lapangan adalah pada proses penghamparan dan pemadatan karena HRS tidak sepenuhnya murni *gapgraded*.

Aspal

Aspal adalah suatu bahan bentuk padat atau setengah padat berwarna hitam sampai coklat gelap, bersifat perekat (cementious) yang akan melembek dan meleleh bila dipanasi. Aspal tersusun terutama dari sebagian besar bitumen yang kesemuanya terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau derivatnya (ASTM,1994)

Menurut Saodang (2005), aspal adalah bahan alam dengan komponen kimia hidrokarbon, hasil eksplorasi dengan warna hitam bersifat plastis hingga cair, tidak larut dalam larutan asam encer dan alkali atau air, tapi larut sebagian besar dalam *aether*, *CS2 bensol* dan *chloroform*.

Fungsi aspal dalam perkerasan beraspal adalah sebagai bahan pengikat agar agregat tidak mudah lepas akibat lalu lintas dan lingkungan. Selain itu aspal juga berfungsi sebagai lapis kedap (*impermeable*) yang melindungi agregat dan material lain di bawahnya dari pengaruh air.

Gradasi Agregat

Gradasi atau distribusi partikel-partikel berdasarkan ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat memengaruhi besarnya rongga antar butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan [12].

Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisa saringan dengan menggunakan 1 set saringan dimana saringan yang paling kasar diletakkan diatas dan yang paling halus terletak paling bawah. Satu set saringan dimulai dari pan dan diakhiri dengan penutup.

Ban Bekas

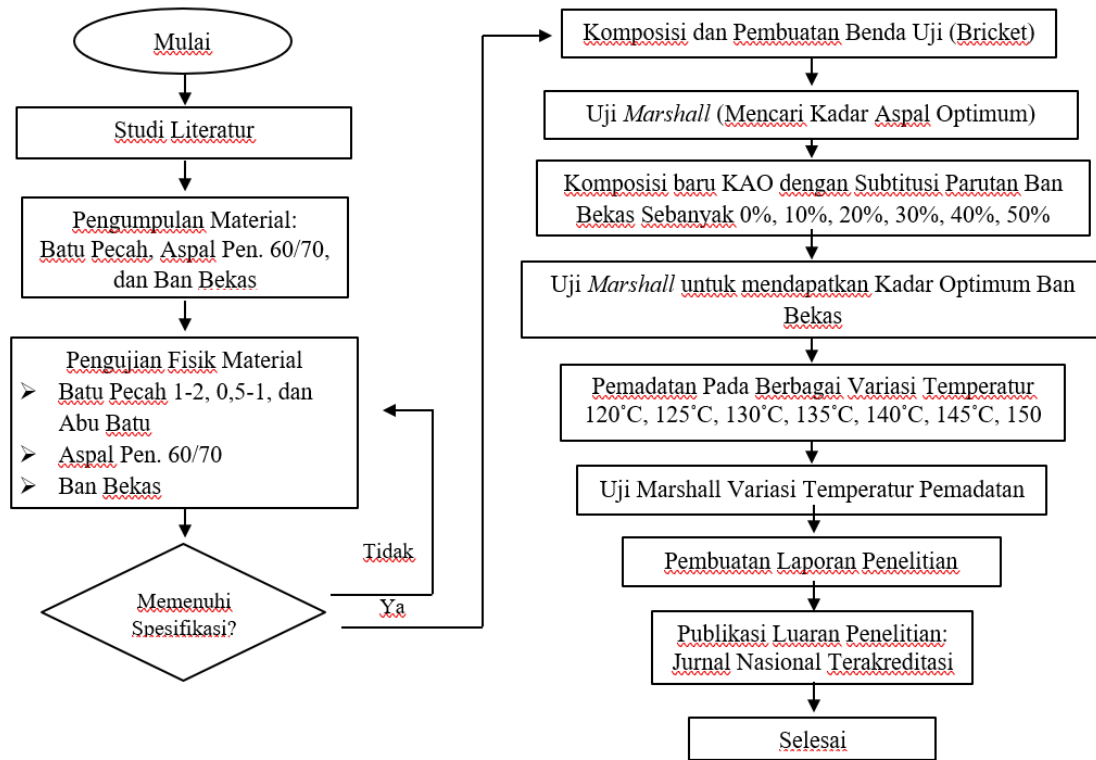
Berdasarkan catatan Kementerian Perindustrian, total produksi kendaraan roda dua sepanjang tahun 2019 mencapai 7,2 juta unit dan diperkirakan terus meningkat. Peningkatan kebutuhan ini juga akan berdampak pada peningkatan kebutuhan pasokan ban dalam negeri. Melonjaknya penggunaan ban di dalam negeri, disisi lain memberikan dampak terhadap jumlah ban bekas yang dihasilkan dari moda transportasi tersebut.

Ban berbahan dasar karet, merupakan salah satu jenis polimer sintesis polistiren (polystyrene). Polistiren tidak dapat dengan mudah didaur ulang sehingga pengolahan limbah polistiren harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. Proses perengkahan polystyrene merupakan salah satu cara untuk meminimalisir limbah polystyrene tersebut. Polystyrene adalah molekul yang memiliki berat molekul ringan, terbentuk dari monomer stirena yang berbau harum.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif (*quantitative research*) dengan metode eksperimental, dimana pengambilan data dilakukan dari hasil pengujian laboratorium. Pengujian utama yang dilakukan dalam penelitian ini adalah uji *Marshall* untuk penentuan pada temperatur pemadatan dan kadar campuran parutan ban bekas berapa yang menunjukkan kesesuaian kriteria *Marshall*. Berikut tahapan penelitian:



Gambar 1. Flowchart Tahapan Penelitian

Metode Pengumpulan Data

1) Metode Observasi

Observasi atau pengamatan dilakukan di lapangan, untuk keperluan pengecekan dan pengambilan kebutuhan material di lapangan.

2) Eksperimental

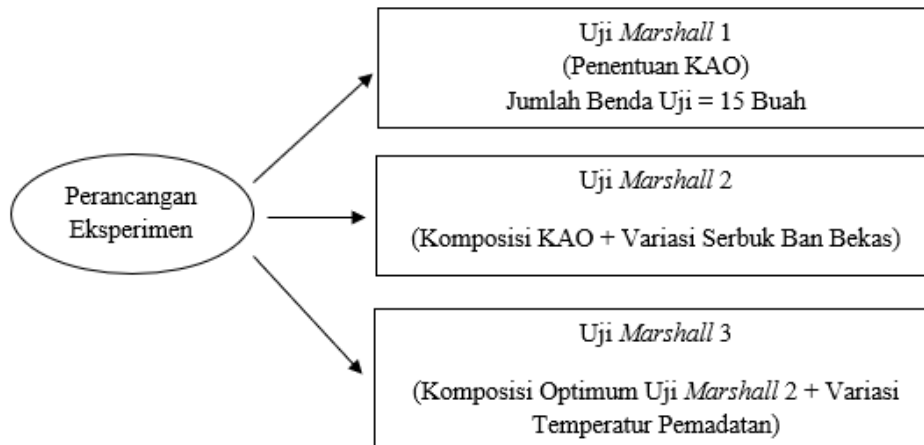
Melakukan kegiatan pengujian/ percobaan untuk memperoleh data-data yang dibutuhkan untuk dianalisis kemudian.

3) Studi Pustaka

Pengumpulan data dengan cara mempelajari buku–buku, artikel, jurnal, berita, dan lain-lain yang dianggap relevan dan dapat mendukung dalam proses penelitian.

Metode Perancangan Eksperimen

Dalam penelitian ini, perancangan eksperimen berupa perancangan benda uji/ sampel bricket aspal jenis HRS-WC dengan menggunakan aspal minyak dan bahan tambah ban bekas yang diparut (serbuk ban).



Gambar 2. Diagram Perancangan Eksperimen

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan agregat bertujuan untuk mengetahui karakteristik dan kelayakan agregat yang akan digunakan berdasarkan spesifikasi yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Agregat yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari batu pecah (split) 2-3, 1-2, 0,5-1, dan abu batu. Berikut ini merupakan hasil pengujian karakteristik agregat ditunjukkan pada Tabel berikut:

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

No	Pengujian	Agregat				Spesifikasi	
		Batu Pecah			Abu Batu		
		2 - 3 3%	1 - 2 16%	0,5 - 1 18%			
1	Ayakan (% Lolos)	1"	100	100	100	100	
		3/4"	100	100	100	100	
		1/2"	41,78	60,67	100	100	75 - 90
		3/8"	20,42	18,13	88,17	100	66 - 82
		No. 4	0	1,90	31,93	100	46 - 64
		No. 8	0	0	0,73	86,69	30 - 49
		No. 16	0	0	0	73,48	18 - 38
		No. 30	0	0	0	54,10	12 - 28
		No. 50	0	0	0	41,21	7 - 20
		No. 100	0	0	0	30,28	5 - 13
No. 200	0	0	0	15,93	4 - 8		
2	Berat Jenis Agregat	a. <i>Bulk</i>		2,623	2,644	2,537	2,4-2,9
		b. <i>SSD</i>		2,559	2,521	2,631	2,4-2,9
		c. <i>Apparent</i>		2,610	2,462	2,692	2,4-2,9
		d. <i>Penyerapan</i>		1,005	1,729	1,437	Maks. 3%
3	Berat Isi	a. <i>Gembur</i>		1,408	1,826	1,382	
		b. <i>Padat</i>		1,484	2,157	1,490	

4	<i>Sand Equivalent</i>				
	a. Sebelum pembebanan (%)	-	-	74,32	Min.50%
	b. Setelah pembebanan (%)	-	-	76,70	
5	<i>Soundness Test</i> (%)	7,1	7,0	5,9	Maks.12%
6	<i>Los Angeles Abrasion</i> (%)	27,73	24,02	-	Maks.40%
7	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	-	-	97	Min.95%

Berdasarkan Tabel 1, hasil pemeriksaan agregat menunjukkan batu pecah 2-3, 1-2. 0.5-1, dan abu batu memenuhi seluruh pengujian karakteristik agregat yang disyaratkan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga (Revisi 2). Berdasarkan syarat gradasi untuk campuran HRS-WC, ditunjukkan gradasi agregat yang digunakan memenuhi syarat.

Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal (Dengan dan Tanpa Serbuk Limbah Ban Bekas)

Aspal yang digunakan adalah Aspal Pertamina Penetrasi 60/70. Pemeriksaan ini didasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018. Berikut ini pada Tabel 2 merupakan hasil pengujian karakteristik aspal.

Tabel 2. Hasil Pemeriksaan Aspal Penetrasi 60/70

Pengujian	Hasil Pengujian	Spesifikasi
Tanpa Serbuk Limbah Ban Bekas		
Penetrasi, 25°C; 100 gr; 5 detik; 0,1 mm	61,60	60 – 70
Berat Jenis Aspal Keras	1,162	≥ 1.0
Titik Lembek, °C	54,5	≥ 48
Titik Nyala, °C	255	≥ 232
Dengan Serbuk Limbah Ban Bekas		
Penetrasi		
- Campuran 0% Serbuk Ban Bekas	61,60	
- Campuran 2% Serbuk Ban Bekas	60,20	
- Campuran 4% Serbuk Ban Bekas	56,80	60 – 70
- Campuran 6% Serbuk Ban Bekas	42,20	
- Campuran 8% Serbuk Ban Bekas	26,50	
- Campuran 10% Serbuk Ban Bekas	17,20	

Berdasarkan Tabel 2, hasil pemeriksaan aspal menunjukkan Aspal Pertamina Pen. 60/70 tanpa serbuk limbah ban bekas memenuhi kriteria spesifikasi dan dengan tambahan serbuk limbah ban bekas sebesar 0% dan 2% menunjukkan penetrasi memenuhi syarat diantara 60-70, yaitu 61,60 dan 60,20. Sehingga, dalam campuran HRS-WC dengan bahan tambah serbuk limbah ban bekas yang akan digunakan adalah variasi 0% (tanpa serbuk) dan variasi 2% serbuk limbah ban bekas.

Hasil Uji Marshall Campuran HRS-WC Dengan Substitusi Serbuk Limbah Ban Bekas Pada Berbagai Temperatur Pematatan

Pengujian Marshall dilakukan kembali pada campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5%, kemudian disubstitusikan dengan serbuk limbah ban bekas. Komposisi serbuk limbah ban bekas yang digunakan adalah 0%, 2%, 4%, 6%, 8% dan 10%, sehingga jumlah bricket sebanyak 18 buah. Berikut ini merupakan hasil pengujian Marshall sesuai Tabel berikut:

Tabel 3. Hasil Uji Marshall Campuran HRS-WC Dengan Variasi Serbuk Limbah Ban Bekas

Sifat-Sifat Campuran HRS-WC	Hasil Pengujian						Spesifikasi
	Variasi Serbuk Limbah Ban Bekas (%)						
	0 %	2 %	4 %	6 %	8 %	10 %	
Density (kg/mm ³)	2,247	2,289	2,315	2,278	2,201	2,158	≥2,2 kg/mm ³
VIM (%)	4,91	5,32	5,85	6,21	6,69	7,25	4 - 6%
VMA (%)	18,23	18,74	19,21	18,77	18,23	17,65	Min. 18%
VFA (%)	71,24	70,14	68,48	66,30	62,41	60,18	Min. 68%
Stabilitas (kg)	662,48	704,52	770,21	818,05	850,21	901,24	Min. 600 kg
Flow (mm)	2,61	2,47	2,59	2,80	3,04	3,40	-
Marshall Quotient (kg/mm)	253,82	285,23	297,38	292,16	279,67	265,36	Min. 250 kg/mm

Hasil Uji Marshall Campuran HRS-WC Dengan Kadar Optimum Substitusi Serbuk Limbah Ban Bekas Pada Berbagai Temperatur Pematatan

Pengujian Marshall dilakukan kembali pada campuran HRS-WC dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5%, kemudian disubstitusikan dengan serbuk limbah ban bekas. Komposisi optimum yang didapatkan akan diuji kembali pada variasi temperatur, yaitu 120 °C, 130 °C, dan 140 °C. Berikut ini merupakan hasil pengujian Marshall sesuai Tabel berikut:

Tabel 4. Hasil Uji Marshall Campuran HRS-WC KAO Serbuk Limbah Ban Bekas Dengan Variasi Temperatur Pematatan

Sifat-Sifat Campuran HRS-WC	Hasil Pengujian			Spesifikasi
	KSLBBO 2% dan Variasi Temperatur Pematatan (°C)			
	120 °C	130 °C	140 °C	
Density (kg/mm ³)	2,278	2,241	2,215	≥2,2 kg/mm ³
VIM (%)	3,89	4,52	5,14	4 - 6%
VMA (%)	17,53	18,34	18,93	Min. 18%
VFA (%)	71,44	75,12	81,28	Min. 68%
Stabilitas (kg)	773,24	712,30	651,20	Min. 600 kg
Flow (mm)	2,03	2,31	2,58	-
Marshall Quotient (kg/mm)	380,91	308,35	252,40	Min. 250 kg/mm

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dijelaskan, maka dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Berdasarkan hasil uji Marshall campuran HRS-WC dengan substitusi serbuk limbah ban bekas, didapatkan peningkatan stabilitas campuran sebesar 3,02%.
2. Berdasarkan hasil uji Marshall campuran HRS-WC dengan kadar serbuk limbah ban bekas optimum pada berbagai variasi temperatur pematatan, menunjukkan kinerja terbaik adalah pada temperatur optimum 135 °C

SARAN

1. Penelitian terkait pemanfaatan limbah ban bekas diharapkan dapat lebih dikembangkan untuk penelitian selanjutnya, salah satu dalam rangka meningkatkan karakteristik mekanis campuran beraspal, khususnya dalam mengurangi limbah ban bekas
2. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai penggunaan limbah ban bekas sebagai bahan tambah campuran beraspal.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini terlaksana atas bantuan para Tim dosen, dan para pihak – pihak dari Universitas Lamappapoleonro

DAFTAR PUSTAKA

- Anonim. 2018. Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan (Revisi 2), Badan Penelitian dan Pengembangan PU, Departemen Umum. Jakarta.
- Damayanthi, R., & Martini, R. (2009). Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas Menggunakan Katalis Zeolit Y dan ZSM-5.
- Fithra, H. (2011). Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas pada Campuran Panas Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC). *Teras Jurnal*, 1(2), 145-154.
- Frida, E., & Damanik, G. P. (2018). Analisis kekuatan asphalt concrete wearing course (AC-WC) dengan serbuk ban bekas sebagai zat aditif. *JUITECH: Jurnal Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Quality*, 1(1), 49-58.
- Indriyati, E. W., & Susanto, H. A. (2015). Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Dinamika Rekayasa*, 11(1), 24-28.
- Khairani, C., Saleh, S. M., & Sugiarto, S. (2018). Uji Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Dengan Tambah Parutan Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil*, 1(3), 559-570.
- Maulani, E. (2021). Studi Komparasi Antara Ban Bekas Dan Plastik Ldpe (Low Density Polyethilen) Sebagai Bahan Tambah Pada Campuran Ac-Bc Terhadap Uji Lentur. *Sisfo: Jurnal Ilmiah Sistem Informasi*, 5(1).
- Mulyono, A. T., & Suparma, L. B. (2023). Pengaruh Ukuran Butir Karet Ban Bekas Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Asphalt Concrete-Binder Course. *Jurnal HPJI (Himpunan Pengembangan Jalan Indonesia)*, 9(2), 83-92.
- Saodang, H. (2005). Konstruksi jalan raya. *Bandung: Nova*.
- Sjahanulirwan, M. (2008). Kelebihan serta kekurangan perkerasan beraspal dan beton. *Puslitbang Jalan dan Jembatan*, 25(1), 1-11.
- Sugiyanto, G. (2009). Kajian karakteristik campuran hot rolled asphalt akibat penambahan limbah serbuk ban bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(2), pp-91.