

PENGARUH KINERJA PENAMBAHAN BAN BEKAS SEBAGAI CAMPURAN ASPAL

Rohma Komalawati¹⁾, Anita Intan Nura Diana^{2,}*
E-mail : rohmamala@gmail.com¹⁾, anita@wiraraja.ac.id^{2,*}

^{1,2} Program Studi Teknik Sipil Universitas Wiraraja

ABSTRAK

Jumlah limbah ban bekas terus meningkat seiring dengan bertambah jumlah kendaraan di Indonesia. Masalah ini semakin besar limbah karet ban bekas ini mencemari lingkungan sekitar dan tidak mudah terurai jika dibiarkan begitu saja tanpa penanganan khusus. Banyak penelitian yang sudah dilakukan terhadap aspal untuk mendapatkan viskositas yang baik dan daya tahan lama serta pemanfaatan limbah serta mengurangi pencemaran lingkungan. Tujuan dari dilakukannya penelitian ini adalah mengetahui pengaruh kinerja penambahan ban bekas sebagai campuran aspal. Jenis penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah eksperimen, yaitu pengambilan data diambil dari metode percobaan di laboratorium. Pada penelitian ini peneliti menggunakan ban bekas sebagai campuran aspal variasi 2,5%, 2%, 10% sedangkan untuk kadar aspal menggunakan 5%. Setiap campuran proporsi dibuat sebanyak 3 sampel sehingga total keseluruhan sampel yang dipakai yaitu 9 sampel. Pengumpulan data terdiri data sekunder dan data primer. Teknik analisis berupa kepadatan (*density*), VIM, VMA, VFA pelelehan (*flow*), dan *amaMQ* (*Marshall Quotient*). Dari pengujian bulk density, dan stabilitas dan flow diperoleh nilai tertinggi pada variasi 10% sedangkan pada variasi 0%, 1,5%, dan 2% memiliki nilai lebih rendah dari pengujian VIM, VMA, dan MQ diperoleh nilai tertinggi pada variasi 2% dan 10%. Dari pengujian VFA diperoleh nilai tertinggi pada variasi 0%.

Kata kunci: Limbah Ban Bekas, Aspal, Pengujian Marshall

ABSTRACT

*The amount of used tire waste continues to increase along with the increasing number of vehicles in Indonesia. This problem is getting bigger as used tire rubber waste pollutes the surrounding environment and is not easily decomposed if left alone without special handling. A lot of research has been done on asphalt to get good viscosity and durability as well as waste utilization and reduce environmental pollution. The purpose of this research is to determine the performance effect of adding used tires as an asphalt mixture. The type of research used in this research is experimental, namely data collection is taken from experimental methods in the laboratory. In this study researchers used used tires as an asphalt mixture with levels of 2.5%, 2%, 10% while for asphalt content using 5%. Each proportion mixture was made as many as 3 samples so that the total number of samples used was 9 samples. Data collection consists of secondary data and primary data. Analytical techniques in the form of density, VIM, VMA, VFA melting (flow), and *amaMQ* (Marshall Quotient). From the bulk density, stability and flow tests, the highest value was obtained at a variation of 10%, while at levels of 0%, 1.5%, and 2% the values were lower than the VIM, VMA, and MQ tests, the highest values were obtained at variations of 2% and 10%. From the VFA test, the highest value was obtained at a content of 0%.*

Keywords: Used Tire Waste, Asphalt, Marshall Testing

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan ekonomi yang cepat dan konsumsi yang terus meningkat, sejumlah besar bahan limbah dihasilkan. Salah satu infrastruktur yang dapat menopang keberlanjutan pertumbuhan ekonomi adalah jalan. Jalan merupakan prasarana transportasi yang paling banyak digunakan oleh masyarakat Indonesia untuk melakukan mobilitas keseharian sehingga volume kendaraan yang melewati suatu ruas jalan mempengaruhi kapasitas dan kemampuan dukungnya (BPJN Riau Direktorat Jenderal Bina Marga, 2022). Salah satu material penyusun jalan yang banyak digunakan dalam konstruksi perkerasan jalan dan untuk memenuhi tuntutan lalu lintas modern adalah aspal.

Saat ini masalah energi dan lingkungan semakin mendapat perhatian, sehingga penggunaan material daur ulang dan limbah dalam rekayasa jalan raya semakin meningkat, dan mengarah pada hasil positif. Contoh bahan modifikasi aspal yang pernah dimanfaatkan yaitu limbah kaca, limbah plastik dan limbah ban (Yousefi, Behnood, Nowruzi, & Haghshenas, 2021); (Yousefi, Sobhi, Aliha, Pirmohammad, & Haghshenas, 2021); (Arabani, Nazar, & Hamed, 2021). Pemanfaatan kembali karet dan plastik ban bekas dalam aspal modifikasi berpotensi meningkatkan keberlanjutan dan daya tahan perkerasan aspal.

Modifikasi aspal kering memiliki manfaat signifikan dalam hal kemudahan produksi dan konstruksi, sementara sifat mekanisnya sangat ditentukan oleh proses modifikasi. Beberapa penelitian tentang aspal modifikasi yang telah banyak dilakukan antara lain pemanfaatan kembali karet dan ban bekas menjadi aspal dengan proses kering: mekanisme modifikasi dan sifat mekanik, penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data melalui uji percobaan di laboratorium. Adapun beberapa uji yang dilakukan yaitu stabilitas dinamis, regangan tarik lentur maksimum, dan rasio kekuatan belah beku-cair. Hasil uji menunjukkan pengubah karet-plastik berperan sebagai pengikat dan pengisi partikel dalam aspal modifikasi, sehingga meningkatkan daya tahan dan adhesi. Efek sinergis karet dan plastik terbukti meningkatkan sifat mekanis aspal, di mana partikel karet berkontribusi pada kinerja suhu tinggi yang lebih baik, sementara pengubah plastik meningkatkan kinerja suhu rendah dan stabilitas air (Li, et al., 2025).

Penelitian lain yang pernah dilakukan yaitu pengaruh penambahan limbah ban bekas terhadap parameter marshall beton aspal AC-BC. Metode pengumpulan data yang digunakan adalah eksperimen di laboratorium. Variasi limbah ban bekas yang digunakan yaitu 0%, 1%, 2%, 3%, dan 4%. Pengujian yang dilakukan antara lain pengujian marshall dengan parameter uji seperti stabilitas, flow, VIM (Void in Mix), VMA (Void in Mineral Aggregate), VFB (Void Filled with Bitumen), dan kepadatan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah ban bekas mempengaruhi beberapa parameter di antara nilai stabilitas meningkat, Flow dan VMA cenderung meningkat, sementara VIM dan VFB menunjukkan variasi tergantung pada konsentrasi yang digunakan (Aula, Miswar, & Ibrahim, 2024). Penelitian lain yang pernah dilakukan yaitu pengaruh kinerja penambahan karet ban bekas sebagai substitusi pengganti campuran beraspal daur ulang pada lapis permukaan atas. Metode pengumpulan data yang digunakan yaitu percobaan di laboratorium.

Adapun beberapa percobaan yang dilakukan antara lain kadar aspal, berat volume, stabilitas, flow, VIM, VMA, penyerapan aspal, tebal aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa komposisi penambahan serbuk karet ban bekas dalam campuran daur ulang secara keseluruhan telah memenuhi syarat yang ditetapkan untuk campuran laston AC-WC dengan persentase nilai maksimum sebesar 10% dengan nilai stabilitas sebesar 4657,3 Kg, nilai flow sebesar 3,32 mm, marshall quotient sebesar 1402,8 kg/mm, dan density sebesar 2,3 gr/cm³ ditinjau dari hasil *Marshall Test* (Prabudi & Kosim, 2015). Berdasarkan latar belakang dan beberapa penelitian terdahulu, sehingga perlu adanya keberlanjutan penelitian tentang pemanfaatan ban bekas sebagai campuran aspal. Variasi aspal yang akan diteliti yaitu 1.5%, 2% dan 10%. Karena dari beberapa penelitian sebelumnya, pemanfaat ban bekas hanya pada persentase 4%.

2. KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pengertian jalan

Jalan raya adalah jalur-jalur tanah di atas permukaan bumi yang dibuat oleh manusia dengan bentuk, ukuran-ukuran dan jenis konstruksinya, sehingga dapat digunakan untuk menyalurkan lalu lintas orang, hewan dan kendaraan yang mengangkut barang dari suatu tempat ke tempat lain dengan mudah dan cepat. Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi seluruh bagian jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di atas permukaan air serta di bawah permukaan tanah dan atau air, kecuali jalan kereta api dan jalan kabel (Manuputty, Matitaputty, & Paulus, 2022).

2.2 Aspal

Aspal atau bitumen yaitu material berwarna hitam atau coklat tua. Pada temperature ruang yang berbentuk padat sampai dengan agak padat, apabila dipanaskan sampai temperatur tertentu dapat menjadi lunak/cair maka dari itu dapat membungkus partikel agregat pada waktu pembuatan campuran aspal beton atau dapat masuk kedalam pori-pori yang ada pada saat penyeprotan/penyiraman pada perkerasan jalan.

2.3 Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat kasar serta kemampuannya menyerap air. Untuk melakukannya agregat dalam keadaan kering curah, kering curah (jenuh kering permukaan), kering semu. Yang telah tertera di SNI-1969-2016.

1. Berat Jenis Curah Kering

$$\text{Berat jenis curah kering} = \frac{A}{(B-C)} \quad (1)$$

2. Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)

$$\text{Berat jenis curah (jenuh kering permukaan)} = \frac{B}{(B-C)} \quad (2)$$

3. Berat jenis semu

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{A}{(A-C)} \quad (3)$$

4. Penyerapan air

$$\text{Penyerapan air} = \left[\frac{B-A}{A} \right] \times 100\% \quad (4)$$

Keterangan :

A : Berat Benda Uji Kering Oven (gram)

B : Berat Benda Uji Kondisi Jenuh Kering Permukaan Diudara (gram)

C : Berat Benda Uji Dalam Air

2.4 Berat jenis dan penyerapan agregat halus

Pemeriksaan ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis agregat halus serta kemampuan menyerap air. Untuk melakukannya agregat dalam keadaan kering curah, kering curah (jenuh kering permukaan), kering semu. Yang telah tertera di Standar Nasional Indonesia 1970:2016 (Badan Standardisasi Nasional, 2016).

1. Berat jenis curah kering

$$\text{Berat jenis curah kering (Sd)} = \frac{A}{(B+S-C)} \quad (5)$$

2. Berat jenis curah (kondisi jenuh kering permukaan)

$$\text{Berat jenis curah (Ss)} = \frac{S}{(B+S-C)} \quad (6)$$

3. Berat jenis semu

$$\text{Berat jenis semu (Sa)} = \frac{A}{(B+A-C)} \quad (7)$$

4. Penyerapan air

$$\text{Penyerapan air (Sw)} = \left[\frac{S-A}{S} \right] \times 100\% \quad (8)$$

Keterangan :

A : Berat benda uji kering oven (gram)

B : Berat pikrometer yang berisi air (gram)

C : Berat pikrometer dengan benda uji dan air sampai batas pembacaan (gram)

S : Berat benda uji kondisi jenuh kering permukaan (gram)

2.5 Limbah ban bekas kendaraan bermotor

Ban terdiri dari karet padat atau polimer ditambah dengan serat sintentis dan baja. Ban bekas memiliki sifat unik seperti memiliki kekuatan tarik yang tinggi, fleksibilitas dan sifat resistensi geseran yang tinggi. Penggunaan ban bekas merupakan salah satu limbah bahan industri yang dapat digunakan sebagai zat adiktif campuran aspal (Putri, Yosritzal, Agusyaini, & Budiawan, 2022). Karet ban memiliki kandungan karet alam 44.32%, campuran butadiene 15,24%, minyak aromatic 1,8%, unsur

karbon hitam 30,47%, stearic acid 1,07%, antioksidan 0,83%, dan sulfur 1,4% (Balaguru, Mohan, & Sathiyagnanam, 2011); (Xiao, Pramanik, Basak, Prakash, & Shankar, 2022); (Alfayez, Suleiman, & Nehdi, 2020).

2.6 Metode pengujian nilai marshaal

Sesudah semua benda uji dibuat maka tahapan selanjutnya yaitu melakukan pengujian supaya dapat memperoleh hasil yang diinginkan dengan alat yang bernama Marshall Test. Metode marshall ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari suatu perkerasan lentur. Menurut Badan Standarisasi Nasional (2018) metode pengujian campuran aspal dengan alat Marshall dimaksudkan sebagai acuan dan pegangan dalam pelaksanaan pengujian campuran aspal dengan alat Marshall. Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan suatu campuran aspal yang memenuhi ketentuan-ketentuan yang telah ditetapkan di dalam kriteria perencanaan.

Parameter Pengujian Marshall Sifat-sifat campuran beraspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian marshall antara lain: `

- a. Stabilitas
- b. Kelelehan (*Flow*)
- c. *Marshall Quotient*
- d. Rongga terisi aspal / *Void Filled with Asphalt* (VFA)
- e. Rongga antar agregat / *Void in Mineral Aggregate* (VMA)
- f. Rongga udara di dalam campuran / *Voids In Mix* (VIM)
- g. *Bulk density*

Menurut (Sukirman, 2006) apabila uji Marshall telah di laksanakan maka akan dilanjutkan dengan perhitungan sebagai berikut :

1. Berat Jenis Bulk Beton Aspal Padat (G_{mb})

G_{mb} dinyatakan dengan rumus di bawah ini :

$$G_{mb} = \frac{B_k}{B_{ssd} - B_a} \quad (9)$$

Keterangan :

- G_{mb} : Berat jenis bulk dari beton aspal padat
 B_k : Berat kering beton aspal padat, gram
 B_{ssd} : Berat kering permukaan dari beton aspal padat, gram
 B_a : Berat beton aspal padat di dalam air, gram
 $B_{ssd} - B_a$: Volume bulk beton aspal padat, jika berat jenis air diasumsikan 1

2. Berat Jenis Maksimum Beton Aspal Sebelum Dipadatkan (G_{mm})

G_{mm} yaitu berat jenis campuran aspal beton tanpa adanya pori/udara yang didapatkan dari hasil pemeriksaan di laboratorium. G_{mm} dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) menggunakan rumus sebagai berikut:

$$G_{mm} = \frac{100}{\frac{P_a}{G_{se}} + \frac{P_a}{G_a}} \quad (10)$$

Keterangan :

- P_s : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)
 P_a : Kadar aspal terhadap berat aspal beton padat (%)
 G_{se} : Berat jenis efektif agregat (gr/cc)
 G_a : Berat jenis aspla (gr/cc)

3. Density (Kepadatan)

Density yaitu tingkat kerapatan campuran setelah campuran pada benda uji di dapatkan. Nilai density (kepadatan) dapat dihitung menggunakan rumus dibawah :

$$G = \frac{C}{F} \quad (11)$$

Keterangan :

- G : Nilai kepadatan (gr/cc)
 c : Berat kering / sebelum direndam (gr)
 d : Berat benda uji jenuh air (gr)
 e : Berat benda uji dalam air (gr)
 f : Volume benda uji (d-e) (cc)
4. Volume Rongga Agregat Dalam Benda Uji (VMA)

VMA yaitu ruang rongga diantara partikel agregat pada suatu pekersan, yang termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). Jika komposisi campuran ditetapkan dengan persen berat dari campuran total, maka VMA dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$VMA = (100 - \frac{Gmb \times Ps}{Gsb}) 100\% \quad (12)$$

Keterangan :

VMA : Rongga udara pada material agregat, persentase dari volume total (%)

Gsb : Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

Ps : Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran (%)

Gmb : Berat jenis bulk agregat (gr/cc)

Apabila komposisi campuran ditentukan sebagai persen berat agregat, maka VMA dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{100 + Pb} 100\% \quad (13)$$

Keterangan :

Pb : Aspal, persen berat agregat

Gmb : Berat jenis curah campuran padat

Gsb : Berat jenis curah agregat

5. Volume Rongga Benda Uji (VIM)

Volume yaitu rongga kosong yang tersisa setelah campuran aspal beton dipadatkan. Rongga udara dalam campuran beraspal terdiri dari atas ruang udara diantara partikel agregat yang diselimuti aspal.

Volume rongga udara dalam campuran dapat ditentukan dengan rumus berikut :

$$VIM = 100 \times \frac{Gmm \times Gmb}{Gmm} \% \text{ volume bulk beton aspal padat} \quad (14)$$

Keterangan :

VIM : Rongga udara dalam beton aspal padat, persen dari volume bulk beton aspal padat (%)

Gmm : Berat jenis maksimum campuran (gr/cc)

Gmb : Berat jenis campuran setelah pemadatan (gr/cc)

6. Volume Rongga Yang Terisi Oleh Aspal (VFA)

VFA yaitu persentase rongga yang terdapat diantara partikel agregat (VMA) yang terisi aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai VMA dihitung dengan rumus berikut :

$$VFA = \frac{100 - (VMA \times VIM)}{VMA} \quad (15)$$

Keterangan :

VFA : Volume rongga antar butir agregat yang terisi aspal % dari VMA

VMA : Rongga dalam agregat mineral (persen volume curah)

VIM : Rongga udara dalam campuran padat, persen dari total volume

7. Kelelehan (Flow)

Flow yaitu besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat yang terjadi karena adanya beban sampai batas keruntuhan. Tingkat kelelehan pada campuran yang apabila diuji dalam keadaan suhu ekstrim yakni 60°C. Kelelehan (flow) ini dapat dihitung/dibaca pada arloji pengukur kelelehan.

8. Stabilitas (Stability)

Stabilitas yaitu kemampuan campuran beraspal untuk menahan deformasi yang diakibatkan oleh beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas diperoleh sesuai dengan nilai masing-masing yang ditunjukkan pada jarum dial perlu di konversika ke alat Marshall. Stabilitas dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$S = p \times q \quad (16)$$

Keterangan :

S : Nilai stabilitas (kg)

p : Kalibrasi

q : Pembacaan dial Marshall

9. Marshall Quotient (MQ)

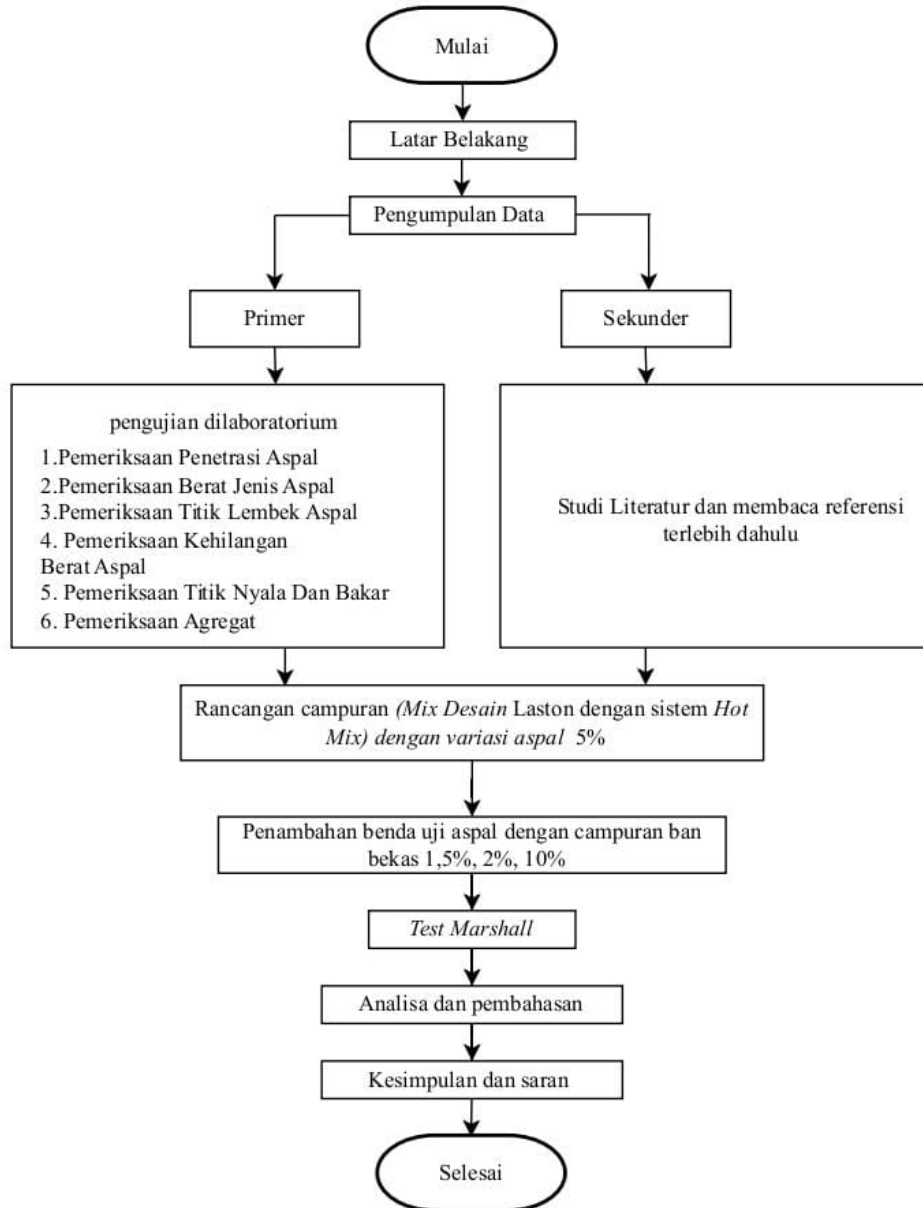
Marshall Quotient adalah hasil pembagian dari stabilitas dengan kelelehan. Pada nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal sangat kaku dan semakin rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Sehingga rendahnya nilai MQ dapat mengakibatkan alur dan bleeding. Rumus yang di pakai untuk menentukan Marshall Quotient sebagai berikut :

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{flow}} \quad (17)$$

Keterangan :

MQ : *Marshall Quotient* (kg/mm)

3. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Prosedur penelitian

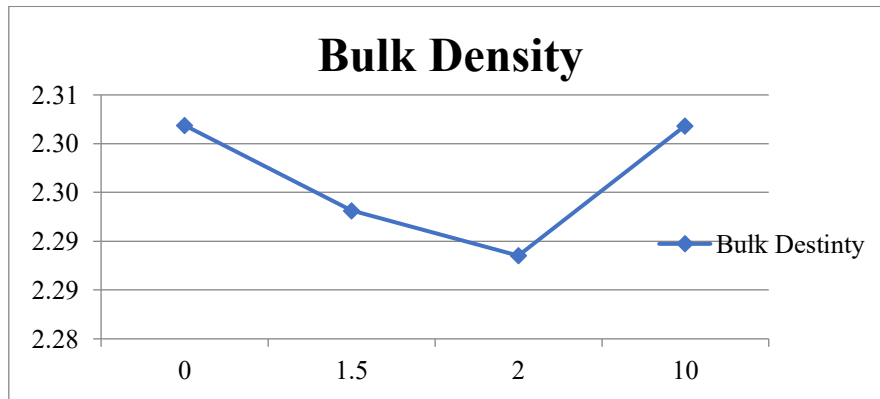
Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimen, yaitu dengan melakukan uji coba untuk mendapatkan data. Percobaan dilakukan di Laboratorium Teknik Sipil, Universitas Wiraraja untuk pengambilan data primer mengenai kualitas bahan aspal dan untuk memeriksa agregat yang digunakan dalam uji campuran.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dari hasil nilai pengujian karakteristik *Marshall* untuk nilai Berat isi (*Bulk Density*), Stabilitas (*Stability*), Kelelahan (*Flow*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*VIM*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*VFA*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), dan *Marshall Quotient (MQ)* untuk campuran aspal normal serta yang menggunakan ban bekas dengan variasi 0%, 1,5%, 2%, dan 10% dapat dilihat perbandingannya seperti pada gambar berikut.

a. Berat isi (*bulk density*)

Hasil nilai *bulk density* pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2% dan 10% dapat dilihat pada Gambar 2.

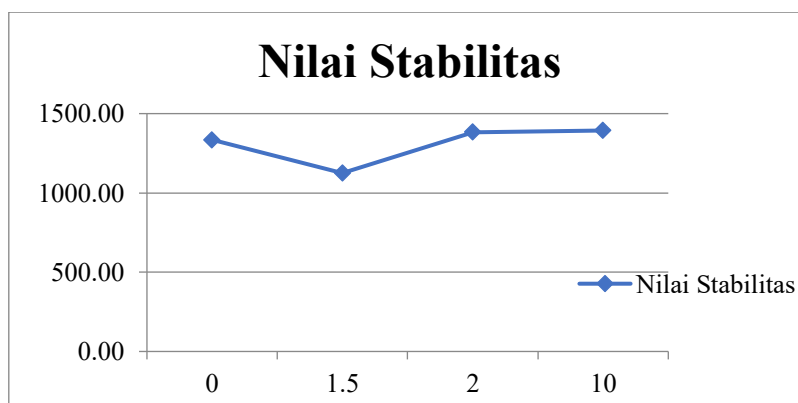


Gambar 2. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan *bulk density* (gr/cc)

Berdasarkan Gambar 2 Nilai *bulk density*. Nilai tertinggi ada pada campuran normal dan 10% pada campuran normal nilainya yaitu sebesar 2,30 gg/cc, kemudian turun 1 gg/cc pada campuran 1,5% dan 2% dengan nilai 2,29 gg/cc dan naik lagi 1 gg/cc pada campuran 10% sebesar 2,30. Naik dan turunnya nilai bulk density mungkin bisa disebabkan kesalahan timbangan, atau kurangnya ketelitian saat penimbangan.

b. Stabilitas (*Stability*)

Hasil nilai Stabilitas (*Stability*) pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2% dan 10% dapat dilihat pada Gambar 3.



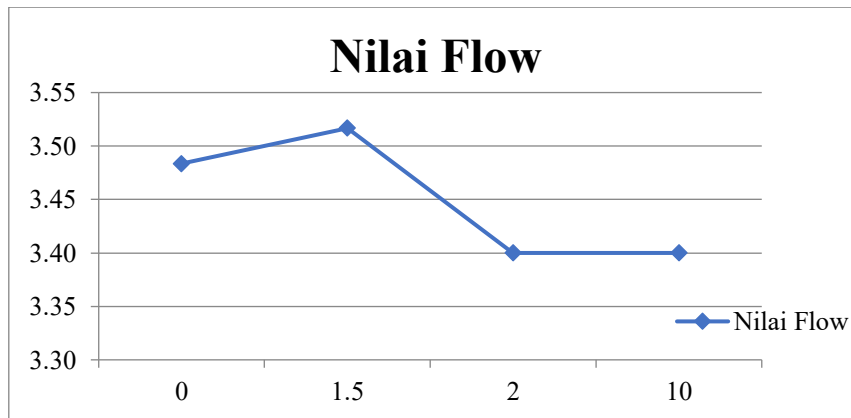
Gambar 3. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan stabilitas (kg)

Berdasarkan Gambar 3 diatas menunjukkan bahwa penambahan limbah ban bekas berpengaruh terhadap stabilitas aspal. Stabilitas aspal dengan campuran limbah ban bekas lebih tinggi daripada aspal murni. Stabilitas tertinggi dari aspal campuran limbah ban bekas sebesar 1393 kg variasi 10% dan aspal murni sebesar 1333 kg. Hasil tersebut sudah masuk dalam spesifikasi bina marga 2018 yang mempunyai syarat stabilitas minimal 1000 kg. Dari hasil diatas dapat disimpulkan bahwa semakin

besar kadar tambah ban bekas semakin tinggi stabilitas aspal. Naik dan turunnya nilai stabilitas disebabkan karena kurangnya pengadukan yang kurang merata pada saat pemanasan benda uji.

c. Kelelahan (*Flow*)

Hasil nilai *flow* pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2% dan 10% dapat dilihat pada Gambar 4.

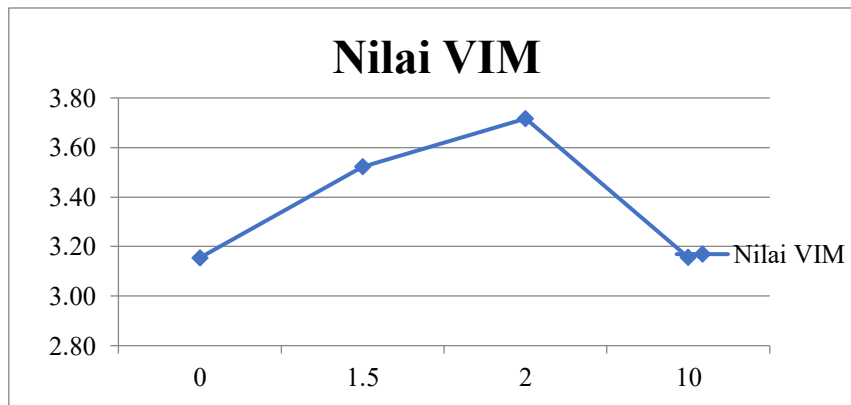


Gambar 4. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan flow (mm)

Berdasarkan Gambar 4 nilai flow. Nilai tertinggi ada pada campuran 1,5% pada campuran ini nilainya yaitu sebesar 3,52mm, pada campuran normal yaitu nilainya 3,48, kemudian naik 0,04 mm dengan nilai 3,52 dan turun lagi 12 mm dengan nilai 3,40 pada variasi 10%. Naik dan turunnya nilai flow disebabkan karena kurangnya pengadukan yang kurang merata pada saat pemanasan benda uji.

d. VIM (*Void In Mix*)

Hasil nilai VIM pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas variasi 1,5%, 2%, 10% dapat dilihat pada Gambar 5.

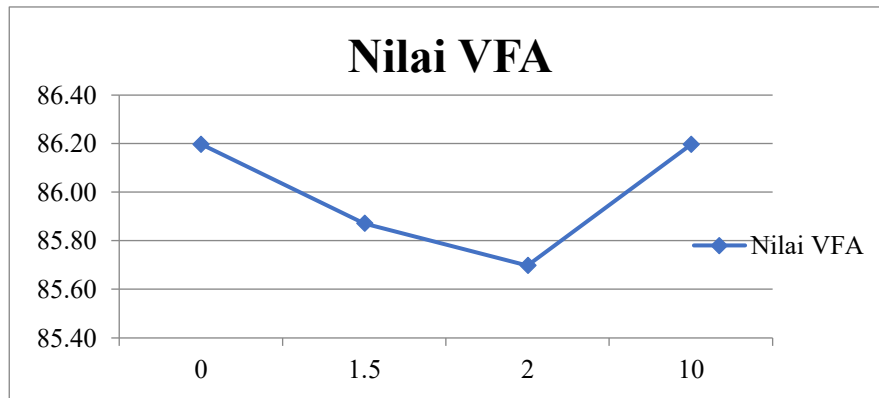


Gambar 5. Grafik Antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan air voids (%)

Berdasarkan Gambar 5. dapat dilihat bahwa nilai *Air Voids* bahwa nilai tertinggi ada pada variasi 2%. Pada variasi normal nilainya 3,15 kemudian naik sebesar 0,37 pada variasi 1,5 dengan nilai 3,52 kemudian naik lagi sebesar 0,2 pda variasi 2% dengan nilai 3,72, dan mengalami penurunan sebesar 0,56 pada variasi 10% dengan nilai 3,16. Naik turunnya pada nilai VIM disebabkan karena kurangnya ketelitian dalam menghitung campuran aspal.

e. VFA (*Void Filled with Asphalt*)

Hasil nilai VFA pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2%, dan 10% dapat dilihat pada Gambar 6.

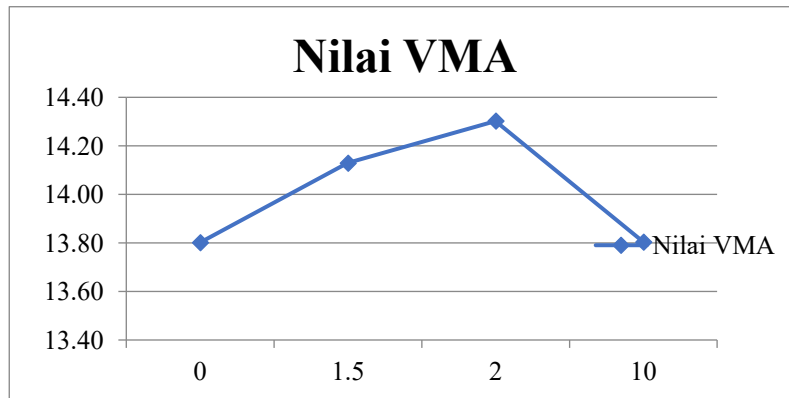


Gambar 6. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan *void filled*s (%).

Berdasarkan Gambar 6 dapat dilihat bahwa nilai *Void Filled*s nilai tertinggi ada pada campuran aspal variasi normal dan 10%, pada variasi normal memiliki nilai 86,20% kemudian pada variasi 1,5% turun sebesar 0,33 dengan nilai 85,87, kemudian turun lagi sebesar 0,17 pada variasi 2% dengan nilai 85,70% dan mengalami kenaikan lagi sebesar 0,5 dengan nilai 86,20%. Naik turunnya pada nilai VFA disebabkan karena kurangnya ketelitian dalam menghitung campuran aspal.

f. VMA (*Void in Mineral Agregate*)

Hasil nilai VMA pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2%, dan 10% dapat dilihat pada Gambar 7.

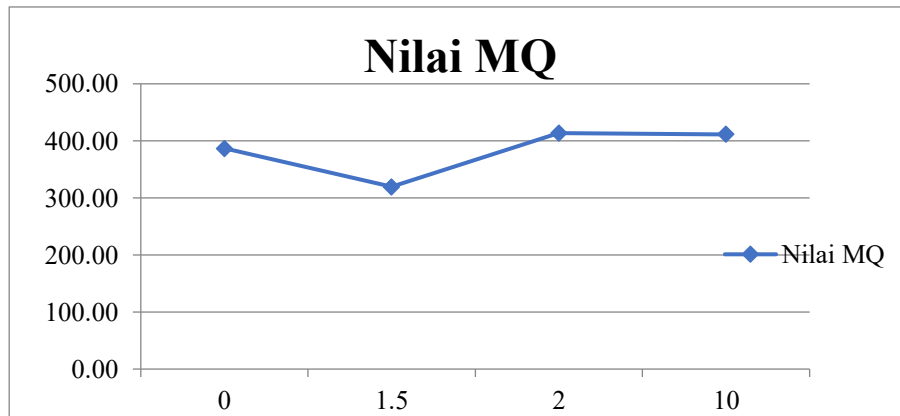


Gambar 7. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas (%) dengan VMA (%)

Berdasarkan Gambar 7 dapat dilihat bahwa nilai VMA tertinggi ada pada variasi 2%. Variasi normal memiliki nilai 13,80% kemudian naik sebesar 0,33 pada variasi 1,5% dengan nilai 14,13, kemudian naik lagi sebesar 0,17 pada variasi 2% dengan nilai 14,30, dan turun lagi sebesar 0,5 pada variasi 10% dengan nilai 13,80. Naik turunnya pada nilai VMA disebabkan karena kurangnya ketelitian dalam menghitung campuran aspal.

g. *Marshall Quotient*

Hasil nilai *marshall quotient* pada aspal campuran normal serta yang menggunakan bahan tambah ban bekas 1,5%, 2%, dan 10% dapat dilihat pada Gambar 8.



Gambar 8. Grafik antara variasi bahan tambah ban bekas l (%) dengan MQ (kg/mm)

Berdasarkan Gambar 8 didapat nilai MQ (*Marshall Quotient*) pada campuran normal sebesar 386,55, variasi 1,5% sebesar 319,64, variasi 2% sebesar 413,62, variasi 10% sebesar 411,61. Dapat disimpulkan nilai tertinggi MQ yang menggunakan bahan tambah ban bekas 2% yaitu sebesar 411,61.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemeriksaan karakteristik bahan yang digunakan dalam campuran sudah memenuhi standart bina marga 2018. pada pengujian aspal untuk hasil pengujian kehilangan berat aspal menghasilkan nilai 0,83%, pengujian penetrasi menghasilkan 63,5 mm, pengujian titik lembek 48,5°C, pengujian titik nyala 293°C, dan pengujian berat jenis 1,38 gram. pada pengujian agregat kasar ma 1/2" menghasilkan 1,35% dan agregat halus FA menghasilkan nilai 0,85%.

Variasi penambahan limbah ban bekas kendaraan pada campuran aspal mempengaruhi nilai karakteristik *marshall*. dari pengujian bulk density, stabilitas, dan flow diperoleh nilai tertinggi pada variasi 10% sedangkan pada variasi 0%, 1,5%, dan 2% ban bekas memiliki nilai yang lebih rendah, karena campuran ban bekasnya sedikit. dari pengujian VIM, VMA dan mq diperoleh nilai tertinggi pada variasi 2%, dan 10%, semakin tinggi kadar ban bekas maka nilai vim, vma, dan mq semakin tinggi juga, karena nilainya lebih tinggi daripada campuran normal. dari pengujian VFA diperoleh nilai tertinggi pada variasi 0% dan semakin tinggi campuran ban bekas maka nilai VFA semakin rendah, hal ini disebabkan karena tidak adanya campuran ban bekas pada benda uji.

DAFTAR PUSTAKA

- Alfayez, S. A., Suleiman, A. R., & Nehdi, M. L. (2020). Recycling Tire Rubber in Asphalt Pavements: State of the Art. *sustainability*, 1-15.
- Arabani, M., Nazar, M. M., & Hamed, G. H. (2021). Evaluating the Effect of Liquid Antistrip Additives on Moisture Sensitivity of Glassphalt. *AUT Journal of Civil Engineering*, 507-520.
- Aula, F., Miswar, & Ibrahim. (2024). Pengaruh Penambahan Limbah Ban Bekas Terhadap Parameter Marshall Beton Aspal AC-BC . *Jurnal Sipil Sains Terapan*, 1-8.
- Badan Standardisasi Nasional. (2016). *Standar Nasional Indonesia 1970 : 2016 Cara uji berat jenis dan penyerapan air agregat halus*. Jakarta: Badan Standardisasi Nasional.
- Badan Standarisasi Nasional. (2018). *Standar Nasional Indonesia 2489:2018 tentang Metode uji stabilitas dan pelelehan campuran beraspal panas dengan menggunakan alat Marshall*. Jakarta: Badan Standarisasi Nasional.

- Balaguru, P., Mohan, N. K., & Sathiyagnanam, A. (2011). Neural Network Based Analysis of Thermal Properties Rubber Composite Material-Pneumatic Tire. *In Proceedings of the World Congress on Engineering*, 3.
- BPJN Riau Direktorat Jenderal Bina Marga. (2022, Desember 02). *Balai Pelaksanaan Jalan Nasional Riau*. Diambil kembali dari Penerapan Teknologi Penggunaan Aspal Karet pada Preservasi Pematang Reba - Siberida - Batas Provinsi Jambi: <https://binamarga.pu.go.id/balai-riau/berita/penerapan-teknologi-penggunaan-aspal-karet-pada-preservasi-pematang-reba-siberida-batas-provinsi-jambi>
- Li, Y., Zhao, C., Li, R., Zhang, H., Dia, Y., Pei, J., & Lyu, L. (2025). Dry-process reusing the waste tire rubber and plastic in asphalt: Modification mechanism and mechanical properties. *Construction and Building Materials*, 139759.
- Manuputty, T., Matitaputty, L., & Paulus, N. (2022). Analisis Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Manual Desain Perkerasan Jalan (MDP 2017) Pada Ruas Jalan Desa Kowatu - Desa Ramberu, Kecamatan Inamosol, Kabupaten Seram Bagian Barat. *Manumata: Jurnal Ilmu Teknik*, 8(1), 75-81.
- Prabudi, D., & Kosim. (2015). Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas Sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beaspal Daur Ulang Pada Lapis Permukaan Atas. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 62-67.
- Putri, E., Yosritzal, Y., Agusyaini, A., & Budiawan, W. (2022). Evaluating The Effect Of Using Shredded Waste Tire In The Asphalt Concrete-Binder Coarse On Marshall Parameters. *SINERGI*, 1, 107-114.
- Sukirman. (2006). *Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur*. Bandung : Institut Teknologi Nasional (ITENAS).
- Xiao, Z., Pramanik, A., Basak, A., Prakash, C., & Shankar, S. (2022). Material recovery and recycling of waste tyres-A review. *Cleaner Materials*, 1-16.
- Yousefi, A. A., Sobhi, S., Aliha, M., Pirmohammad, S., & Haghshenas, H. F. (2021). Cracking Properties of Warm Mix Asphalts Containing Reclaimed Asphalt Pavement and Recycling Agents under Different Loading Modes. *Construction and Building Materials*, 124130.
- Yousefi, A., Behnood, A., Nowruzi, A., & Haghshenas, H. (2021). Performance evaluation of asphalt mixtures containing warm mix asphalt (WMA) additives and reclaimed asphalt pavement (RAP). *Construction and Building Materials*, 139759.