

Analisis Kinerja Modulus Resilien dan Ketahanan *Fatigue* Campuran AC-WC dengan Asbuton Murni, BNA Blend, dan Aspal Pen 60/70

Ariefian Iman Adiwidodo*

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: ariefianiman@pu.go.id

Harmein Rahman

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: rahmanharmein@gmail.com

Nasuhi Zain

Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Lingkungan
Institut Teknologi Bandung, Email: nasuhiz@yahoo.co.id

Abstrak

Salah satu kekayaan alam Indonesia adalah Aspal Pulau Buton di Provinsi Sulawesi Tenggara yang terkenal dengan sebutan asbuton. Berdasarkan penelitian dari Pusjatan pada tahun 2011 jumlah sumber material asbuton berjumlah hampir 662 ton. Jenis campuran beraspal yang digunakan pada penelitian ini adalah campuran lapis aus AC-WC (*Asphaltic Concrete Wearing Course*). Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja modulus resilien dan ketahanan *fatigue* dari campuran beraspal AC-WC dengan menggunakan asbuton murni, BNA Blend, dan aspal pen. 60/70. Sesuai dengan hasil pengujian karakteristik aspal yang telah dilakukan, asbuton murni dan BNA Blend memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal pen. 60/70. Hasil pengujian stabilitas menunjukkan bahwa campuran dengan BNA Blend mempunyai nilai yang paling tinggi yaitu 1432 kg, berbanding 1310 kg pada campuran dengan asbuton murni, dan berbanding 1209 kg pada campuran dengan aspal pen. 60/70. Hasil pengujian modulus resilien pada campuran dengan asbuton murni dan BNA Blend memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan dengan aspal pen. 60/70 pada suhu 25 °C dan 35 °C, dan hampir setara pada suhu 45 °C. Campuran AC-WC dengan BNA Blend memiliki ketahanan *fatigue* yang lebih baik dibandingkan campuran dengan aspal pen. 60/70, sedangkan campuran dengan asbuton murni memiliki ketahanan *fatigue* yang paling rendah.

Kata-kata Kunci: AC-WC, asbuton murni, BNA Blend, stabilitas, modulus resilien, *fatigue*

Abstract

One of Indonesia's natural resources is Buton Island Asphalt in Southeast Sulawesi Province which is known as asbuton. Based on research from Pusjatan in 2011, the number of asbuton material sources amounted to nearly 662 tons. The type of mix asphalt used in this study is a mix of asphalt concrete wearing course (AC-WC). The purpose of this study was to determine the performance of the resilient modulus and fatigue resistance of the AC-WC asphalt mixture using pure asphalt, BNA Blend, and pen asphalt. 60/70. In accordance with the results of asphalt characteristic tests that have been carried out, pure asphalt and BNA Blend have a lower penetration value compared to pen asphalt. 60/70. The stability test results showed that the mixture with BNA Blend had the highest value, namely 1432 kg, compared to 1310 kg in the mixture with pure asphalt, and compared to 1209 kg in the mixture with pen asphalt. 60/70. The results of the resilience modulus test on a mixture with pure asphalt and BNA Blend have a higher value compared to pen asphalt. 60/70 at 25 °C and 35 °C, and nearly equivalent at 45 °C. The AC-WC mixture with BNA Blend has better resistance than the mixture with asphalt pen. 60/70, while mixtures with pure asbuton have the lowest fatigue resistance.

Keywords: AC-WC, pure asbuton, BNA Blend, stability, resilient modulus, *fatigue*

1. Pendahuluan

Indonesia merupakan salah satu negara di khatulistiwa yang memiliki beragam kekayaan alam dan budaya. Salah satu kekayaan alam Indonesia adalah Aspal Pulau Buton di Provinsi Sulawesi Tenggara yang terkenal dengan sebutan Asbuton. Dalam Permen

PUPR No. 18 Tahun 2018 disebutkan bahwa setelah melalui uji coba lapangan dan laboratorium, penggunaan aspal buton dalam pembangunan dan preservasi jalan layak secara teknis dan ekonomi, serta dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan jalan. Berdasarkan penelitian dari pusjatan pada tahun 2011 jumlah sumber material asbuton berjumlah hampir 662

* Penulis korespondensi: ariefianiman@pu.go.id

ton. Pada tahap awal pelaksanaan penggunaan asbuton digunakan jenis asbuton butir. Pada percobaan konstruksi jalan tahun 2008 sampai dengan 2010 terdapat beberapa kerusakan seperti pengelupasan butir, deformasi plastis, dan retak. Selain pengelupasan lapis asbuton dari lapis agregat, pelepasan agregat dari perkerasan juga mudah sekali terjadi pada ruas jalan tersebut. Selain itu, kadar air yang cukup tinggi yang terkandung dalam asbuton disinyalir juga memberikan kontribusi terjadinya kerusakan berupa pengelupasan tersebut. Dengan adanya beberapa kendala tersebut, maka sekarang ini sudah mulai dimanfaatkan jenis asbuton murni full ekstraksi dan semi ekstraksi (pra campur). Asbuton murni full ekstraksi ini merupakan hasil ekstraksi dari Asbuton Lawele sampai didapat aspal murni, dimana kandungan mineralnya dapat dikatakan sudah tidak ada lagi atau lebih kecil dari 1%. Produk asbuton murni full ekstraksi mempunyai sifat sifat yang baik, dilihat dari hasil pengujian fisiknya seperti penetrasi, titik lembek, kelarutan, daktilitas, kehilangan berat dengan Thin Film Oven Test, serta nilai Penetrasi Index yang tinggi dibanding aspal minyak konvensional, sehingga sangat cocok untuk lalu lintas berat dan daerah dengan temperatur tinggi seperti Indonesia (Affandi Furqon, 2006). BNA (*Buton Natural Asphalt*) yang merupakan salah satu jenis asbuton pra campur adalah hasil pemurnian Asbuton dengan kadar bitumen 55-60% yang memungkinkan hal-hal positif dari Asbuton dapat dioptimalkan. Kandungan filler *hydrophobic* dalam jumlah yang optimal serta tersebar merata dalam BNA akan membentuk mastic aspal yang kuat dan lebih kedap air diharapkan menaikkan ketahanan campuran terhadap pengaruh negative air (Aston Adhi Jaya, 2010). Berdasarkan beberapa latar belakang tersebut diatas akan dilakukan penelitian laboratorium menggunakan campuran lapis aus AC-WC dengan aspal minyak pen 60/70, campuran lapis aus AC-WC dengan asbuton murni full ekstraksi serta campuran lapis aus AC-WC dengan BNA *blend* sebagai bahan pengikat. *Tools* utama yang dipilih dalam penelitian tersebut adalah dengan menggunakan peralatan: Marshall, UMATTA (*Universal Material Testing Aparatus*) dan BFA (*Beam Fatigue Apparatus*).

2. Metodologi

2.1 Rencana kerja

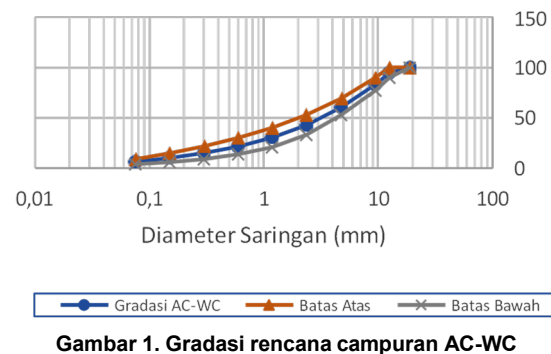
Penelitian ini menitikberatkan pada pengujian laboratorium untuk mengetahui kinerja campuran beraspal AC-WC pada pengujian *Marshall*, *Marshall* rendaman, modulus resilien, dan ketahanan retak lelah (*fatigue*). Urutan pelaksanaan pengujian material campuran beraspal di laboratorium adalah sebagai berikut:

- Pengujian karakteristik aspal minyak pen. 60/70, asbuton murni, dan BNA *Blend*.

- Pengujian karakteristik agregat kasar dan agregat halus.
- Pengujian *Marshall* (untuk menentukan kadar aspal optimum).
- Pengujian *Marshall* rendaman.
- Pengujian modulus resilien dengan alat UMATTA.
- Pengujian *four-point bending test* dengan alat *Beam Fatigue Apparatus*.

2.2 Gradasi campuran

alam penelitian ini jenis gradasi campuran beraspal AC-WC yang digunakan adalah gradasi menerus yang berpedoman pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Gradasi yang digunakan diambil pada titik tengah antara batas atas dan batas bawah amplop gradasi.



Gambar 1. Gradasi rencana campuran AC-WC

2.3 Jumlah benda uji

Jumlah benda uji campuran beraspal dapat dilihat pada Tabel 1.

2.4 Bagan alir penelitian

Berikut adalah bagan alir (*flowchart*) yang digunakan pada penelitian ini seperti ditunjukkan pada Gambar 2.

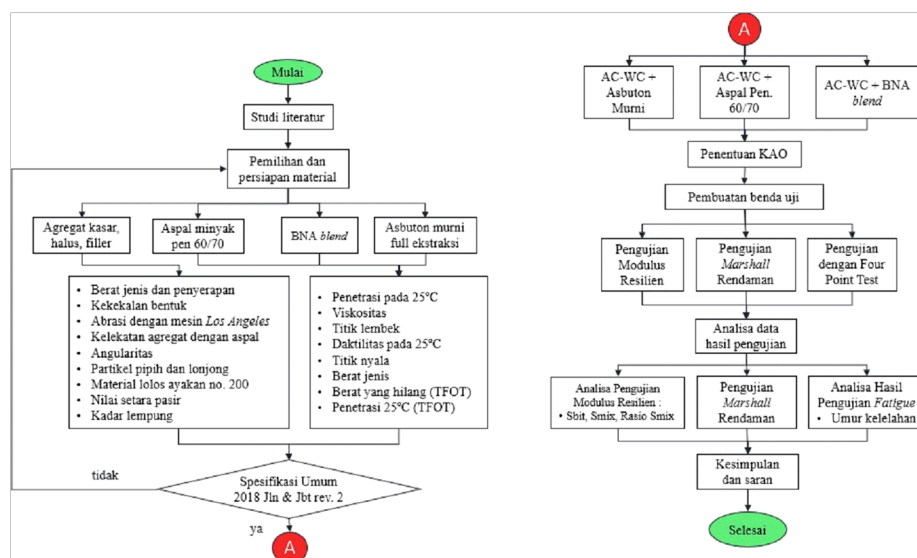
3. Hasil Pengujian

3.1 Hasil pengujian aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan terhadap aspal pen. 60/70, BNA Blend, dan asbuton murni dimana pengolahan ketiga aspal tersebut dilakukan secara pabrikasi. Berdasarkan hasil pengujian karakteristik aspal di laboratorium untuk aspal pen. 60/70, BNA Blend, dan asbuton murni seperti yang terlihat pada Tabel 2, Tabel 3, dan Tabel 4 menunjukkan bahwa asbuton murni dan BNA *Blend* memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal pen. 60/70. Walaupun demikian kedua jenis aspal tersebut memiliki nilai titik lembek yang lebih tinggi dari aspal pen. 60/70.

Tabel 1. Jumlah benda uji campuran beraspal

No	Jenis Pengujian	ACWC+pen. 60/70	ACWC+BNA Blend	ACWC+asbuton murni
1	<i>Marshall</i>	15	15	15
2	<i>Marshall</i> rendaman	6	6	6
3	Modulus resilien	6	6	6
4	<i>Fatigue</i>	4	4	4



Gambar 2. Bagan alir penelitian

Tabel 2. Hasil pengujian karakteristik aspal Pen. 60/70

No	Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 2456:2011	60 – 70	60,17
2	Viskositas 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	367,50
3	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48	51
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	> 140
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	346,04
6	Kelarutan dalam TCE (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	99,46
7	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	1,037
8	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639:2002	≤ 2	0,046
Pengujian residu hasil TFOT pada 165 °C, 5 jam				
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441:1991	≤ 0,8	0,035
10	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	≥ 54	76,7
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	> 50	> 140

(Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2)

Tabel 3. Hasil pengujian karakteristik aspal BNA blend

No	Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 2456:2011	Dilaporkan	40,30
2	Viskositas 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≤ 3000	850,90
3	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	Dilaporkan	55,60
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	Dilaporkan	86,25
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230	294,50
6	Kelarutan dalam TCE (%)	AASHTO T44-14	≥ 90	90,23
7	Berat jenis	SNI 2441:2011	Dilaporkan	1,063
8	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639:2002	< 2,2	0,25
Pengujian residu hasil TFOT pada 165 °C, 5 jam				
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441:1991	≤ 1,0	0,143
10	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011	≥ 54	70
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	> 50	40,10

(Mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2, berdasarkan perubahan Surat Dirjen Bina Marga No. Bm01-Db/821 tanggal 29 Juni 2022)

3.2 Hasil pengujian karakteristik campuran beraspal

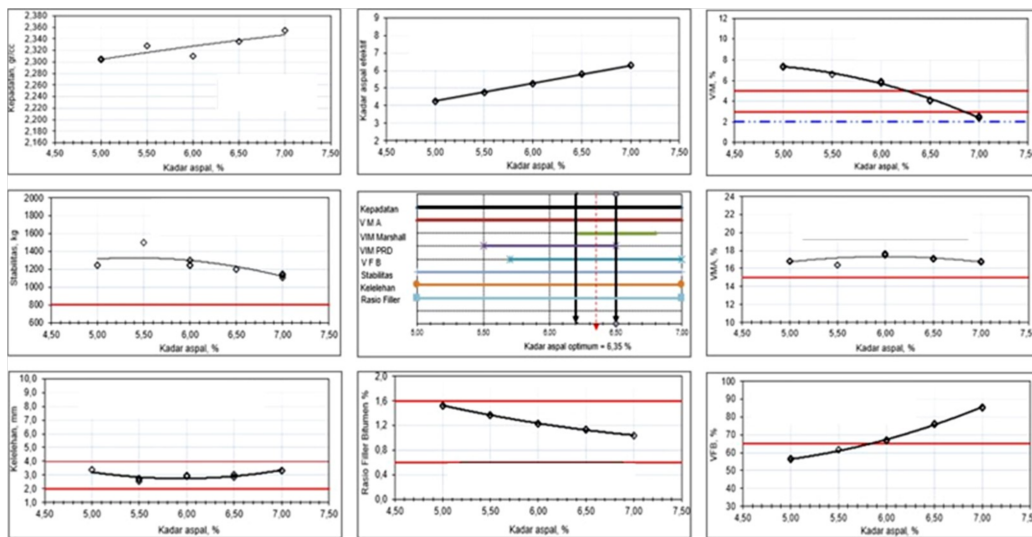
Pengujian karakteristik campuran beraspal dilakukan dengan menggunakan metode *Marshall* berdasarkan perkiraan

Kadar Aspal Optimum (KAO) hasil perhitungan sebesar 6%, sehingga diperoleh rentang kadar aspal yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Benda uji *Marshall* dibuat menggunakan pemadat *Marshall* dengan jumlah

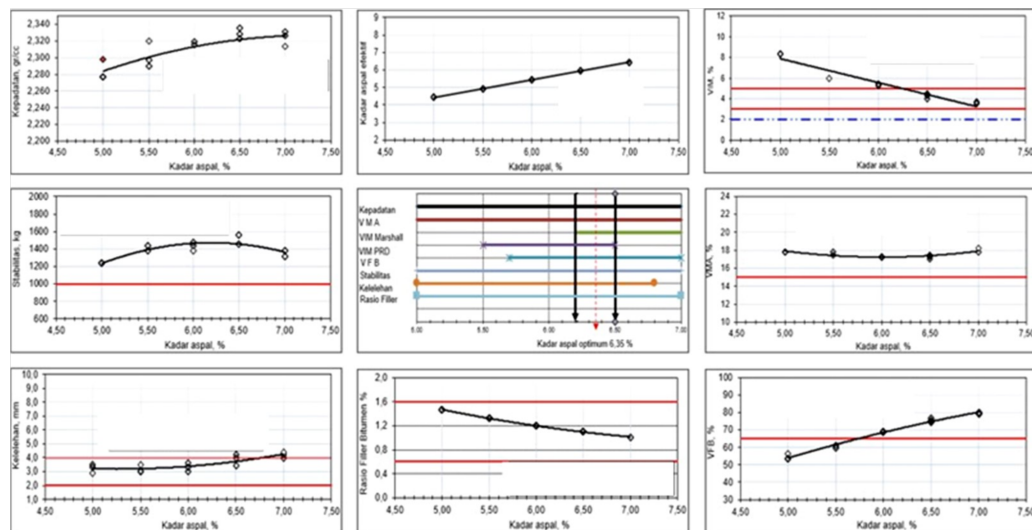
Tabel 4. Hasil pengujian karakteristik asbuton murni

No	Pengujian	Metode Pengujian	Spesifikasi	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (dmm)	SNI 2456:2011	Dilaporkan	36,7
2	Viskositas 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	< 3000	1027,2
3	Titik lembek (°C)	SNI 2434:2011	Dilaporkan	56,80
4	Daktilitas pada pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	> 140
5	Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230	233,05
6	Kelarutan dalam TCE (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	99,78
7	Berat jenis	SNI 2441:2011	-	1,050
8	Kadar parafin lilin (%)	SNI 03-3639:2002	< 2,2	0,30
Pengujian residu hasil TFOT pada 165 °C, 5 jam				
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441:1991	± 1	1,835
10	Penetrasi pada 25°C	SNI 2456:2011		59
11	Daktilitas pada pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011		113,3

(Mengacu pada Standar Nasional Indonesia 9096:2022 mengenai Spesifikasi asbuton murni setara kelas kinerja)



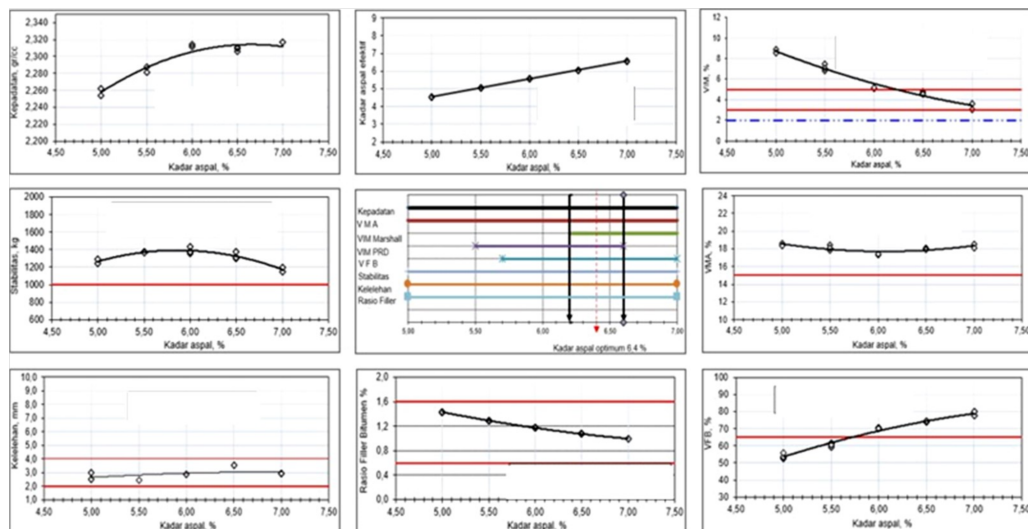
Gambar 2. Parameter penentuan KAO AC-WC dengan aspal pen. 60/70



Gambar 3. Parameter penentuan KAO AC-WC dengan BNA blend

pemadatan 2 x 75 tumbukan untuk masing-masing bidang permukaan benda uji. Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan parameter dalam perhitungan volumetrik seperti Kepadatan, Stabilitas, Kelelahan, Rongga

Dalam Campuran (VIM), Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA) dan Rongga Terisi Aspal (VFB). Parameter tersebut kemudian dipertimbangkan sebagai dasar dalam penentuan kadar aspal optimum untuk



Gambar 4. Parameter penentuan KAO AC-WC dengan asbuton murni

masing-masing campuran beraspal. Dari analisis hasil *Marshall* tersebut diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran beraspal dengan aspal pen. 60/70 dan BNA Blend yaitu 6,35% dan campuran beraspal dengan asbuton murni adalah 6,4%.

3.3 Hasil pengujian *marshall* rendaman

Pengujian *Marshall* rendaman bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran beraspal terhadap pengaruh rendaman air. Parameter yang digunakan dalam penilaian *Marshall* rendaman adalah Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Stability*) yang didapatkan antara rasio stabilitas perendaman 30 menit dan stabilitas perendaman selama 24 jam. Hasil pengujian *Marshall* rendaman seperti pada **Tabel 5** berikut ini.

3.4 Hasil pengujian modulus resilien

Modulus resilien merupakan modulus elastisitas yang didasarkan pada deformasi balik (Huang, 2004). Pengujian modulus resilien bertujuan untuk mengetahui

tingkat kekakuan suatu campuran beraspal. Faktor utama yang perlu diperhatikan pada pengujian modulus resilien campuran beraspal adalah temperatur dan frekuensi pembebanan (Suaryana et.al., 2018). Pengujian modulus resilien dilakukan dengan menggunakan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA) dan benda uji yang digunakan sama dengan benda uji *Marshall* pada kadar aspal optimum. Pada penelitian ini pengujian modulus resilien dilakukan dengan variasi temperatur 25 °C, 35 °C, dan 45 °C. Berikut adalah hasil pengujian modulus resilien pada ketiga jenis campuran beraspal.

3.5 Hasil pengujian ketahanan *fatigue*

Kelelahan (*fatigue*) adalah suatu kejadian timbulnya retak akibat beban berulang yang terjadi karena pengulangan tegangan atau regangan yang besarnya masih di bawah batas kekuatan material (Suaryana et. Al., 2018). Pengujian ketahanan retak lelah (*fatigue*) dilakukan dengan menggunakan alat *Beam Fatigue*

Tabel 5. Hasil pengujian *marshall* rendaman

Sifat Campuran	Jenis Campuran		
	AC-WC + Pen. 60/70	AC-WC + BNA Blend	AC-WC + asbuton murni
Kadar aspal (%)	6,35	6,35	6,40
Stabilitas perendaman 30 menit (kg)	1.399	1.499	1.489
Stabilitas perendaman 24 jam (kg)	1.153	1.319	1.271
Indeks Kekuatan Sisa (%)	82,4	88,0	85,4

Tabel 6. Hasil pengujian modulus resilien

No	Temperatur (°C)	Modulus Resilien (MPa)		
		AC-WC + Pen. 60/70	AC-WC + BNA Blend	AC-WC + asbuton murni
1	25	2633	4446	7666
	25	2848	3500	8544
2	35	712	1341	2636
	35	696	1341	2881
3	45	324	497	589
	45	305	416	609

Tabel 7. Hasil pengujian retak lelah (*fatigue*)

No	Regangan ($\mu\epsilon$)	Siklus (<i>cycles</i>)		
		AC-WC + Pen. 60/70	AC-WC + BNA Blend	AC-WC + asbuton murni
1	450	108.728	241.730	19.760
2	550	32.260	127.150	10.940
3	650	6.280	43.830	6.730
4	750	6.240	11.550	3.090

Apparatus dengan menggunakan variasi tegangan 450 $\mu\epsilon$, 550 $\mu\epsilon$, 650 $\mu\epsilon$, dan 750 $\mu\epsilon$. Pemilihan variasi regangan berdasarkan pada pedoman AASHTO T321 yang memberikan rekomendasi regangan berkisar antara 250 $\mu\epsilon$ sampai dengan 750 $\mu\epsilon$. Hasil pengujian retak lelah (*fatigue*) ditunjukkan pada **Tabel 7** dibawah ini, terdapat satu hasil pengujian yang tidak dimasukkan kedalam analisis karena hasilnya tidak masuk dalam kriteria yaitu pada campuran beraspal AC - WC dengan aspal pen. 60/70 pada regangan 6.280 $\mu\epsilon$.

4. Analisis Data

4.1 Analisis data pengujian karakteristik aspal

Dalam penelitian ini digunakan tiga jenis aspal yaitu aspal pen. 60/70, BNA *Blend*, dan asbuton murni dimana hasil pengujian ketiga aspal tersebut dapat dilihat pada **Tabel 2**, **Tabel 3**, dan **Tabel 4**. Dari hasil pengujian tersebut dapat dilihat bahwa BNA *Blend* dan asbuton murni terdapat satu parameter yang tidak memenuhi persyaratan. Karakteristik dan parameter pengujian dari ketiga jenis aspal dijelaskan sebagai berikut:

a. Penetrasi

Hasil pengujian penetrasi pada temperatur standar (25°C) diperoleh nilai penetrasi Aspal Pen 60/70 adalah 60,17, Aspal BNA *Blend* adalah 40,30, dan Asbuton Murni adalah 36,7, dimana hasil-hasil ini telah memenuhi Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yaitu antara 60 – 70 untuk Aspal Pen. 60/70 sedangkan nilai penetrasi untuk Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni tidak dipersyaratkan. Nilai Penetrasi yang semakin rendah menunjukkan bahwa aspal tersebut memiliki kekakuan yang tinggi.

b. Titik lembek

Dari hasil pengujian titik lembek menunjukkan Aspal Pen. 60/70 memiliki nilai titik lembek sebesar 51°C, Aspal BNA *Blend* sebesar 55,6°C dan Asbuton Murni sebesar 56,8°C. Hasil pengujian aspal Pen 60/70 masih memenuhi spesifikasi yang digunakan yaitu minimum 48°C sedangkan nilai titik lembek untuk Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni tidak dipersyaratkan.

c. Analisis kepekaan aspal terhadap temperatur

Pada umumnya aspal memiliki sifat termoplastis dimana aspal akan lunak pada saat dipanaskan dan menjadi keras pada saat didinginkan. Aspal mempunyai kepekaan terhadap temperatur yang ditunjukkan dengan nilai Indeks Penetrasi (PI). Beberapa persamaan untuk menentukan nilai Indeks Penetrasi (PI), seperti ditunjukkan persamaan V.1 dan

V.2 berikut (Pfeiffer dan Van Doormall, dalam Shell, 2003):

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \quad (1)$$

Pfeiffer dan Van Doormall menemukan pada umumnya bitumen (aspal) memiliki nilai penetrasi sebesar 800 dmm pada temperatur titik melembek (*Softening Point*), sehingga persamaan A menjadi:

$$A = \frac{\log Pen T_{25} - \log 800}{T_{...} - T_{...}} \quad (2)$$

dimana:

Pen T_{25} : Nilai penetrasi aspal yang telah diuji pada temperatur 25°C

T_{25} : Temperatur pengujian, 25°C

$T_{pen 800}$: Temperatur aspal yang memberikan nilai penetrasi 800

d. Daktilitas

Pengujian daktilitas pada Aspal Pen. 60/70 didapatkan nilai 140 cm dimana memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat minimum 100 cm. Sedangkan pengujian pada Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni didapatkan nilai sebesar 86,25 dan 140 dimana nilai tersebut tidak dipersyaratkan dalam spesifikasi.

e. Titik nyala dengan *Cleveland Open Cup*

Nilai titik nyala untuk Aspal Pen. 60/70 sebesar 346,04 °C. Sedangkan nilai titik nyala untuk Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni adalah 294,50 °C dan 233,05 °C. Nilai-nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat yang mensyaratkan nilai titik nyala minimum sebesar 232 °C.

f. Uji kehilangan berat setelah TFOT

Pengujian dilaksanakan untuk mengevaluasi ketahanan material aspal akibat adanya penguapan fraksi aspal yang lebih ringan. Hasil pengujian ini diperoleh Aspal Pen. 60/70 memiliki kehilangan berat sebesar 0,035 %. Sedangkan untuk Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni memiliki nilai kehilangan berat setelah TFOT adalah sebesar 0,143 % dan 1,835 %. Pada asbuton murni hasil pengujian kehilangan berat sangat besar dan tidak masuk spesifikasi, hal ini dimungkinkan aspal tersebut masih mengandung minyak yang terlalu banyak karena tidak melewati proses destilasi seperti halnya aspal minyak.

g. Kelarutan dalam *Trichloroethylene*

Untuk pengujian kelarutan dalam *Trichloroethylene* ini aspal Pen 60/70 didapat nilai kelarutan sebesar 99,46

% dimana persyaratan yang terdapat pada Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat adalah minimum 99%. Sedangkan nilai kelarutan untuk Aspal BNA *Blend* dan Asbuton Murni adalah sebesar 90,23 % dan 99,78 % dimana untuk ketiga jenis aspal tersebut semuanya memenuhi persyaratan dari spesifikasi.

h. Viskositas

Viskositas adalah salah satu sifat penting aspal yang dapat menunjukkan perubahan perilaku aspal akibat perubahan temperatur. Sebagai parameter kemudahan pelaksanaan di lapangan, dibutuhkan viskositas aspal yang sesuai dalam tahap pencampuran dan pemadatan campuran beraspal. Dari hasil pengujian dapat dilihat pada Asbuton Murni memiliki temperatur pencampuran dan pemadatan paling tinggi dimana hal ini menunjukkan kekentalan Asbuton Murni yang paling tinggi.

4.2 Analisis data pengujian marshall

Dalam penelitian ini didapatkan Kadar Aspal Optimum untuk aspal Pen 60/70 adalah 6,35 %, Aspal BNA *Blend* adalah 6,35 %, dan Asbuton Murni 6,40 %. Desain campuran beraspal panas pada Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat mensyaratkan rongga udara dalam campuran, rongga dalam agregat, rongga terisi aspal, stabilitas campuran, stabilitas sisa rendaman campuran, pelelehan dan rongga dalam campuran pada kepadatan membal.

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran aspal setelah dipadatkan. Semakin besar angka kepadatan campuran beraspal panas maka campuran beraspal tersebut semakin rapat. Besaran kepadatan yang tinggi pada campuran beraspal diharapkan mempunyai kemampuan menahan beban yang lebih baik, hal ini disebabkan adanya kontak antar agregat yang lebih besar sehingga gesekan antar agregat menjadi lebih besar juga. Tetapi dengan besaran kepadatan yang tinggi akan menyebabkan rongga udara dalam campuran beraspal yang semakin rendah. Kepadatan pada campuran beraspal akan meningkat sampai kadar aspal tertentu kemudian menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai kepadatan pada KAO untuk campuran beraspal dengan Aspal Pen. 60/70 adalah 2,323 kg/cm³, Aspal BNA *Blend* adalah 2,318 kg/cm³ dan Asbuton Murni adalah 2,316 kg/cm³.

Nilai VIM tertinggi didapat pada Aspal BNA *Blend* yaitu sebesar 4,66 %, kemudian Aspal Pen. 60/70 sebesar 4,59 %, dan paling kecil adalah Asbuton Murni sebesar 4,51 %. Hal ini berbanding lurus dengan hasil kepadatan pada ketiga campuran yang memiliki nilai yang hampir setara. Dari hasil pengujian didapatkan bahwa rongga udara dalam campuran memenuhi persyaratan yang terdapat pada Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, yaitu minimum 3% dan maksimum 5%.

Stabilitas adalah parameter empiris untuk mengetahui kemampuan perkerasan jalan dalam menerima beban lalu lintas tanpa adanya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, dan *bleeding*. Dari hasil pengujian

dapat dilihat bahwa pengaruh mineral pada Aspal BNA *Blend* akan meningkatkan nilai stabilitas campuran. Nilai stabilitas campuran beraspal panas dengan Aspal Pen. 60/70 sebesar 1209 kg, Aspal BNA *Blend* sebesar 1432 kg, dan Asbuton Murni sebesar 1310 kg. Stabilitas pada campuran beraspal dengan BNA *Blend* memiliki nilai yang paling tinggi, hal ini dapat terjadi karena dalam kandungan aspal masih terdapat mineral sehingga memberikan dukungan terhadap peningkatan stabilitas. Nilai stabilitas ini tidak berbanding lurus dengan nilai kepadatan, dimana dengan kepadatan yang hampir setara dapat dihasilkan nilai stabilitas yang berbeda. Hal ini dimungkinkan nilai penetrasi pada aspal yang rendah dapat ikut membantu meningkatkan nilai stabilitas. Dari penelitian ini stabilitas *Marshall* dari ketiga jenis campuran beraspal memenuhi persyaratan dalam spesifikasi dimana persyaratannya adalah minimum 800 kg (Aspal Pen.) dan 1000 kg (Aspal modifikasi).

4.3 Analisis data pengujian marshall rendaman

Pengujian perendaman *Marshall* mempunyai tujuan mengetahui durabilitas campuran beraspal panas terhadap pengaruh dari rendaman air dan perubahan terhadap temperatur yang ditandai dengan hilangnya ikatan antara aspal dan agregat. Hal tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi kelekatan agregat dengan aspal yang bergantung pada bentuk dan jumlah pori agregat, kadar aspal, kepadatan, kandungan rongga, dan gradasi agregat.

Berdasarkan hasil pengujian sesuai **Tabel 5** diatas, dari ketiga jenis campuran beraspal yang diuji tidak ada yang memenuhi persyaratan yaitu minimal 90%. Hal tersebut mengindikasikan bahwa ketiga campuran tersebut tidak tahan terhadap pengaruh rendaman air. Menurut Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 dijelaskan bahwa apabila campuran beraspal panas memiliki nilai Stabilitas *Marshall* Sisa lebih kecil dari yang dipersyaratkan maka dapat ditambahkan bahan anti pengelupasan. Bahan anti pengelupasan dapat ditambahkan kedalam campuran apabila Stabilitas *Marshall* Sisa setelah direndam 24 jam minimal 75%.

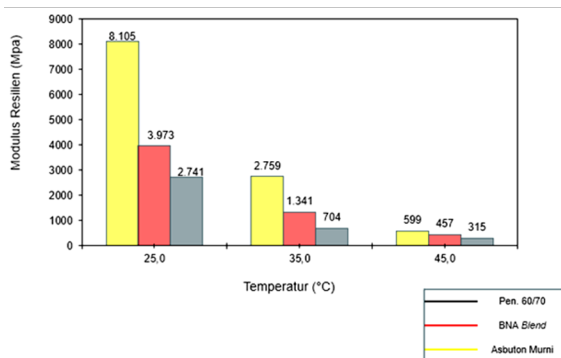
4.4 Analisis data pengujian modulus resilien

Dari hasil pengujian **Tabel 6** dan **Gambar 5** dapat dilihat bahwa pada temperatur pengujian 25°C dan 35°C nilai Modulus Resilien campuran beraspal dengan Asbuton Murni lebih besar dari campuran menggunakan Aspal BNA *Blend* maupun Aspal Pen. 60/70 dengan perbedaan nilai modulus ketiga campuran tersebut yang cukup besar. Tetapi pada temperatur 45°C, nilai modulus resilien ketiga jenis campuran beraspal tidak berbeda jauh.

Dari pengujian terhadap temperatur yang berbeda tersebut dapat dilihat bahwa nilai Modulus resilien pada temperatur 25°C lebih tinggi dibandingkan temperatur 35°C dan 45°C, dimana hal ini terjadi pada semua campuran beraspal AC-WC. Hal ini menunjukkan bahwa semakin kecil temperatur campuran beraspal AC-WC maka semakin tinggi kekakuan dari campuran tersebut. Hal ini

menunjukkan bahwa campuran beraspal AC-WC dengan asbuton murni memiliki kekakuan yang paling tinggi.

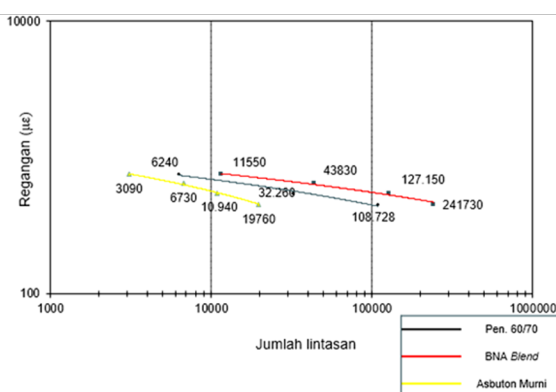
Tenrilangi (2004) mengutip dari edan Nahas (1993) menyebutkan bahwa dengan bertambahnya temperatur, Modulus Resilien aspal akan terus berkurang dan pada suatu saat Modulus Resilien campuran akan mencapai keadaan yang stabil yang disebabkan oleh kondisi saling mengunci antar agregatnya, sehingga Modulus Resilien bukan hanya bergantung pada sifat rheologi aspal tetapi juga dari desain campuran beraspal itu sendiri serta karakteristik atau properties material agregat.



Gambar 5. Hasil pengujian modulus resilien

4.5 Analisis data pengujian *fatigue*

Pada penelitian ini, pengujian ketahanan campuran terhadap retak lelah (*fatigue*) dilakukan pada temperatur pengujian sebesar 20°C. Benda uji dipadatkan dengan alat WTM, dimensi benda uji berupa balok berukuran 6x5x48 cm³ diberi beban berulang dengan regangan yang tetap, hingga balok tersebut mengalami keruntuhan yang didefinisikan saat modulusnya sudah mencapai 50% dari modulus awalnya.



Gambar 6. Hasil Pengujian Retak Lelah (*fatigue*)

Berdasarkan hasil pengujian, menunjukkan campuran beraspal AC-WC dengan Asbuton Murni memiliki ketahanan terhadap retak lebih kecil dibandingkan dengan campuran beraspal dengan Aspal Pen. 60/70 dan BNA Blend. Hasil ini menunjukkan kinerja yang lebih buruk jika dilihat dari aspek ketahanan terhadap retak,

khususnya pada regangan uji yang besar. Hal tersebut berbanding terbalik dengan dengan hasil pengujian modulus resilien. Tetapi berbeda dengan hasil pengujian campuran beraspal dengan BNA Blend yang memiliki ketahanan retak lelah yang paling tinggi. Kejadian tersebut dimungkinkan karena BNA Blend masih mengandung mineral dan terdapat bahan tambah yang mengakibatkan aspal tersebut memiliki kelenturan yang tinggi.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

1. Penggunaan aspal BNA Blend dan asbuton murni pada campuran beraspal panas dapat meningkatkan kinerja stabilitas dibandingkan campuran beraspal panas dengan aspal pen. 60/70.
2. Aspal BNA Blend dan asbuton murni memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dari aspal pen 60/70, tetapi kedua jenis aspal tersebut memiliki keunggulan yaitu mempunyai nilai titik lembek yang tinggi.
3. Nilai modulus resilien campuran beraspal AC-WC dengan Asbuton murni mempunyai nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran beraspal BNA Blend dan Aspal Pen 60/70 pada temperatur 25°C dan 35°C, hal ini menunjukkan bahwa campuran beraspal Asbuton murni pada suhu tersebut memiliki kemampuan dalam menahan deformasi yang lebih baik.
4. Campuran beraspal AC-WC dengan BNA Blend memiliki umur kelelahan yang lebih baik jika dibandingkan dengan campuran beraspal pen 60/70 dan campuran beraspal asbuton murni.

5.2 Saran

1. Disarankan adanya penggunaan bahan anti pengelupasan (*anti stripping agent*) pada ketiga jenis campuran aspal yang diteliti.
2. Perlu dilakukan pengujian lanjut terhadap campuran beraspal panas dengan menggunakan variasi penambahan Asbuton murni terhadap Aspal Pen 60/70 dengan variasi penambahan yang lebih beragam.
3. Disarankan melakukan pengujian modulus resilien dengan variasi suhu dan jumlah benda uji yang lebih banyak agar lebih mewakili hasil pengujian.

Daftar Pustaka

AASHTO T 321 (2014): *Determining the Fatigue Life of Compacted Asphalt Mixtures Subjected to Repeated Flexural Bending*, Washington D.C.

Affandi, Furqon (2006): *Hasil Pemurnian Asbuton Lawele Sebagai Bahan Pada Campuran Beraspal untuk Perkerasan Jalan*, Jurnal Jalan-Jembatan vol 23 no.3 November 2006, Puslitbang Jalan dan Jembatan, Departemen Pekerjaan Umum.

- ASTM D 4123 (1995): *Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*, Washington D.C.
- Atmodjo, U.H., Hadiwardoyo, S.P. (2013): *Kontribusi Aspal Buton Dalam Perubahan Karakteristik Modulus Resilient*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Azka, Afina (2020): *Analisis Kinerja Campuran Lapis Antara (AC-BC) dan Hot Rolled Asphalt Menggunakan Asbuton Murni (Full Ekstraksi)*, Tesis, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung.
- Djunaedi, Rico Octriyana (2015): *Kajian Karakteristik Reologi Campuran Lataston (HRS-WC) Berdasarkan Spesifikasi Kementerian Pekerjaan Umum Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dengan Penambahan Asbuton Murni*, Tesis, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung.
- Huang, Y.H. (2004). *Pavement Analysis and Design*, Second Edition. New Jersey: Pearson Education Inc.
- Luftiawan, E., Hadiwardoyo, S.P. (2013): *Buton Natural Aspal (BNA) Sebagai Bahan Tambah Pada Aspal Beton Campuran Panas Mengatasi Deformasi Akibat Beban Roda*, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Indonesia.
- Nurcahya, Aldian (2015): *Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy*, Tesis, Program Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung.
- Suaryana et. al. (2018): *Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal dengan Bitumen Hasil Ekstraksi Penuh dari Asbuton*, Bandung: Media Komunikasi Teknik Sipil.

