

PENGARUH BAN DALAM BEKAS KENDARAAN SEBAGAI ASPAL PANAS PADA CAMPURAN ASPAL BETON (AC-BC) TERHADAP HASIL PENGUJIAN MARSHALL

A.A. Haziri⁽¹⁾, H. Khairunnisa⁽²⁾, A. Fadhil⁽³⁾, A.K. Muna⁽⁴⁾

¹Teknik Sipil, Politeknik Negeri Lhokseumawe, Lhokseumawe

^{2,3,4} Teknik Sipil, Universitas Almuslim, Bireuen

e-mail: achmadabrarh@pnl.ac.id, nta.khair@gmail.com, ammarfadhil@umuslim.ac.id,
adrikalmuna20@gmail.com

ABSTRACT

The increasing volume of waste, if not properly managed, can lead to environmental pollution. One potential solution is to utilize used inner tubes from motorcycles as a substitute for hot asphalt in asphalt concrete (AC-BC) mixtures. Roads play a vital role in supporting economic activities but are frequently damaged due to increasing vehicle loads. This study aims to investigate the effect of adding motorcycle inner tube waste to AC-BC mixtures with variations of 0%, 1%, 2%, 3%, and 4% by asphalt weight, as well as the impact of 30-minute immersion at 60°C. The Marshall method was used to assess the characteristics and stability of the mixtures. The results showed that asphalt with a penetration grade of 60/70 met technical specifications, and the optimal substitution was found at 2%, producing a stability value of 1603 kg. These findings highlight the potential of inner tube waste as an alternative material to improve pavement quality sustainably.

Keywords: *Asphalt Concrete Binder Course, Deformasi, Marshall Method, Motorcycle Inner Tube, Stability, Waste.*

ABSTRAK

Peningkatan jumlah limbah ban yang tidak diimbangi penanganan tepat dapat menimbulkan pencemaran lingkungan. Salah satu upaya pemanfaatannya adalah menjadikan limbah ban dalam sepeda motor sebagai substitusi aspal panas pada campuran aspal beton (AC-BC). Jalan memiliki peran vital dalam mendukung aktivitas ekonomi, namun sering mengalami kerusakan akibat beban kendaraan yang terus meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan limbah ban dalam terhadap campuran (AC-BC) dengan variasi 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% dari berat aspal, serta pengaruh perendaman 30 menit pada suhu 60°C. Pengujian dilakukan menggunakan metode Marshall untuk mengevaluasi karakteristik stabilitas dan deformasi. Hasil menunjukkan bahwa campuran aspal dengan penetrasi 60/70 memenuhi spesifikasi teknis, dan substitusi optimal terdapat pada kadar 2%, menghasilkan stabilitas 1603 kg. Temuan ini menunjukkan potensi limbah ban dalam sebagai bahan alternatif yang dapat meningkatkan kualitas perkerasan jalan secara berkelanjutan.

Kata kunci: *Asphalt Concrete Binder Course, Deformasi, Limbah, Ban Dalam Sepeda Motor, Metode Marshall, Stabilitas.*

1. Pendahuluan

Pembangunan infrastruktur jalan yang terus meningkat di Indonesia menyebabkan tingginya kebutuhan akan material konstruksi, seperti agregat kasar, agregat

halus, filler, dan aspal sebagai bahan pengikat. Namun demikian, keterbatasan sumber daya alam menyebabkan ketersediaan aspal berbasis minyak bumi semakin berkurang. Oleh karena itu,

diperlukan terobosan inovatif guna mengurangi ketergantungan terhadap aspal konvensional dan mencari alternatif bahan pengikat yang lebih ramah lingkungan.

Salah satu pendekatan yang tengah dikembangkan adalah pemanfaatan limbah ban dalam bekas kendaraan sebagai aditif dalam campuran aspal beton. Limbah ban dalam tergolong sebagai sampah anorganik yang sulit terdegradasi secara alami, dan volumenya meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah kendaraan bermotor. Pemanfaatan limbah ini tidak hanya dapat membantu mengurangi dampak pencemaran lingkungan, tetapi juga berpotensi meningkatkan performa teknis campuran aspal. Beberapa studi sebelumnya menunjukkan bahwa penambahan karet dari ban dalam ke dalam campuran aspal berpengaruh signifikan terhadap parameter Marshall, seperti stabilitas, flow, dan Marshall Quotient. Hasil pengujian dengan variasi kadar limbah karet memperlihatkan bahwa campuran yang dihasilkan masih sesuai dengan spesifikasi teknis yang ditetapkan oleh Bina Marga, yang mengindikasikan bahwa limbah tersebut layak digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton.

Di samping itu, pemanfaatan limbah ban dalam memberikan manfaat ekonomi dan ekologis. Dari sisi biaya, penggunaan limbah dapat menurunkan pengeluaran produksi aspal beton, sementara dari sisi lingkungan, hal ini membantu mengurangi volume limbah padat yang harus dikelola.

Penelitian lain bahkan mengeksplorasi kombinasi limbah ban

dalam dengan bahan limbah lainnya seperti plastik LDPE dan minyak sawit mentah (Crude Palm Oil/CPO) sebagai pengikat alternatif. Kombinasi ini tidak hanya mengoptimalkan pemanfaatan limbah padat, tetapi juga menghasilkan campuran aspal dengan karakteristik Marshall yang baik dan sesuai dengan standar minimum stabilitas.

Metode uji Marshall digunakan sebagai teknik utama untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal yang dimodifikasi dengan limbah ban dalam. Parameter-parameter seperti stabilitas, flow, Void in Mix (VIM), Void Filled with Bitumen (VFB), dan Marshall Quotient (MQ) menjadi indikator penting dalam menilai mutu dan ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas.

Hasil uji menunjukkan bahwa penambahan limbah ban dalam dalam kadar tertentu mampu meningkatkan stabilitas dan MQ campuran tanpa menyimpang dari batas spesifikasi teknis. Hal ini membuktikan bahwa limbah ban dalam berpotensi digunakan sebagai bahan aditif dalam campuran aspal tanpa mengurangi kualitasnya. Dengan demikian, penggunaan limbah ban dalam bekas kendaraan sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal beton tidak hanya menjawab tantangan pengelolaan limbah, tetapi juga mendorong inovasi teknologi perkerasan jalan yang lebih ramah lingkungan dan berkelanjutan.

Secara keseluruhan, penelitian terkait pengaruh ban dalam bekas kendaraan terhadap hasil uji Marshall campuran aspal beton sangat relevan dalam mendukung pembangunan infrastruktur yang efisien dan berwawasan lingkungan di Indonesia.

karakteristik campuran aspal. Metode pengujian mengikuti prosedur pengujian marshall, AASHTO, Bina Marga dan metode lain yang digunakan adalah pengujian durabilitas modifikasi, mengingat tidak ada dalam ketiga metode

2. Metode

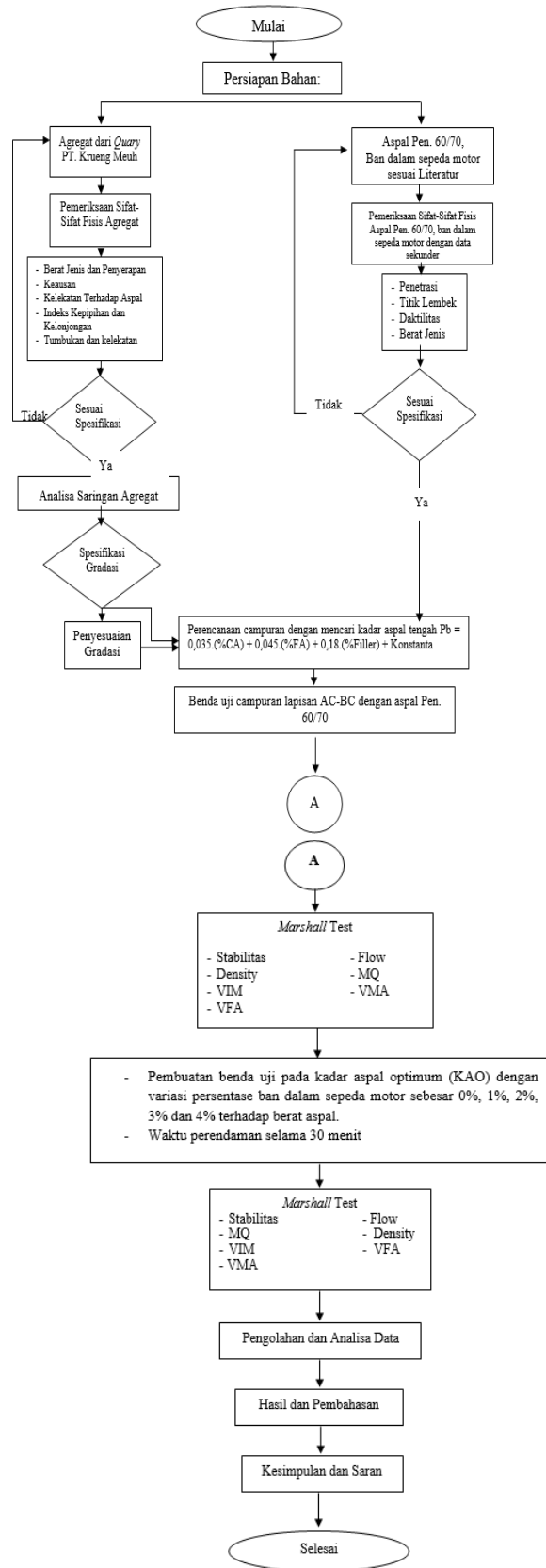
Bahan material yang digunakan berupa agregat yang berasal dari Quarry, serta aspal yang digunakan berupa aspal keras penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina dengan tambahan parutan limbah ban dalam sepeda motor untuk pengujian

tersebut. Adapun batasan-batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini akan dilakukan dengan membuat benda uji campuran aspal beton menggunakan aspal keras penetrasi 60/70. Campuran tersebut akan ditambahkan parutan limbah ban dalam sepeda motor dengan variasi kadar sebesar 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4% sebagai bahan substitusi pada campuran Laston Lapis Aus (AC-BC) yang kemudian akan direndam.

2. Gradasi agregat yang digunakan mengacu pada ketentuan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2014 untuk campuran aspal beton tipe AC-BC. Material utama yang digunakan dalam penelitian ini meliputi aspal keras penetrasi 60/70 produksi PT Pertamina, agregat dengan gradasi baik, serta parutan limbah ban dalam sepeda motor. Agregat diperoleh dari batu pecah hasil produksi pabrik pemecah batu milik PT. Krueng Meuh.

Nilai stabilitas dan flow dari benda uji akan dihitung menggunakan rumus tertentu untuk memperoleh parameter-parameter Marshall seperti density, VIM (Void in Mix), VMA (Void in Mineral Aggregate), VFA (Void Filled with Asphalt), dan Marshall Quotient. Selanjutnya, untuk mengetahui hubungan antara variasi kadar limbah ban terhadap parameter-parameter Marshall, akan digunakan analisis grafik regresi.



Gambar 1. Bagan Alir Rencana Penelitian

3. Hasil dan Pembahasan

• Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Data hasil uji laboratorium terhadap sifat-sifat fisik agregat batu pecah yang diperoleh dari mesin Stone Crusher milik PT. Krueng Meuh akan disajikan dalam bentuk tabel. Pengujian sifat fisik ini mencakup parameter seperti berat jenis, daya serap air, berat isi, tingkat keausan, kekerasan, indeks kepipihan, indeks kelongkangan, serta ketahanan terhadap tumbukan.

• Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Pengujian terhadap sifat-sifat fisik aspal dilakukan pada aspal keras dengan tingkat penetrasi 60/70 yang digunakan sebagai bahan dalam penelitian ini. Parameter yang diuji meliputi berat jenis, nilai penetrasi, daktilitas, dan titik lembek. Berdasarkan hasil pengujian, aspal tersebut memenuhi standar yang telah ditetapkan sehingga layak untuk digunakan dalam campuran aspal beton.

Tabel 1. Hasil Pemeriksaan Sifat-sifat Fisis Aspal Pen 60/70

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

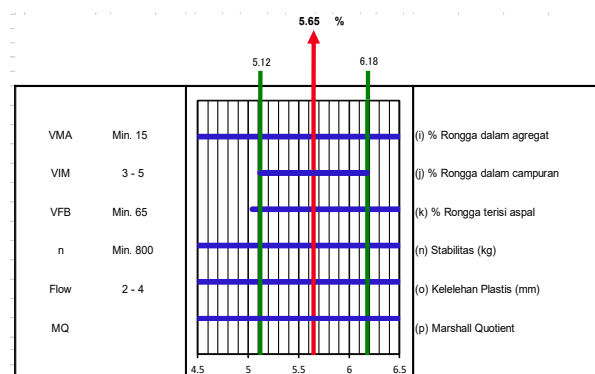
• Hasil Pemeriksaan Gradasi

Analisis gradasi agregat dilakukan melalui metode pengujian saringan. Berdasarkan hasil pemeriksaan, diketahui bahwa agregat yang diuji belum memenuhi spesifikasi gradasi yang dipersyaratkan untuk digunakan langsung dalam campuran. Oleh karena itu, diperlukan proses penyesuaian gradasi agar agregat tersebut dapat memenuhi standar spesifikasi teknis yang telah ditentukan.

• Hasil pengujian *Marshall* Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian Marshall dilakukan untuk memperoleh parameter-parameter seperti stabilitas, flow, density, VIM (Void in Mix), VFA (Void Filled with Asphalt), VMA (Void in Mineral Aggregate), dan Marshall Quotient. Pengujian dilakukan dengan variasi kadar aspal sebesar 4,5%, 5,0%, 5,5%, 6,0%, dan 6,5%. Berdasarkan analisis terhadap hasil pengujian tersebut, diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,65%, yang telah memenuhi persyaratan parameter Marshall untuk campuran aspal beton tipe AC-BC. Nilai KAO sebesar 5,65% ini kemudian digunakan sebagai dasar dalam pembuatan benda uji dengan berbagai variasi substitusi limbah ban dalam sepeda motor.

Hubungan antara kadar aspal dengan parameter Marshall divisualisasikan dalam grafik yang ditampilkan pada Gambar 2 berikut ini.



Gambar 2. Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

• Hasil Pelarutan Limbah Ban Dalam Sepeda Motor Dalam Aspal

ercobaan pelarutan limbah ban dalam sepeda motor ke dalam aspal penetrasi 60/70 menunjukkan bahwa material limbah yang lolos saringan No. 50 (ukuran 0,3 mm) dapat larut dan menyatu dengan aspal secara optimal pada suhu 165°C, dengan

waktu pelarutan selama 15 menit. Apabila pelarutan dilakukan terlalu lama atau pada suhu yang terlalu tinggi, fraksi minyak malten dalam aspal berpotensi menguap. Hal ini dapat menyebabkan peningkatan rasio aspalten (komponen padat dalam aspal), yang berdampak pada meningkatnya viskositas, sehingga aspal menjadi lebih keras, lebih getas, dan lebih kental.

- **Hasil pengujian Marshall pada Kadar Aspal Optimum Tanpa dan dengan Substitusi Limbah Ban Dalam Sepeda Motor pada Rendaman 30 Menit.**

Pengujian dan perhitungan parameter Marshall pada campuran aspal beton (AC-BC) dilakukan dengan dan tanpa substitusi limbah ban dalam sepeda motor, menggunakan kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,65%.

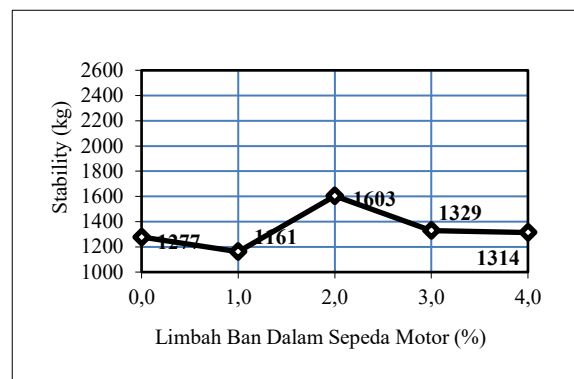
Berdasarkan hasil pengujian tersebut, diperoleh bahwa substitusi limbah ban sebesar 2% menghasilkan performa terbaik, dengan nilai stabilitas tertinggi mencapai 1603 kg dan nilai kelelehan (flow) sebesar 3,64 mm. Perbandingan hasil uji Marshall pada berbagai variasi kadar substitusi limbah ban disajikan dalam Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Perbandingan Persentase Variasi Limbah Ban Dalam Sepeda Motor yang Maksimum

No	Karakteristik Campuran	Kadar limbah ban pada KAO		%
		0%	2%	
1	Stabilitas (Kg)	1453	1603	10%
2	Flow (mm)	6.27	3.64	-42%
3	MQ (Kg/mm)	232.07	441.10	90%
4	Density (t/m ³)	2.31	2.30	0%
5	VIM (%)	4.46	4.91	10%
6	VMA (%)	15.16	15.56	3%
7	VFA (%)	70.55	68.56	-2%

- **Tinjauan Terhadap Nilai Stabilitas**

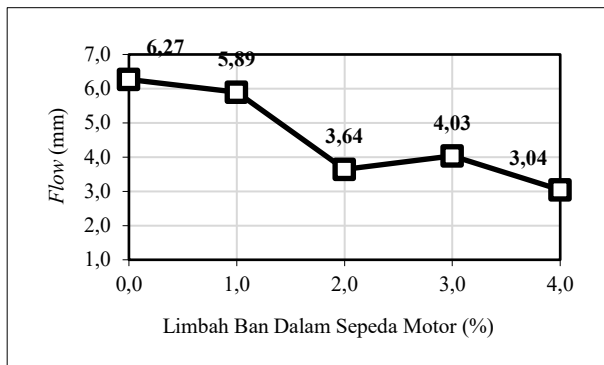
Hasil evaluasi terhadap nilai stabilitas campuran Laston AC-BC dengan aspal penetrasi 60/70 dan variasi kadar substitusi limbah ban dalam sepeda motor pada kadar aspal optimum (KAO) sebesar 5,65% menunjukkan adanya tren peningkatan nilai stabilitas seiring bertambahnya persentase limbah ban yang ditambahkan. Peningkatan ini dipengaruhi oleh karakteristik fisik aspal, suhu campuran, durasi perendaman dalam air, serta tingkat keasaman air. Visualisasi hubungan tersebut ditampilkan pada Gambar 3 di bawah ini.



Gambar 3. Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

- **Tinjauan Terhadap Nilai Kelelehan Plastis (flow)**

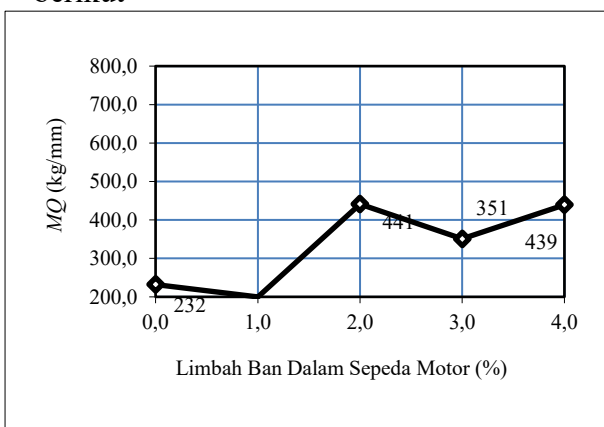
Nilai flow pada campuran Laston Lapis Aus (AC-BC) dengan variasi persentase limbah ban dalam sepeda motor sebagai bahan substitusi aspal menggambarkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapisan perkerasan saat menerima beban. Flow yang terlalu rendah mengindikasikan campuran yang terlalu kaku, sehingga lapisan perkerasan cenderung mudah mengalami retak. Sebaliknya, nilai flow yang terlalu tinggi menunjukkan tingkat plastisitas yang berlebihan, yang dapat menyebabkan deformasi permanen seperti gelombang atau alur pada permukaan perkerasan. Hubungan tersebut ditampilkan secara grafis pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Nilai Flow Terhadap Persentase Limbah Ban

• Tinjauan Terhadap Nilai *Marshall Quotient* (MQ)

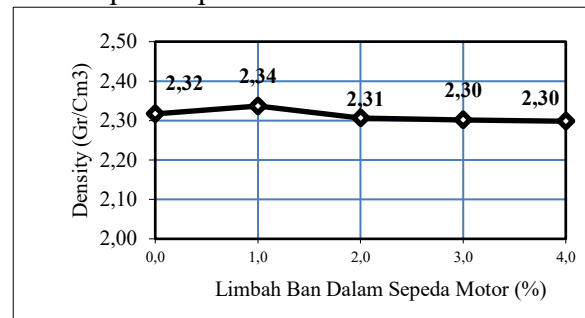
Marshall Quotient pada campuran Laston Lapis Aus (AC-BC) dengan dan tanpa substitusi limbah ban dalam sepeda motor menunjukkan rasio antara nilai stabilitas terhadap nilai flow. Semakin tinggi nilai Marshall Quotient, maka campuran menunjukkan karakteristik yang lebih kaku. Sebaliknya, semakin rendah nilai tersebut, maka campuran bersifat lebih lentur. Nilai ini mencerminkan keseimbangan antara kekuatan dan kemampuan deformasi campuran, sebagaimana ditampilkan pada Gambar 5 berikut



Gambar 5. Grafik Pengaruh Marshall Quotient Terhadap Persentase Limbah Ban

• Tinjauan Terhadap Nilai Kepadatan (density)

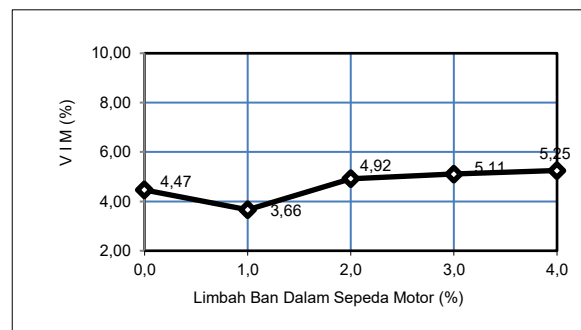
Kepadatan (density) merupakan rasio antara berat kering benda uji terhadap volumenya. Nilai density pada campuran Laston Lapis Aus (AC-BC) dengan berbagai variasi persentase substitusi limbah ban dalam sepeda motor ditampilkan pada Gambar 6 berikut.



Gambar 6. Grafik Pengaruh Nilai Kepadatan Terhadap Persentase Limbah Ban

• Tinjauan Terhadap Nilai Voids In 67890Mix (VIM)

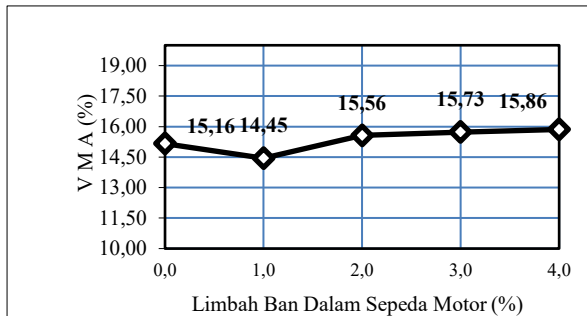
VIM (Void in Mix) menunjukkan persentase rongga udara yang terdapat dalam campuran aspal, yang dinyatakan dalam satuan persen. Besarnya nilai VIM dipengaruhi oleh kemampuan aspal dalam mengisi rongga antar agregat; semakin kecil nilai VIM, semakin efektif aspal mengisi ruang kosong dalam campuran. Nilai VIM pada campuran Laston AC-BC tanpa dan dengan variasi kadar substitusi limbah ban dalam sepeda motor ditampilkan pada Gambar 7 berikut.



Gambar 7. Grafik Pengaruh Nilai VIM Terhadap Persentase Limbah Ban

• Tinjauan Terhadap Nilai *Void in Mineral Agregat* (VMA)

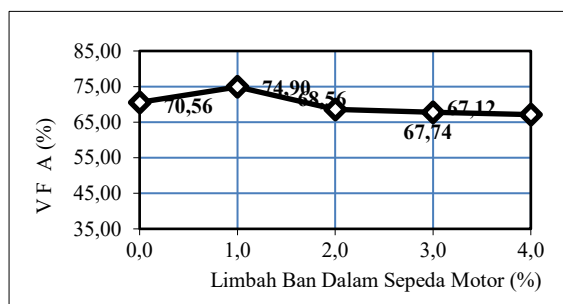
Nilai VMA pada campuran dengan dan tanpa substitusi limbah ban dalam sepeda motor dengan variasi lama waktu rendaman seperti yang diperlihatkan pada Gambar 8 berikut ini:



Gambar 8. Grafik Pengaruh Nilai VMA Terhadap Persentase Limbah Ban

• Tinjauan Terhadap Nilai *Void Filled with Asphalt* (VFA)

Nilai VFA (Void Filled with Asphalt) memiliki peranan penting dalam menentukan tingkat keawetan campuran beton aspal. Semakin tinggi nilai VFA, maka semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal, sehingga nilai VIM cenderung menurun. Kondisi ini menunjukkan bahwa agregat dalam campuran dilapisi aspal secara optimal, yang berkontribusi terhadap daya tahan campuran. Sebaliknya, jika nilai VFA rendah, maka jumlah rongga yang terisi aspal sedikit, lapisan aspal pada agregat menjadi sangat tipis. Nilai VFA pada campuran Laston Lapis Aus (AC-BC) ditampilkan pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9 Grafik Pengaruh Nilai VFA Terhadap Persentase Limbah Ban

4. Simpulan dan Saran

• Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis karakteristik campuran AC-BC dengan variasi substitusi limbah ban dalam sepeda motor, dapat disimpulkan hal-hal berikut:

1. Evaluasi terhadap parameter Marshall pada campuran AC-BC dengan kadar aspal optimum sebesar 5,65% menunjukkan bahwa nilai Stabilitas, Marshall Quotient (MQ), Void in Mix (VIM), dan Void in Mineral Aggregate (VMA) mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya persentase limbah ban dalam.
2. Substitusi limbah ban dalam sepeda motor berpengaruh signifikan terhadap nilai stabilitas campuran. Persentase substitusi optimal diperoleh pada 2%, karena pada kadar ini seluruh parameter Marshall terpenuhi dan menghasilkan peningkatan stabilitas yang paling menonjol

• Saran

1. Dalam penelitian ini, pencampuran limbah ban dalam dengan aspal dilakukan menggunakan metode kering, dengan ukuran partikel minimum 0,30 mm (lolos saringan No.50), dan suhu pencampuran sebesar 165°C. Untuk penelitian mendatang, disarankan menggunakan partikel limbah berukuran lebih kecil
2. Disarankan pula agar penelitian selanjutnya mengeksplorasi jenis limbah ban dalam yang berbeda atau berasal dari sumber limbah lain yang berpotensi memberikan pengaruh lebih besar terhadap stabilitas campuran, khususnya pada kondisi suhu rendah.

Daftar Pustaka

- Abdel-Jaber, M., Al-Shamayleh, R., Ibrahim, R., Alkhrissat, T., & Alqatamin, A. (2022). Mechanical properties evaluation of asphalt mixtures with variable contents of reclaimed asphalt pavement (RAP). *Results in Engineering*. <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2022.100463>
- Ali, S., & Ismael, M. (2021). Improvement Of Marshall Properties For Hot Mix Asphalt By Using Ceramic Fiber. *Kufa Journal of Engineering*. <https://doi.org/10.30572/2018/kje/120104>
- Bastidas-Martínez, J., & Rondón-Quintana, H. (2024). Assessment of asphalt binder content, temperature and loading rate in indirect tensile strength and resilient modulus tests of a hot-mix asphalt – Comparison with Marshall design method. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2024.136158>
- Boarie, A., Abdelsalam, M., Gamal, A., & Rabah, M. (2024). Laboratory and Environmental Assessment of Asphalt Mixture Modified with a Compound of Reclaimed Asphalt Pavement and Waste Polyethylene. *Buildings*. <https://doi.org/10.3390/buildings14051186>
- Eisa, M., Basiouny, M., & Daloob, M. (2020). Effect of adding glass fiber on the properties of asphalt mix. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 14, 403–409. <https://doi.org/10.1007/s42947-020-0072-6>
- Fahmi, A. K. A., Qomariah, & Yunaefi. (2021). Karkteristik Campuran Beton Aspal (Ac-Wc) Dengan Menggunakan Variasi Kadar Filler Limbah Abu Terbang Batubara. *Jurnal JOS-MRK*. <https://doi.org/10.55404/jos-mrk.2021.02.01.51-57>
- Jitsangiam, P., Nusit, K., Teeratitayangkul, P., Ong, G. P., & Thienchai, C. (2023). Development of a modified Marshall mix design for Hot-mix asphalt concrete mixed with recycled plastic based on dry mixing processes. *Construction and Building Materials*. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.133127>
- Limbong, R. H., Hadiwardoyo, S., Sumabrata, R., & Ariyapijati, R. (2017). Influence of Void in Mix on Rutting Performance Hot Mix Asphalt Pavement with Crumb Rubber Additive. *Key Engineering Materials*, 753, 321–325. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/KEM.753.321>
- Mulyadi, A., Asrullah, A., Anggrainy, R., Irawan, I., & Rizal, C. (2023). Characteristics the Marshall Test Subsitution of Polypropylene Plastic Pellets as Filler in Mixture Asphalt Concrete Binder Course (AC BC). *International Journal of Islamic Education, Research and Multiculturalism (IJIERM)*. <https://doi.org/10.47006/ijierm.v5i2.234>
- Naser, M., Abdel-Jaber, M., Al-Shamayleh, R., Louzi, N., & Ibrahim, R. (2022). Evaluating the effects of using reclaimed asphalt pavement and recycled concrete aggregate on the behavior of hot mix asphalts. *Transportation Engineering*.

<https://doi.org/10.1016/j.treng.2022.100140>

Obaid, A. W., Al-Dahawi, A., Kawther, K. K., & Abduljabbar, A. S. (2024). Self-sensing behavior of hot asphalt mixture with steel fiber-based additive. *Open Engineering*, 14. <https://doi.org/10.1515/eng-2022-0603>

Ogundipe, O., Aboloye, O., & Fatuase, S. (2020). *Evaluation of the Properties of Asphalt Concrete Modified with Crumb Rubber Using Marshall Test*. 469–478. https://doi.org/10.1007/978-3-030-48679-2_44

Refiyanni, M., Opirina, L., Ikhsan, M., Azwanda, A., Satria, A., & Tripoli, B. (2024). Kajian Optimasi Kombinasi Ldpe, Cpo, Ban Dalam Sebagai Pengikat Terhadap Campuran Ac-Wc. *Jurnal Teknik Sipil Dan Teknologi Konstruksi*. <https://doi.org/10.35308/jts-utu.v10i1.9847>

Vamsikrishna, G., & Singh, D. (2023). Exploring potential of Marshall-RT as simple performance test to evaluate rutting resistance of asphalt mixtures. *International Journal of Pavement Engineering*, 24. <https://doi.org/10.1080/10298436.2023.2265030>

Widari, L. A., Muthmainnah, M., Desmi, A., Malasyi, S., & Utami, P. (2024). Pemanfaatan Penambahan Limbah Inner-Tube Rubber dan Penggunaan Abu Cangkang Kemiri Sebagai Substitusi Filler pada Campuran AC-WC. *Jurnal Teknik Mesin, Industri, Elektro Dan Informatika*. <https://doi.org/10.55606/jtmei.v3i3.4189>