

EVALUASI KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN AC-WC DENGAN MODIFIKASI ASPAL MENGGUNAKAN LIMBAH BAN DALAM BEKAS

Ammar Fadhil⁽¹⁾, Romaynoor Ismy⁽²⁾, Hanyta Khairunnisa⁽³⁾, Khairul Amna⁽⁴⁾

^{1,2,3}Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Almuslim, Bireuen

⁴Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Malikussaleh, Lhokseumawe

e-mail: ammarfadhil@umuslim.ac.id, romaynoor@yahoo.co.id, nta.khair@gmail.com, khairulamna@unimal.ac.id

ABSTRACT

AC-WC pavement is a commonly used type of road pavement for public transportation. Over time, this pavement often suffers damage due to traffic loads, temperature changes, and water accumulation. This study aims to utilize used inner tubes from motorcycle tires as an additive in hot mix asphalt, considering their elastic, polymer-like properties. The research method involves Marshall parameter testing on hot mix asphalt with varying substitution levels of used inner tubes at 0%, 1%, 2%, 3%, and 4%, following the 2018 Bina Marga specifications. The experiments were conducted at the Pavement Laboratory of the Civil Engineering Faculty using penetration grade 60/70 asphalt and continuous gradation. The results indicate an optimum asphalt content (OAC) of 5.77%. The tested Marshall parameters include stability, flow, VIM, VMA, VFA, and MQ. The best performance was obtained with a 3% substitution, yielding a stability value of 1498 kg, VIM of 4.64, VMA of 15.9%, VFA of 72.21%, and an MQ value of 394.84. In conclusion, the use of motorcycle inner tube waste enhances the stability of asphalt concrete compared to mixes without additives, offering an innovative solution to extend pavement life and reduce road damage.

Keywords : Marshall Parameters, Inner Tube Waste, AC-WC, Road Pavement.

ABSTRAK

Perkerasan jalan AC-WC merupakan jenis perkerasan yang umum digunakan sebagai jalur transportasi. Seiring berjalannya waktu, jalan ini sering mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas, perubahan suhu, dan genangan air. Penelitian ini bertujuan memanfaatkan limbah ban dalam bekas sepeda motor sebagai bahan tambahan pada campuran aspal, mengingat ban dalam memiliki sifat elastis seperti polimer. Metode yang digunakan melibatkan uji parameter Marshall terhadap campuran aspal panas dengan variasi kadar limbah sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%, sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Fakultas Teknik Sipil menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan gradasi menerus. Hasil penelitian menunjukkan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,77%. Parameter Marshall yang dianalisis meliputi stabilitas, flow, VIM, VMA, VFA, dan MQ. Dari hasil pengujian, diketahui bahwa penambahan limbah sebesar 3% memberikan hasil terbaik dengan nilai stabilitas 1498 kg, VIM 4,64, VMA 15,9, VFA 72,21, dan nilai MQ 394,84. Kesimpulannya, penambahan limbah ban dalam sepeda motor mampu meningkatkan stabilitas lapisan perkerasan jalan AC-WC dan menjadi solusi alternatif untuk memperpanjang umur jalan serta mengurangi kerusakan.

Kata kunci: Parameter Marshall, Limbah Ban Dalam, AC-WC, Perkerasan Jalan.

1. Pendahuluan

Jalan sebagai sarana transportasi yang esensial sering mengalami kerusakan akibat beban lalu lintas yang berlebihan, temperatur, dan genangan air, sehingga memerlukan solusi inovatif untuk perbaikan (Revelli et al., 2024). Salah satu pendekatan yang dapat diterapkan adalah pemanfaatan limbah ban dalam sepeda motor sebagai bahan tambah dalam campuran perkerasan jalan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) (Kiki Nur Indah Sari et al., 2022). Landasan teori menunjukkan bahwa penambahan limbah karet dapat meningkatkan karakteristik fisik campuran aspal, khususnya parameter Marshall seperti stabilitas dan *flow* (Gilberth Gerent Yoni Riruma et al., 2023). Masalah yang diidentifikasi dalam penelitian ini adalah bagaimana variasi persentase limbah ban dalam

2. Metode

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah studi eksperimen yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Universitas Almuslim, Kabupaten Bireuen. Material dalam penelitian ini adalah Agregat bergradasi baik menerus yang diproduksi oleh pabrik pemecah batu PT. Kreuh Meuh, serta aspal yang digunakan berupa aspal keras penetrasi 60/70 produksi PT. Shell Bitumen (Teknik Sipil et al., 2024). Limbah ban dalam sepeda motor yang dipotong halus dan digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran (Fitri et al., 2018). Jumlah benda uji untuk menentukan KAO terbaik dibutuhkan sebanyak 15 benda uji untuk masing-masing kadar aspal dan setelah didapatkan nilai KAO terbaik, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji dengan penambahan polimer limbah ban dalam bekas sepeda motor dengan total 15 buah benda uji (Dahish & Alkharisi, 2024). Metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini meliputi: Pengujian sifat fisis agregat dan sifat fisis aspal (Genet et al.,

mempengaruhi karakteristik Marshall pada campuran aspal penetrasi 60/70 dan persentase substitusi yang optimal untuk meningkatkan stabilitas (Ammar Fadhil & Hanyta Khairunnisa, 2024). Rencana pemecahan masalah dilakukan melalui pengujian campuran aspal panas dengan variasi kadar limbah ban dalam sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%, serta analisis data untuk menentukan pengaruhnya (Ismay et al., 2023). Tujuan penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh variasi persentase limbah ban dalam terhadap karakteristik Marshall dan menentukan persentase substitusi yang optimal, sehingga dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan (Li et al., 2024).

2021). Campuran aspal panas dibuat dengan menambahkan limbah ban dalam sesuai dengan variasi yang telah ditentukan (Al-Shawabkeh et al., 2022). Campuran diaduk hingga merata dan dituangkan ke dalam cetakan (*mold*) yang telah dipanaskan (Mohammed et al., 2024). Setelah benda uji didiamkan selama 24 jam, dilakukan pengujian Marshall untuk menentukan Parameter Marshall (Guo et al., 2024).

3. Hasil dan Pembahasan

Hasil dari pengujian ini meliputi hasil pengujian benda uji dan pemeriksaan terhadap nilai-nilai karakteristik marshall berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 revisi 3 dalam menentukan nilai stabilitas, flow, VIM, VMA VFA, density, Marshall Quotient(MQ) (*Spesifikasi Umum Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan*, 2018)(Zhao et al., 2022).

3.1 Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

Data hasil pemeriksaan laboratorium terhadap sifat-sifat fisis agregat batu pecah yang berasal dari mesin *Stone Crusser* milik PT. Krueng Meuh akan disajikan dalam bentuk tabel. Pemeriksaan sifat-sifat fisis

ini meliputi pemeriksaan berat jenis, penyerapan, berat isi. Seperti pada Tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

No	Uraian	Spesifikasi	Hasil		
			CA	MA	Pasir
1	Berat Jenis kering	-	2,667	2,643	2,428
2	Berat Jenis (SSD)	-	2,683	2,669	2,493
3	Berat Jenis Semu (Apparent)	-	2,708	2,706	2,588
4	Penyerapan Air (Absorpsi)	Max 3%	0,664	0,944	2,555

3.2 Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal

Setelah dilakukan pengujian terhadap aspal penetrasi 60/70 sebagai material dalam penelitian ini, diperoleh data mengenai sifat-sifat fisis aspal. Pengujian tersebut mencakup berat jenis, penetrasi,

daktilitas, dan titik lembek. Hasil pemeriksaan menunjukkan bahwa aspal tersebut memenuhi standar. Rincian hasil pengujian sifat-sifat fisis aspal penetrasi 60/70 disajikan dalam tabel Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal

No.	Sifat-sifat fisis Aspal	Satuan	Hasil	Persyaratan
1.	Berat Jenis;	-	1,020	>1
2.	Penetrasi;	(0,1 mm)	64	60-70
3.	Daktilitas;	Cm	130	>100
4.	Titik Lembek	°C	48,25	>48

3.3 Hasil Pengujian Parameter Marshall

3.3.1 Pembuatan dan Pengujian Benda Uji

Pembuatan benda uji dilakukan ketika agregat, serta gradasi agregat, dan aspal keras penetrasi 60/70, serta Limbah ban dalam sepeda motor telah memenuhi persyaratan, benda uji yang dibuat terdiri dalam tiga kelompok benda uji, dapat dilihat pada Tabel 3 dibawah diantaranya: Benda uji dengan variasi kadar aspal penetrasi 60/70 pada campuran Laston Lapis Aus (AC-WC). Benda uji dengan persentase penambahan limbah polimer ban dalam sepeda motor 0%, 1%, 2%, 3% dan 4% pada Kadar Aspal Optimum (KAO).

Tabel 3. Benda uji menentukan KAO dan benda uji penambahan limbah ban dalam

Kadar Aspal	Jumlah	Kadar Limbah Ban	Jumlah
4,5	3 Buah	0%	3 Buah
5	3 Buah	1%	3 Buah
5,5	3 Buah	2%	3 Buah
6	3 Buah	3%	3 Buah
6,5	3 Buah	4%	3 Buah
Total	15 Buah	Total	15 Buah

3.3.2 Hasil Pengujian Marshall Penentuan KAO

Berdasarkan hasil pengujian Marshall yaitu stabilitas, flow, density, VIM, VFA, VMA, dan Marshall Quetient. Hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%, disajikan pada Tabel 4 berikut ini.

Tabel 4. Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall Penetrasi 60/70

No	Karakteristik	Kadar Aspal Optimum (KAO)					Spek Dept. Pu (2018)
		Tanpa Variasi Suhu					
		4,5	5	5,5	6	6,5	
1	Stabilitas (Kg)	1.209	1.342	1.415	1.404	1.474	Min. 800
2	Flow (mm)	3,97	3,67	3,57	3,50	3,33	2 -4
3	MQ (Kg/mm)	307,82	369,08	398,68	404,84	429,72	Min. 250
4	Density	2.257	2.302	2.323	2.327	2.325	-
5	VIM (%)	7,6	5,8	4,2	3,4	2,8	3-5
6	VMA (%)	16,2	15,6	15,3	15,6	16,1	Min. 15
7	VFA (%)	53,1	62,9	72,3	78,2	82,2	Min. 65

Dari hasil pada Tabel 4 pengujian selanjutnya dianalisa untuk memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang diperoleh adalah sebesar 5,77% yang memenuhi persyaratan parameter Marshall untuk campuran aspal beton (AC-WC). Nilai KAO 5,77% digunakan untuk membuat benda uji dengan variasi persentase substitusi Limbah Ban Dalam Sepeda Motor.

3.3.3 Hasil Pengujian Marshall pada KAO dengan substitusi limbah ban dalam bekas

Hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall aspal beton (AC- WC) tanpa dan dengan substitusi variasi limbah ban dalam sepeda motor pada kadar aspal optimum KAO yaitu sebesar 5,77%. Untuk rekapitulasi hasil pengujian Marshall Limbah Ban Dalam Sepeda Motor disajikan pada Tabel 5 dibawah ini:

Tabel 5 Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall tanpa dan dengan Substitusi Limbah Ban Dalam Rendaman 30 Menit

No	Karakteristik	Kadar Aspal Substitusi Limbah Ban dalam Sepeda Motor Pada KAO					Spek Dept. Pu (2018)
		0%	1%	2%	3%	4%	
1	Stabilitas (Kg)	1.391	1.451	1.465	1.498	1.306	Min. 1000
2	Flow (mm)	4,07	4,32	3,87	3,50	4,13	2 - 4
3	MQ (Kg/mm)	303,82	349,08	368,68	394,84	402,72	Min. 250
4	Density	2,320	2,311	2,321	2,304	2,322	-
5	VIM (%)	4,03	4,29	4,51	4,64	5,38	3 - 5
6	VMA (%)	15,2	15,4	15,6	15,9	15,3	Min. 15
7	VFA (%)	73,31	71,91	71,33	72,21	72,23	Min. 65

Dari hasil di atas maka perbandingan persentase pengujian marshall persentase variasi limbah ban dalam sepeda motor yang memenuhi semua spesifikasi bina marga 2018 pada substitusi limbah ban

dalam 3% dengan nilai stabilitas sebesar 1498 kg, nilai kelelehan 3,50 mm nilai MQ sebesar 394,84, nilai VIM sebesar 4,64, VMA sebesar 15,9 dan nilai VFA sebesar 72,21%.

a. Tinjauan Hasil terhadap Stabilitas

Nilai stabilitas tertinggi diperoleh pada penambahan bahan sebesar 3%, yaitu sebesar 1478. Sementara nilai stabilitas terendah terjadi pada penambahan bahan sebesar 4%, yaitu 1306. Nilai stabilitas pada kadar bahan 0%, 1%, dan 2% masing-masing adalah 1391, 1451, dan 1465.



Gambar 1. Pengaruh Nilai Stabilitas Terhadap Persentase Limbah Ban

Dari gambar 1 terlihat bahwa penambahan bahan hingga 3% memberikan peningkatan nilai stabilitas yang signifikan dibandingkan kondisi tanpa penambahan bahan (0%). Hal ini menunjukkan bahwa

penambahan bahan hingga 3% mampu memperbaiki ikatan antar partikel dalam campuran, sehingga menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi.

Namun, ketika kadar bahan ditingkatkan menjadi 4%, terjadi penurunan tajam nilai stabilitas. Penurunan ini mengindikasikan bahwa penambahan bahan secara berlebihan dapat menyebabkan kelebihan kadar bahan yang tidak dapat terdistribusi secara merata, sehingga mengganggu struktur campuran dan menurunkan kestabilannya.

b. Tinjauan Hasil Terhadap Nilai VIM

Nilai VIM menunjukkan banyaknya persentase rongga dalam campuran yang dinyatakan dalam persen. Nilai VIM semakin kecil tergantung kemampuan aspal dalam mengisi rongga dalam campuran. Nilai VIM pada campuran laston tanpa dan dengan variasi persentase substitusi limbah ban dalam sepeda motor pada perendaman air biasa seperti yang diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini:



Gambar 2. Pengaruh Nilai VIM Terhadap Persentase Limbah Ban

Berdasarkan grafik gambar 2 nilai *Void in Mix* (VIM), terlihat bahwa penambahan bahan tertentu dari 0% hingga 3% menyebabkan peningkatan nilai VIM dari 4,03% menjadi 4,64%, yang masih berada dalam rentang ideal 3–5% sesuai spesifikasi campuran aspal. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan bahan hingga 3% dapat meningkatkan volume rongga udara dalam campuran, yang berpotensi memperbaiki kinerja campuran terhadap deformasi dan stabilitas. Namun, pada penambahan 4%, nilai VIM menurun menjadi 4,38%, yang mengindikasikan bahwa kelebihan bahan

Secara umum, penambahan bahan hingga 3% merupakan kadar optimum dalam konteks penelitian ini karena memberikan stabilitas tertinggi. Penambahan lebih dari kadar tersebut justru menurunkan performa, sehingga tidak direkomendasikan untuk digunakan dalam campuran.

mulai mengisi rongga dalam campuran atau menyebabkan distribusi agregat yang tidak merata. Dengan demikian, kadar optimum bahan terhadap VIM dicapai pada 3%, di mana rongga udara terbentuk secara maksimal tanpa menyebabkan kepadatan berlebih dalam campuran.

c. Tinjauan Hasil Terhadap Nilai VMA

Nilai VMA merupakan ruang yang tersedia bagi aspal untuk melapisi partikel agregat.



Gambar 3. Pengaruh Nilai VMA Terhadap Persentase Limbah Ban

Berdasarkan gambar 3 grafik di atas nilai *Voids in Mineral Aggregate* (VMA), terlihat bahwa penambahan bahan dari 0% hingga 3% menyebabkan peningkatan nilai VMA secara bertahap, dari 15,20% menjadi 15,90%, sebelum akhirnya menurun kembali pada penambahan 4% menjadi 15,30%. Peningkatan nilai VMA hingga 3% menunjukkan bahwa bahan tambahan berperan dalam menciptakan ruang antar agregat yang lebih besar, memungkinkan pengikatan aspal yang lebih baik dan mengindikasikan potensi peningkatan daya tahan campuran terhadap kerusakan akibat lalu lintas dan cuaca. Namun, pada kadar

4%, nilai VMA justru menurun, yang dapat disebabkan oleh kelebihan bahan yang mulai mengisi ruang antar agregat atau menyebabkan pengendapan material halus, sehingga mengurangi total ruang kosong. Fenomena ini menunjukkan bahwa meskipun penambahan bahan dapat memperbaiki struktur campuran, terdapat batas optimal yaitu pada kadar 3%, di mana keseimbangan antara agregat, rongga, dan pengikat tercapai secara ideal untuk kinerja perkerasan yang lebih stabil dan tahan lama.

d. Tinjauan Hasil Terhadap Nilai VFA

Besarnya nilai VFA sangat menentukan keawetan suatu campuran beton aspal, semakin besar nilai VFA menjadikan nilai VIM semakin kecil, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang dapat terisi oleh aspal, sehingga campuran beton aspal akan semakin awet. Begitu juga sebaliknya, jika nilai VFA semakin kecil menunjukkan bahwa aspal dapat mengisi rongga lebih sedikit dan aspal yang menyelimuti butiran partikel agregat sangatlah tipis, sehingga campuran beton aspal tidak awet dan mudah terjadinya pelepasan butir agregat. Nilai VFA pada campuran laston lapis aus diperlihatkan pada Gambar 4.9 berikut:



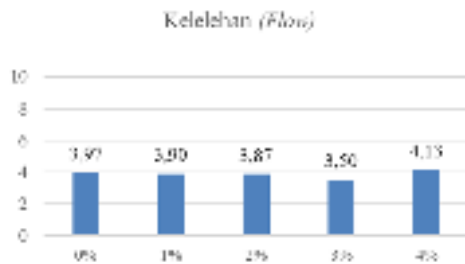
Gambar 4. Pengaruh Nilai VFA Terhadap Persentase Limbah Ban

Berdasarkan gambar 4 grafik nilai *Voids Filled with Asphalt* (VFA), terlihat bahwa penambahan bahan dari 0% hingga 4% memberikan fluktuasi kecil terhadap persentase VFA, dengan nilai awal sebesar

73,31% pada 0%, kemudian mengalami penurunan hingga mencapai titik terendah pada 2% yaitu 71,33%, sebelum sedikit meningkat kembali hingga 72,23% pada 4%. Nilai-nilai ini masih berada dalam rentang spesifikasi yang umum digunakan untuk campuran aspal, yaitu antara 65% hingga 75%, yang menunjukkan bahwa seluruh variasi campuran masih layak secara teknis. Penurunan nilai VFA pada kadar 1% dan 2% kemungkinan disebabkan oleh peningkatan rongga udara dalam campuran (terkait dengan peningkatan VIM), yang menyebabkan persentase volume rongga yang terisi aspal berkurang. Sementara itu, peningkatan kembali pada 3% dan 4% menunjukkan bahwa pada kadar ini, bahan tambahan mulai membantu distribusi aspal yang lebih merata dan efisien dalam mengisi rongga. Secara keseluruhan, perubahan nilai VFA relatif kecil, namun menunjukkan bahwa kadar bahan tambahan memiliki pengaruh terhadap keseimbangan antara rongga dan aspal dalam campuran, yang penting untuk menjamin ketahanan terhadap deformasi plastis dan kerusakan dini.

e. Tinjauan Hasil Terhadap Nilai *Flow*

Nilai *flow* campuran laston lapis aus AC-WC menggunakan variasi persentase limbah ban dalam sepeda motor sebagai substitusi aspal. Nilai *flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan akibat menahan beban yang diterimanya. Nilai *flow* yang rendah akan mengakibatkan campuran menjadi kaku sehingga lapis perkerasan menjadi mudah retak, sedangkan campuran dengan nilai *flow* tinggi akan menghasilkan lapis perkerasan yang plastis sehingga perkerasan akan mudah mengalami perubahan bentuk seperti gelombang dan alur. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 5 berikut ini:



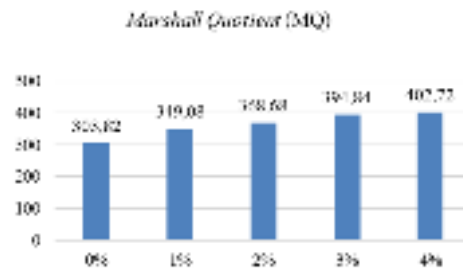
Gambar 5. Pengaruh Nilai Flow Terhadap Persentase Limbah Ban

Berdasarkan grafik gambar 5 diatas nilai kelelahan (*flow*), terlihat bahwa penambahan bahan tertentu terhadap campuran menyebabkan fluktuasi pada nilai *flow*. Nilai tertinggi terjadi pada kadar 4% yaitu sebesar 4,13 mm, sedangkan nilai terendah terdapat pada kadar 3% sebesar 3,50 mm. Pada kondisi awal tanpa penambahan bahan (0%), nilai flow adalah 3,97 mm, yang kemudian sedikit menurun seiring peningkatan kadar hingga 3%. Penurunan nilai *flow* hingga 3% menunjukkan adanya peningkatan kekakuan atau stabilitas struktural campuran, karena campuran menjadi lebih tahan terhadap deformasi plastis saat diberi beban. Namun, peningkatan tajam pada kadar 4% menunjukkan bahwa campuran mulai kehilangan stabilitasnya dan menjadi lebih plastis atau lunak, yang bisa berdampak negatif terhadap daya tahan terhadap beban lalu lintas jangka panjang. Secara umum, nilai *flow* tetap berada dalam rentang standar (umumnya 2–4 mm untuk metode Marshall), namun nilai 3% dapat dianggap sebagai kadar optimum karena memberikan *flow* terendah yang berkontribusi terhadap kestabilan tanpa menyebabkan kegetasan.

f. Tinjauan Hasil Terhadap Nilai Marshall Quotient (MQ)

Nilai Marshall Quotient dari campuran laston lapis aus dengan variasi substitusi limbah ban dalam sepeda motor dan tanpa substitusi. Nilai Marshall

Quotient merupakan perbandingan nilai stabilitas campuran dengan *flow*, semakin besar nilai Marshall Quotient maka campuran yang dihasilkan akan semakin kaku sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Seperti yang diperlihatkan pada Gambar 6 berikut ini:



Gambar 6. Pengaruh Nilai MQ Terhadap Persentase Limbah Ban

Pada Gambar 6 menunjukkan grafik nilai Marshall Quotient (MQ) terhadap variasi kadar bahan tambahan dari 0% hingga 4%. Terlihat bahwa nilai MQ mengalami peningkatan signifikan seiring bertambahnya kadar bahan, dari 303,82 kg/mm pada 0% hingga mencapai puncak 402,72 kg/mm pada kadar 4%. Peningkatan bertahap ini mengindikasikan bahwa penambahan bahan mampu meningkatkan kekakuan dan ketahanan deformasi plastis campuran aspal. Nilai MQ yang tinggi mencerminkan campuran yang memiliki stabilitas tinggi namun deformasi rendah (*flow* kecil), sehingga cocok untuk lalu lintas berat. Peningkatan MQ yang konsisten menunjukkan bahwa bahan tambahan berfungsi memperbaiki interaksi antara agregat dan aspal, meningkatkan kohesi internal dan daya dukung campuran. Dengan demikian, kadar 4% memberikan performa mekanik terbaik dalam konteks MQ, namun harus tetap dianalisis secara menyeluruh bersama parameter lain (seperti *flow*, stabilitas, VIM, dll.) agar tidak terjadi ketidakseimbangan sifat campuran.

4. Kesimpulan dan Saran

4.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan pembahasan mengenai karakteristik campuran AC-WC dengan substitusi variasi persentase limbah ban dalam sepeda motor dapat disimpulkan beberapa hal sebagai berikut :

1. Nilai stabilitas yang diperoleh telah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan ≥ 800 kg untuk campuran laston AC dan ≥ 1000 kg untuk campuran AC-Mod.
2. Berdasarkan evaluasi terhadap Karakteristik Marshall pada substitusi AC- WC dengan variasi persentase substitusi limbah ban dalam sepeda motor pada kadar aspal optimum 5.77%, maka diketahui nilai Stabilitas, MQ, VIM, dan VMA cenderung meningkat seiring besarnya persentase substitusi limbah ban dalam sepeda motor dalam campuran, sedangkan nilai Density, Flow, dan VFA cenderung menurun.
3. Persentase substitusi limbah optimum yang bisa digunakan pada perkerasan aspal yaitu dengan menggunakan polimer limbah ban dalam sepeda motor dengan substitusi 3%, Karena pada persentase ini memenuhi Parameter Marshall dan mempunyai kenaikan nilai stabilitas yang signifikan dari substitusi lainnya.

4.2 Saran

Saran yang dapat diberikan berdasarkan hasil penelitian diantaranya:

1. Pada penelitian ini, metode substitusi limbah ban dalam bekas kendaraan sepeda motor dengan aspal dilakukan dengan cara kering, dengan ukuran partikel limbah ban dalam sepeda motor minimum sebesar 0,30 mm (lolos saringan No.50), dengan suhu partikel limbah ban dalam sepeda motor larut 165⁰C. Disarankan untuk penelitian selanjutnya dengan

menggunakan limbah partikel limbah ban dalam sepeda motor yang lebih kecil, hal ini untuk mempermudah limbah ban dalam sepeda motor larut dalam aspal.

2. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar menggunakan limbah ban dalam sepeda motor dari jenis limbah lainnya yang memiliki pengaruh besar terhadap stabilitas pada temperatur rendah.

5. Daftar Pustaka

- Al-Shawabkeh, A. F., Awwad, M. T., & Al-Rousan, T. M. (2022). Using recycled plastic waste to improve the performance of hot-mix asphalt. *Proceedings of the Institution of Civil Engineers - Waste and Resource Management*, 176(3), 118–128. <https://doi.org/10.1680/JWARM.21.00013>
- Ammar Fadhil, & Hanya Khairunnisa. (2024). Evaluasi Kinerja Campuran Aspal Dengan Substitusi Limbah Plastik Pet Dalam Meningkatkan Durabilitas Campuran Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Variasi Lama Waktu Perendaman. *Jurnal Sains Riset (JSR)*, 14(3), 698–705.
- Dahish, H. A., & Alkharisi, M. K. (2024). Hybrid Fiber Reinforcement in HDPE–Concrete: Predictive Analysis of Fresh and Hardened Properties Using Response Surface Methodology. *Buildings*, 14(11). <https://doi.org/10.3390/BUILDINGS14113479>
- 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. <https://doi.org/10.24815/jts.v1i3.10034>

- Genet, M. B., Sendekie, Z. B., & Jembere, A. L. (2021). Investigation and optimization of waste LDPE plastic as a modifier of asphalt mix for highway asphalt: Case of Ethiopian roads. *Case Studies in Chemical and Environmental Engineering*, 4, 100150. <https://doi.org/10.1016/J.CSCEE.2021.100150>
- Gilberth Gerent Yoni Riruma, Hamkah, & Penina Istia. (2023). PENGARUH PENAMBAHAN KARET BAN BEKAS TERHADAP SIFAT MARSHALL CAMPURAN ASPAL AC-WC. *Jurnal Simetrik*, 13(2), 757–764.
- Guo, M., Xu, W., & Du, X. (2024). Study on the release and suppression of fumes from asphalt binder. *Construction and Building Materials*, 441. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.137511>
- Ismy, R., Husaini, Saleh, S. M., & Isya, M. (2023). *Analysis of the effect of wire mesh layer in hot asphalt mixtures on the strain and deflection using finite element method.* 070003. <https://doi.org/10.1063/5.0139331>
- Kiki Nur Indah Sari, Akhmad Maliki, & Akbar Bayu Kresno Suharso. (2022). PEMANFAATAN CAMPURAN LIMBAH KARET BAN DENGAN FILLER ABU KERANG SIMPING PADA ASPAL BETON. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Konstruksi*, 10(1), 025–034.
- Li, Y., Li, M., Wang, L., Wang, L., Liu, Z., Jiang, J., & Zhang, J. (2024). Ultra-high performance concrete with high strength, workability, loading durability and low curing maintenance for applications in airport pavement. *Case Studies in Construction Materials*, 21, e03982. <https://doi.org/10.1016/J.CSCM.2024.E03982>
- Mohammed, I., Zhengfeng, Z., & Changfa, A. I. (2024). Evaluating the impact of temperature variations and subgrade reactions under traffic-load on airport concrete pavement performance. *Structures*, 70, 107704. <https://doi.org/10.1016/J.ISTRUC.2024.107704>
- Revelli, V., Ali, A., Mehta, Y., Cox, B. C., & Lein, W. (2024). Evaluating the impact of variability in the source of waste polyethylene on the design of plastic modified asphalt mixtures. *Construction and Building Materials*, 442, 137639. <https://doi.org/10.1016/J.CONBUILD MAT.2024.137639>
- Spesifikasi Umum Pekerjaan Konstruksi Jalan Dan Jembatan (2018). Teknik Sipil, J., Indriyati, E. W., Subagio, B. S., Rahman, H., & Wibowo, S. S. (2024). Pengaruh Penggunaan Aspal Modifikasi Nano Zeolit Terhadap Karakteristik Marshall Campuran Beraspal Panas HRS-WC. *Jurnal Teknik Sipil*, 31(1), 45–52. <https://doi.org/10.5614/jts.2024.31.1.5>
- Zhao, C., Zhu, Z., Yi, Z., Su, K., & Li, Y. (2022). Static test research on steel bridge deck pavement structures paved by high-content hybrid fibre polymer concrete. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/S41598-022-12987-8>