



# ANALISIS MODULUS RESILIEN CAMPURAN LAPIS AUS ASPAL MODIFIKASI SERBUK BAN BEKAS DENGAN ALAT UMATTA

Tanya Audia Balqis<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Universitas Indo Global Mandiri

[audiabalqis@uigm.ac.id](mailto:audiabalqis@uigm.ac.id)

Naskah diterima : 14 September 2020. Disetujui: 17 September 2020. Diterbitkan : 30 September 2020

## ABSTRAK

Struktur Perkerasan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Salah satu upaya yang sangat mungkin dilakukan untuk meminimalisir kerusakan adalah dengan memodifikasi material perkerasan. Tujuan dari penelitian adalah untuk mengetahui kekuatan suatu campuran lapis aus aspal dengan modifikasi serbuk ban bekas yang digunakan. Penelitian dilakukan dengan metode pengujian laboratorium menggunakan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA) untuk mengetahui besaran nilai Modulus Resilien ( $M_R$ ). Pengujian Penelitian dilakukan pada campuran lapis aus aspal dengan modifikasi serbuk ban bekas sebesar 15 % dan kadar aspal optimum (KAO) 5,9 %. Pengujian marshall sebelumnya dilakukan dengan variasi campuran kadar serbuk ban bekas sebesar 0 %, 5 %, 10%, 15 % dan 20 % terhadap berat agregat. Hasil pengujian umatta didapat bahwa nilai  $M_R$  pada kadar serbuk ban bekas 15 % adalah sebesar 1560,5 Mpa untuk temperatur pengujian normal yaitu 25°C. Sedangkan nilai  $M_R$  pada suhu maksimum 40°C dihasilkan nilai sebesar 234 Mpa. Penentuan suhu tersebut diambil sesuai pedoman perencanaan perkerasan lentur Pd-T-05-2005-B. Berdasarkan hasil tersebut didapat bahwa penurunan suhu mempengaruhi nilai modulus resilien campuran beraspal yaitu sebesar 85 %. Kemudian berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 diketahui bahwa nilai  $M_R$  campuran lapis aus aspal pada suhu normal adalah sebesar 1100 Mpa. Berdasarkan uraian diatas diperoleh perbandingan kenaikan nilai  $M_R$  sebesar 29,5 % antara campuran normal dengan campuran serbuk ban bekas 15 %. Maka secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan modulus resilien pada penambahan serbuk ban bekas sebesar 15% yang dapat memberikan penambahan nilai kekuatan campuran lapis aus aspal dalam menahan beban kendaraan.

**Kata kunci** : Lapis Aus Aspal, Serbuk Ban Bekas, Modulus Resilien, Umatta

## ABSTRACT

Pavement Structure is a layer of pavement that is located between the subgrade layer and the wheels of the vehicle. One of the possible efforts to minimize damage is by modifying the pavement material. The purpose of this study was to determine the strength of a mixture of asphalt wear layers with modified used Crumb Rubber (CR). The research was conducted by using laboratory testing methods using the Universal Material Testing Apparatus (UMATTA) to determine the Resilient Modulus ( $M_R$ ) value. The study was carried out on a mixture of asphalt wear layers with modified tire powder by 15% and an optimum asphalt content (KAO) of 5.9%. Previous marshall testing was carried out by varying the mixture of used CR content of 0%, 5%, 10%, 15% and 20% of the aggregate weight. The results showed that the  $M_R$  value on the 15% used tire powder content was 1560.5 MPa for the normal test temperature of 25°C. While the  $M_R$  value at a maximum temperature of 40°C resulted in a value of 234 MPa. The temperature determination was taken according to the flexible pavement planning guidelines Pd-T-05-2005-B. Based on these results, it was found that the decrease in temperature affected the

resilient modulus of the asphalt mixture by 85%. Then based on Road Pavement Design Manual 2013, it is known that the  $M_R$  value of the asphalt wear layer mixture at normal temperatures is 1100 MPa. Based on the description above, the ratio of the increase in  $M_R$  value is 29.5% between the normal mixture and the used tire powder mixture of 15%. So overall it can be concluded that there is an increase in resilient modulus in the addition of used tire powder by 15% which can increase the strength value of the asphalt wear layer mixture to withstand vehicle loads.

**Keywords** : Asphalt Concrete Wearing Course, Crumb Rubber, Resilient Modulus, Umatta

---

## 1. PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Struktur Perkerasan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan. Struktur perkerasan harus dapat memberikan tingkat kenyamanan dan keamanan yang baik dan tidak terjadi kerusakan yang melebihi standar pelayanan minimum selama umur layanannya [1]. Struktur perkerasan yang direncanakan sering kali menerima beban lalu lintas yang melebihi beban rencana yang membuat gagalnya kinerja struktur perkerasan [2]. Kegagalan kinerja struktur perkerasan dapat diperkirakan sebelum struktur perkerasan digunakan yaitu ketika tahapan perencanaan. Salah satu upaya yang sangat mungkin dilakukan untuk meminimalisir kerusakan adalah dengan memodifikasi material perkerasan pada tahap perencanaan yaitu pada lapis aus aspal (*surface*).

Lapis aus aspal dimodifikasi dengan menambahkan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat yaitu pada fraksi No. 30 (tertahan ukuran 0.6 mm). Hal ini didasarkan oleh beberapa penelitian yang sebelumnya telah dilakukan. Dikutip dari [3] berdasarkan penelitian *USD Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986 menyatakan bahwa penggunaan serbuk ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) mampu mereduksi kerusakan pada struktur perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas [4].

Berdasarkan uraian permasalahan mengenai kekuatan struktur perkerasan diatas, penulis tertarik untuk melakukan penelitian mengenai modifikasi campuran aspal yaitu untuk menganalisis kekuatan modulus elastisitas lapis aus aspal sebagai upaya peningkatan kinerja struktural perkerasan lentur dengan penambahan serbuk ban.

### 1.2. Tinjauan Pustaka

#### Struktur Perkerasan Lentur

Menurut Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur [5] lapis permukaan struktur perkerasan lentur terdiri atas campuran berupa material agregat dan bahan pengikat yang ditempatkan sebagai lapisan paling atas dan biasanya terletak di atas lapis pondasi. Fungsi lapis permukaan antara lain sebagai bagian perkerasan untuk menahan beban roda, pelapis tidak tembus air untuk melindungi badan jalan dari kerusakan akibat cuaca, dan sebagai lapis aus aspal (*wearing course*).

Salah satu jenis lapis permukaan yang dominan digunakan adalah lapis permukaan aspal beton. Lapis Aspal Beton/ Laston merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu

Campuran *asphalt concrete* yang bekerja sebagai lapisan aus dengan tebal minimum 4,0 cm disebut sebagai *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. Selanjutnya campuran *asphalt concrete* yang bekerja sebagai lapisan antara dengan tebal minimum 6,0 cm disebut sebagai *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)*. Kemudian campuran *asphalt concrete* yang bekerja sebagai lapisan pondasi dengan tebal minimum 7,5 cm disebut sebagai *Asphalt Concrete Base (AC-Base)*. Menurut *Asphalt Institute* (1983) bahwa suatu campuran *asphalt concrete* sebagai lapis perkerasan harus memiliki karakteristik stabilitas (*stability*), keawetan (*durability*), kelenturan (*flexibility*), ketahanan terhadap *fatigue*, workabilitas, *skid resistance* serta kedap air (*impermeability*) [6]

#### Campuran Aspal Modifikasi

Campuran aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. kekuatan beton aspal dipengaruhi oleh sifat-sifat dari material

campuran [7]. Penelitian dilakukan oleh Ahmad [8] pada campuran panas dengan *Crumb Rubber Scrap Tire* (CR) untuk mengembangkan dan menentukan adiktif optimum. Bahan tambah dalam penelitian ini dibuat dengan dua metode (proses basah dan proses kering). Pada metode kering, variasi yang digunakan adalah sebesar 25%, 35% dan 50% pada 4,75 mm, 9,5 mm dan gabungan keduanya. Tetapi hasilnya menunjukkan kegagalan karena campuran tidak menyatu sempurna. Dalam proses basah, variasi CR yang digunakan sebesar 3,5% - 7,5% (interval 1,0) pada suhu 110 - 155°C. Hasilnya menunjukkan dengan variasi 5,5% CR merupakan kandungan pengikat optimum dan menaikkan nilai stabilitas menjadi 65% dari 683.08 kg menjadi 1060 kg.

### Modulus Resilien Campuran Beraspal

Modulus kekakuan adalah salah satu parameter yang digunakan untuk perencanaan dan mengevaluasi kinerja campuran beraspal. Karena campuran beraspal merupakan material yang tidak bersifat elastis sempurna maka terminologi modulus elastis (E) tidak cocok digunakan dan sebagai gantinya digunakan istilah Modulus Resilien ( $M_R$ ), yaitu modulus elastisitas berdasarkan deformasi balik (*recoverable strain*) (Suherman, 2012). Penelitian oleh Hariyadi [9] mengenai kinerja lapis aus aspal menggunakan aspal modifikasi polimer neoprene menghasilkan peningkatan kekuatan stabilitas campuran.

Hasil perendaman marshall pada campuran 3%, 6% dari neoprene menghasilkan memenuhi spesifikasi yaitu lebih dari 80%. Modulus kekuatan lentur penting karena berhubungan dengan penyebaran tegangan akibat beban. Pengujian dengan alat umatta pada campuran dengan aspal polimer neoprene pada suhu tinggi 60°C menghasilkan peningkatan modulus resilen yang lebih baik dibandingkan campuran normal. Sedangkan hasil analisis *wheel tracking*, nilai stabilitas dinamis dengan penambahan 3% pada masing-masing suhu (45°C dan 60°C) menghasilkan stabilitas yang lebih tinggi. Hal ini membuktikan penambahan *polimer neoprene* memiliki ketahanan terhadap suhu tinggi.

## 2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dilakukan adalah pengujian laboratorium yaitu dimulai dengan pengujian properties material, pengujian campuran dan analisis data hasil pengujian.

### 2.1. Pengujian Properties Material

Seluruh material yang digunakan dalam penelitian harus melalui pengujian sifat-sifat teknis sesuai dengan pedoman yang berlaku yaitu Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2010 (Revisi 3).

### 2.2. Pengujian campuran uji marshall

Pengujian marshall dilakukan dengan alat-alat yang terdiri dari alat pembuatan benda uji berupa cetakkan (*mold*) dan alat pemadatan dengan system tumbukkan. Setelah benda uji selesai dipadatkan, selanjutnya adalah dengan melakukan pengujian dengan pembebanan untuk mendapatkan nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*) pada masing-masing benda uji menggunakan alat uji marshall.



Gambar1. Pengujian Stabilitas Marshall

### 2.3. Pengujian Modulus Resilien

Pengujian Modulus Resilien dilakukan di dalam laboratorium dilakukan dengan menggunakan alat uji “*Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA)“. Pengujian dilakukan dengan campuran aspal dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan juga kadar adiktif yang telah optimum.



Gambar 2. Pengujian Modulus Resilien

### 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada penelitian ini, beberapa hasil yang didapat dan dibahas adalah terurai seperti dibawah ini:

#### 3.1. Hasil Pengujian Properties Material

Pengujian properties material dilakukan pada agregat dan aspal yang akan digunakan dalam penelitian. Adapun hasil pengujian properties disajikan dalam Tabel 1. Dan Tabel 2. berikut:

Tabel 1 Karakteristik Agregat

No	Pengujian	Spek.	Hasil
<b>A</b>	Agregat Kasar		
1	Analisa Saringan	-	Terlampir
2	Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	-	2.65
3	Berat Jenis Bulk	Min. 2,5	2.58
4	Berat Jenis Semu	-	2.78
5	Penyerapan	Maks. 3%	2.77%
6	Abrasi (500 putaran)	Maks. 40%	14,19%
7	Lolos Saringan No. 200	Maks. 2%	0.46%
8	Kelekatan terhadap Aspal	Min. 95%	100%
<b>B</b>	Agregat Halus		
1	Analisa Saringan	-	Terlampir
2	Berat Jenis Jenuh Kering Muka (SSD)	-	2.64
3	Berat Jenis Bulk	Min. 2,5	2.55
4	Berat Jenis Semu	-	2.79
5	Penyerapan	Maks. 3%	3.32%
6	Lolos Saringan No. 200	Maks. 10%	10.95%
7	Setara Pasir	Min. 60%	79.10%

Berdasarkan Tabel 1 diatas dapat dilihat bahwa agregat yang digunakan dalam penelitian ini baik agregat kasar, agregat halus dan filler telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010.

Tabel 2. Karakteristik Aspal Pen 60/70

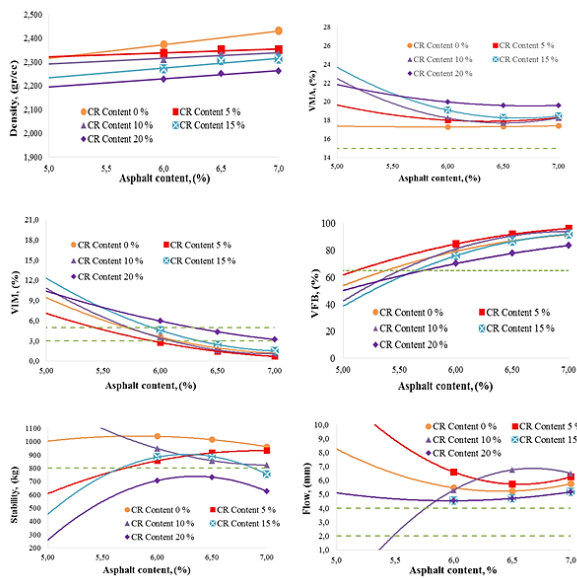
No	Pengujian Aspal Penetrasi 60/70	Spek.	Hasil
1	Penetrasi	60-70	63
2	Viskositas Kinematik 135°C	≥ 300°C	360°C
3	Titik Lembek	≥ 48°C	48.5°C
4	Daktilitas	≥ 100 cm	> 140 cm
5	Berat Jenis	≥ 1	1.033

Berdasarkan Tabel 2 dapat dilihat bahwa karakteristik aspal penetrasi 60/70, baik untuk hasil pengujian penetrasi sampai dengan berat jenis yang selanjutnya akan digunakan dalam penelitian ini telah memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga Revisi 3 Tahun 2010.

#### 3.2. Hasil Pengujian Marshall

Pengujian marshall menghasilkan tujuh karakteristik campuran aspal yaitu kepadatan (*density*), rongga dalam agregat (*Voids in Mineral Aggregate*, VMA), rongga dalam campuran (*Voids In Mix*, VIM), Rongga terisi aspal (*Voids Filled Bitumen*, VFB), stabilitas, kelelahan (*flow*). Karakteristik campuran ini dibutuhkan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dan kadar serbuk ban bekas yang akan digunakan untuk keperluan pengujian selanjutnya. Hasil pengujian marshall terlihat pada Gambar 3.

Berdasarkan Gambar 3. tersebut terlihat bahwa dari ke 5 variasi campuran aspal yang diuji didapat hasil bentuk grafik atau *trendline* yang telah memenuhi standar pengujian Marshall. Oleh karena itu, data pengujian selanjutnya dapat di analisis untuk menjadi rujukan pengujian laboratorium selanjutnya yaitu pengujian Modulus Resilien menggunakan alat uji umatta.

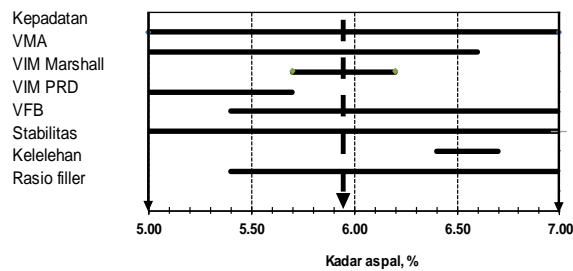


Gambar 3. Hasil Pengujian Marshall

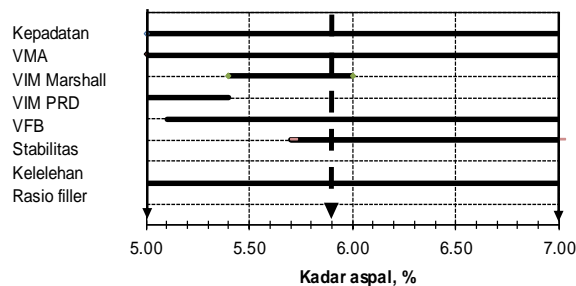
### 3.3. Analisis Hasil Pengujian Marshall

#### Kadar Aspal Optimum

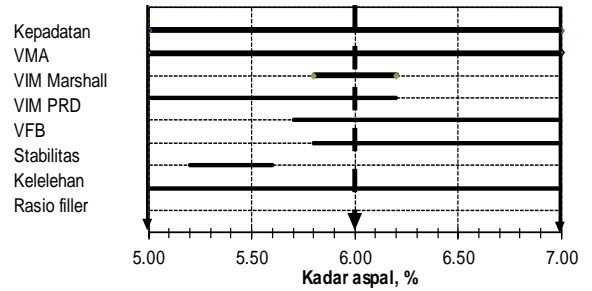
Merujuk pada hasil pengujian marshall yang telah dilakukan, didapat grafik kadar aspal optimum (KAO) pada masing-masing campuran sesuai dengan Gambar 3. KAO pada campuran normal ditunjukkan pada Gambar 4. Dan KAO pada campuran modifikasi dengan serbuk ban bekas ditunjukkan pada Gambar 5. sampai dengan Gambar 7.



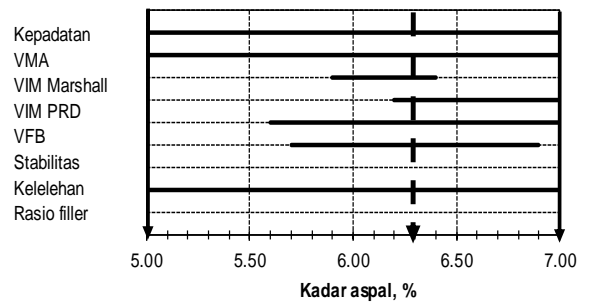
Gambar 4. KAO Campuran Normal



Gambar 5. KAO 5% CR



Gambar 6. KAO 10 % CR



Gambar 7. KAO 15 % CR

Berdasarkan grafik tersebut didapat bahwa KAO pada campuran normal adalah 5.7 %, sedangkan KAO campuran modifikasi dihasilkan 5.9%, 6% dan 6.3 %. Sedangkan untuk kadar 20% tidak ditarik KAO karena spesifikasi hasil uji stabilitas pada pengujian marshall tidak memenuhi batas minimum yaitu 800 kg.

#### Kadar Serbuk Ban Bekas Optimum

Penentuan kadar serbuk ban bekas atau Crumb Rubber (CR) optimum dilakukan dengan merujuk pada hasil pengujian marshall berupa stabilitas campuran. Adapun hasil besarnya nilai stabilitas dengan variasi kadar CR berdasarkan KAO disajikan dalam Tabel 3.

Tabel 3. Kadar CR Optimum

No	Campuran	Kadar Aspal Optimum (KAO)	Stabilitas Marshall (kg)
1	0 % CR	5.9 %	1039,6
2	5% CR	5.9 %	829,0
3	10 % CR	6.0 %	825,0
3	15 % CR	6.3 %	903,0

Berdasarkan Tabel 3 diketahui bahwa campuran modifikasi yang terbaik adalah pada kadar 15 % CR sebesar 903,0 kg. Kadar 15 %

CR ini memiliki nilai stabilitas tertinggi setelah campuran normal sebesar 1039,6 kg.

Dengan demikian kadar 15% CR adalah kadar CR optimum dengan KAO 6,3 % yang akan digunakan pada pengujian selanjutnya yaitu uji modulus resilien campuran.

### 3.3. Hasil Pengujian Modulus Resilien

Pengujian Modulus Resilien ( $M_R$ ) dilakukan dengan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA). Pengujian UMATTA dilakukan pada campuran dengan KAO 6,3 % dan kadar CR 15 %. Pengujian dilakukan pada 2 suhu yaitu pada suhu standar 25 °C dan 40 °C. Penentuan suhu ini diambil dari metode pengujian UMATTA ASTM D 4132 yang menjelaskan suhu normal pengujian pada 105°F atau 25 °C. Sedangkan untuk suhu 40 °C merujuk pada pedoman teknis perencanaan tebal lapis tambah struktur perkerasan lentur (Pd-T-05-2005-B). Suhu ini disesuaikan dengan suhu maksimum yang berada di daerah Sumatera Selatan yaitu 36,2°C. Adapun hasil pengujian  $M_R$  disajikan pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pengujian Modulus Resilien ( $M_R$ )

No	Kode Campuran	Temp. Uji °C	SD (%)*	CV (%)**	$M_R$ (MPa)
1	ACWC	25	58,94	3,85	1.532
2	15CR 25C		71,11	4,48	1.589
<b>Rata-rata <math>M_R</math></b>			<b>65,02</b>	<b>4,17</b>	<b>1.560,5</b>
3	ACWC	40	4,25	1,89	255
4	15CR 40C		5,87	2,51	234
5			3,80	1,79	213
<b>Rata-rata <math>M_R</math></b>			<b>4,64</b>	<b>2,06</b>	<b>234</b>

\*SD : Standar Deviasi (%)

\*\*CV : Coefficient Variant (%)

Berdasarkan Tabel 4 hasil uji MR diatas, untuk suhu normal campuran 15% CR menghasilkan nilai 1.560,5 MPa. Nilai ini lebih besar dari MR standar aspal beton yang merujuk pada Bina Marga (2013) yaitu sebesar 1.100 MPa pada suhu normal 25°C. Dengan demikian dapat dikatakan bahwa nilai  $M_R$  campuran modifikasi CR sudah memenuhi spesifikasi yang ada dan bahkan lebih baik dibandingkan campuran standar.

### 3.4. Analisis Uji Modulus Resilien

Hasil pengujian umatta didapat bahwa nilai  $M_R$  pada kadar serbuk ban bekas 15 %

adalah sebesar 1560,5 Mpa untuk temperatur pengujian normal yaitu 25°C. Sedangkan nilai  $M_R$  pada suhu maksimum 40°C dihasilkan nilai sebesar 234 Mpa. Penentuan suhu tersebut diambil sesuai pedoman perencanaan perkerasan lentur Pd-T-05-2005-B.

Berdasarkan hasil tersebut didapat bahwa penurunan suhu mempengaruhi nilai modulus resilien campuran beraspal yaitu sebesar 85 %. Kemudian berdasarkan Manual Desain Perkerasan Jalan 2013 diketahui bahwa nilai  $M_R$  campuran lapis aus aspal pada suhu normal adalah sebesar 1100 Mpa. Berdasarkan uraian diatas diperoleh perbandingan kenaikan nilai  $M_R$  sebesar 29,5 % antara campuran normal dengan campuran serbuk ban bekas 15 %. Dari hasil pengujian dapat dilihat bahwa nilai Modulus Resilien sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur, dimana dengan meningkatnya temperatur maka akan menurunkan nilai Modulus Resilien. Hal ini disebabkan karena aspal adalah material yang bersifat viskoelastis dimana sifatnya dapat berubah dari viskos ke elastis ataupun sebaliknya yang disebabkan karena perubahan temperatur [15].

## 4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian ini adalah didapat bahwa penambahan serbuk ban bekas memberikan hasil Nilai Kadar Aspal (KAO) sebesar 5,9 % dengan kadar serbuk ban bekas optimum adalah 15 %. Kemudian hasil pengujian lanjutan berupa uji Modulus Resilien ( $M_R$ ) campuran lapis aus aspal menghasilkan kenaikan sebesar 29,5 % yaitu 1560,5 Mpa dibandingkan campuran normal yaitu 1100 Mpa. Maka secara keseluruhan dapat disimpulkan bahwa terjadi peningkatan modulus resilien pada penambahan serbuk ban bekas 15% yang dapat memberikan penambahan nilai kekuatan campuran lapis aus aspal dalam menahan beban kendaraan.

### Ucapan Terima Kasih

Terimakasih kepada Lembaga Politeknik Negeri Bandung dan Pusat Pengujian Jalan dan Jembatan (Pusjatan) Kementerian PUPR yang telah membiayai dan mendukung penelitian ini.

### Daftar Pustaka

- [1] Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Penerbit Nova. Bandung.
- [2] Putra, K.L., Prakoso, Y., Muchtar, Z., Hamdi, 2019. Pengaruh Penambahan Limbah Serbuk Ban Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Stabilitas Lapis AC-WC. Pilar Jurnal Teknik Sipil. Vol. 14, No. 01.
- [3] Sugiyanto, 2008. Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Tambahan Serbuk Ban Bekas. Jurnal Teknik, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Jendral Soedirman, Purwokerto.
- [4] AASHTO, 1993. Guide for Design of Pavement Structure, Washington D.C
- [5] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2002. Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur (PT-012002-B).
- [6] Isnanda, 2018. Pengaruh Substitusi Polystyrene (PS) dan Abu Arang Tempurung Kelapa.
- [7] Ahmad, Omar Asad, 2015. Using Crumb Rubber (CR) of Scrap Tire in Hot Mix Asphalt Design. Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Technology, Zarqa University, Zarqa, Jordan.
- [8] Hariyadi, E.S., Subagio, B.S., Kestaman. R., 2013. Kinerja Laboratorium dari Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) Menggunakan Aspal Polimer Noeprene. Konferens Nasional Teknik Sipil. Universitas Sebelas Maret: 254-261.
- [9] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2010. Spesifikasi Umum Divisi 6 Revisi 4. BSN Jakarta.
- [10] Standar Nasional Indonesia No. M-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas.
- [11] ASTM D 4123 – 83, 1995. Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures.
- [12] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur. Pd-T-05-2005-B.
- [13] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2015. Manual Desain Perkerasan Jalan. No. 02/BM/2013.
- [14] Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. Manual Perkerasan Jalan. No. 04/SE/Db/2017.
- [15] Suherman, 2012. Kinerja Modulus Resilien dan Deformasi Permanen Dari Campuran Lapis Antara (AC-BC) yang Menggunakan Material Hasil Daur Ulang (RAP). Jurnal Sains, Teknologi dan Industri. Vol 10 No. 1.