

Analisis Eksperimental Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)* Menggunakan Asbuton Murni *Full Ekstraksi* Dengan *Modifier Bioaspal Tandan Kelapa Sawit*

Muhammad Syakur Asyurah^{1*}, Bambang Sugeng Subagio²

^{1,2} Program Studi Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung, Bandung, INDONESIA

*Corresponding author: syakurasyurah17@gmail.com

INTISARI

Aspal Buton, sering dikenal dengan Asbuton merupakan jenis aspal yang diperoleh dari alam. Bahan perkerasan yang dikontrol dengan asbuton memiliki kinerja baik, khususnya bila digunakan sebagai material permukaan jalan. Bioaspal merupakan alternatif aspal yang terbuat dari sumber daya terbarukan berbasis non-minyak bumi yang diproduksi dari bahan baku organik. Pengujian yang dilakukan pada campuran beraspal yaitu campuran aspal dengan gradasi AC-WC. Terdapat Empat jenis Campuran yang terdiri dari: *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* dengan komposisi 100% material tanpa Bioaspal dan Asbuton Murni *Full Ekstraksi* sebagai kontrol campuran, Campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course (AC-WC)* dengan komposisi Asbuton Murni *Full Ekstraksi* sebesar 7%, 8%, dan 9% terhadap berat total campuran dan penambahan kadar optimum Bioaspal TKS sebagai *modifier*. Campuran tersebut dianalisis terhadap kinerja: *Marshall* dan Modulus Resilien. Dari hasil penelitian didapatkan, Berdasarkan semua jenis campuran AC-WC dengan gabungan Aspal Pen 60/70 dan BioTKS 5% pada karakteristik campuran terhadap penambahan Asbuton Murni *Full Ekstraksi* 7%, 8%, dan 9% memiliki nilai stabilitas marshall yang mengalami peningkatan seiring penambahan kadar Asbuton Murni *Full Ekstraksi* dan didapatkan nilai modulus resilien campuran memiliki nilai Modulus Resilien AC-WC dan BioTKS 5% terhadap penambahan Asbuton Murni *Full Ekstraksi* 7%, 8%, dan 9% lebih besar dari campuran AC-WC kontrol.

Kata kunci: Asbuton Murni *Full Ekstraksi*, Bioaspal Tandan Kelapa Sawit, Modulus Resilien.

1 PENDAHULUAN

Aspal Buton, sering dikenal dengan Asbuton berasal dari Pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara merupakan jenis aspal yang diperoleh dari alam. Bahan perkerasan yang dikontrol dengan asbuton memiliki kinerja baik, khususnya bila digunakan sebagai material permukaan jalan. Hasil yang diperoleh tidak setara dengan menggunakan aspal kilang konvensional, terlepas dari jenis campuran yang dipertimbangkan (Subagio, 2003). Asbuton Murni *Full Ekstraksi* ini merupakan hasil ekstraksi dari Asbuton Lawele sampai didapat aspal murni, yang mana kandungan mineralnya dapat dikatakan sudah tidak ada lagi atau lebih kecil dari 1%. Asbuton Murni *Full Ekstraksi* dalam pemanfaatannya masih membutuhkan *modifier* untuk mengoptimalkan penggunaan asbuton sehingga mudah dalam perencanaan dan pencampurannya. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2, masing-masing berat total campuran beraspal panas dengan Aspal Pen. 60-70 terhadap asbuton dibatas dari 7% sampai dengan 10%.

Saat ini, bahan *modifier* yang digunakan di Indonesia masih menggunakan bahan *modifier* produk dari luar negeri sehingga pemanfaatan Asbuton murni masih dianggap belum efektif dalam mengatasi pemenuhan kebutuhan aspal dalam negeri. Oleh karena itu, ditemukan suatu bahan peremaja lokal yang dapat menggantikan bahan peremaja impor untuk mengefektifkan penggunaan Asbuton.

Bioaspal merupakan alternatif aspal yang terbuat dari sumber daya terbarukan berbasis non-minyak bumi yang diproduksi dari bahan baku organik seperti limbah pertanian, limbah peternakan, atau biomassa lainnya. Menurut Speight (2016), bioaspal ini merupakan fraksi-fraksi dari bio-oil yang berasal dari biomassa yang memiliki kandungan lignin. Lignin merupakan struktur gugus fungsi serupa dengan fraksi resin bahan pengikat dan campuran aspal. Fungsi bio-oil ini berfungsi untuk memperpanjang umur perkerasan aspal dengan mengurangi kegagalan terkait penuaan seperti retak termal dan kelelahan. Selain itu, lignin ditemukan memiliki efek yang besar terhadap pelebaran rangkaian pengikat aspal tingkat kinerja. Pada penelitian yang dilakukan oleh Sihombing (2020), penggunaan Bioaspal Tempurung Kelapa (BTK) dengan kandungan lignin sebesar 29,4% sebagai bahan *modifier* untuk campuran beraspal panas AC-WC yang mengandung Asbuton B 50/30 dengan kadar ASB optimum 7% dan kadar bioaspal 6,5% terhadap berat ASB memiliki perancangan campuran yang paling baik berdasarkan pengujian *Marshall* dan UMATTA. Selain itu, campuran AC-WC+BTK+ASB memberikan umur fatigue yang lebih panjang dibandingkan dengan AC-WC kontrol. Bioaspal ini terbuat dari biomassa yang mengandung lignin, salah satunya sering dijumpai di Indonesia adalah Tandan Kelapa Sawit, dimana kandungan ligninnya sebesar 19% (Aditya, 2017).

Berdasarkan latar belakang tersebut, diperlukan analisis lebih lanjut mengenai penggunaan bioaspal Tandan Kelapa Sawit (BioTKS) sebagai *modifier* asbuton murni *full* ekstraksi pada campuran *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) terhadap kinerja: *Marshall* dan Modulus Resilien.

2 METODE PENELITIAN

Pada penelitian ini menitik beratkan diantaranya pengujian campuran material Asbuton Murni *Full* Ekstraksi menggunakan *modifier* bioaspal Tandan Kelapa Sawit terhadap kinerja: *Marshall* dan kinerja Modulus Resilien. Metodologi penelitian yang akan digunakan berbasis metode eksperimental di laboratorium berdasarkan prosedur yang digunakan mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2, SNI atau prosedur yang belum termuat di SNI seperti ASTM dan AASHTO.

Campuran beraspal terdiri dari material agregat kasar, agregat halus, dan aspal. Sebelum material-material tersebut digunakan pada campuran beraspal, material harus dilakukan pengujian karakteristik sesuai dengan spesifikasi agar campuran dapat memberikan hasil yang sesuai. Pengujian dan syarat pada material agregat dan aspal yaitu berdasarkan spesifikasi yang digunakan. Aspal Pen 60/70 yang digunakan sebagai bahan campuran beraspal, harus dilakukan pengujian terhadap bahan aspal untuk mengetahui sifat dan karakteristik aspal tersebut. Jenis pengujian yang dilakukan berdasarkan pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Material asbuton murni *full* ekstraksi ini diuji untuk mengetahui karakteristiknya berdasarkan Spesifikasi Khusus Campuran Beraspal Panas Asbuton Murni SKh-1.6.29 Tahun 2022. Bioaspal yang digunakan dari biomassa limbah Tandan Kelapa Sawit.

Pengujian yang dilakukan pada campuran beraspal yaitu campuran aspal dengan gradasi AC-WC. Terdapat Empat jenis Campuran yang terdiri dari: *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) dengan komposisi 100% material tanpa Bioaspal dan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi sebagai kontrol campuran, Campuran *Asphalt Concrete - Wearing Course* (AC-WC) dengan komposisi Asbuton Murni *Full* Ekstraksi sebesar 7%, 8%, dan 9% terhadap berat total campuran dan penambahan kadar optimum Bioaspal TKS sebagai *modifier*.

Penentuan kadar bioaspal optimum sebagai *modifier* Asbuton Murni *Full* Ekstraksi sehingga pada penelitian ini dilakukan dengan menggunakan BioTKS sebagai *modifier* tiap variasi kadar 0%, 3%, 5% 7%, dan 9% dari berat aspal Asbuton Murni *Full* Ekstraksi yang diawali dengan pencampuran bioaspal dengan asbuton murni kemudian diuji karakteristik Penetrasi sesuai SNI 2456:2011. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui persentase optimum sehingga nilai penetrasi setelah ditambahkan bioaspal sama dengan nilai penetrasi aspal pen 60/70.

Kadar Aspal Optimum (KAO) didapatkan dengan melakukan pengujian *marshall*, berdasarkan evaluasi percobaan setiap campuran dengan kadar aspal berbeda yang nantinya dapat disimpulkan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Pada pengujian Modulus Resilien campuran beraspal dengan metode *Indirect Tensile Test* menggunakan alat *Universal Material Apparatus* (UMATTA) yang mengacu pada AASHTO TP-31 dan ASTM D 4132-82. Variasi temperatur yang menjadi acuan adalah 20°C, tetapi temperatur di Indonesia melebihi suhu acuan. Pada suhu 45°C untuk menyimulasikan kondisi temperatur ekstrim di Indonesia sehingga pada penelitian ini digunakan variasi suhu 25°C, 35°C, dan 45°C dengan pembebanan kuat tarik tidak langsung (*indirect tensile*). Benda uji yang digunakan pada pengujian Modulus Resilien menggunakan benda uji marshal dengan kondisi KAO dengan dua benda uji untuk masing masing variasi sesuai dengan ASTM D4123.

3 HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar dan Agregat Halus

Berikut adalah hasil pengujian karakteristik agregat yang ditunjukkan pada Tabel 1 dan Tabel 2.

Tabel 1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
Kekekalan bentuk agregat terhadap Larutan Magnesium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks.18%	2,76
Abrasi dengan <i>Los Angeles</i>	SNI 2417:2008	Maks.30%	20,84
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 2439:2011	Min.95%	97

Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
Butir pecah pada agregat kasar	SNI 7619:2012	95/90*	100/92,97
Partikel pipih dan lonjong	SNI 8287:2016	Maks.10%	8,48
Material lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks.1%	0,14

Tabel 2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min.50%	62,5%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min.45%	49,31%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks.1%	0,91%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks.10 %	7,22%

3.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi

Pengujian aspal dilakukan terhadap Aspal Pen. 60/70 dan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi yang diolah secara pabrikasi. Karakteristik Aspal Asbuton Murni *Full* Ekstraksi akan dibandingkan terhadap persyaratan pada spesifikasi Aspal Pen. 60/70 dari Spesifikasi Umum Revisi 2 (2018) Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat dan Spesifikasi Khusus Campuran Beraspal Panas Asbuton Murni SKh-1.6.29 Tahun 2022 setara kelas kinerja. Hasil dari pengujian karakteristik aspal disajikan pada Tabel 3. untuk Aspal Pen. 60/70 dan Tabel 4. untuk Asbuton Murni *Full* Ekstraksi.

Tabel 3. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal Pen. 60/70

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	60/70	66,7
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥300	459,61
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48,0	49
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	≥ 150
5	Titik Nyala dan Titik Bakar (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	336 & 344
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99,0	99,7
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0	1,034
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002)				
8	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	< 0,8	0,006
9	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54,0	54,70
10	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48,0	50
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50,0	≥ 150

Tabel 4. Hasil Pengujian Karakteristik Asbuton Murni *Full* Ekstraksi

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
1	Penetrasi pada 25°C (0,1mm)	SNI 2456:2011	-	36,7
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥300	844,0
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	-	55,0
4	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	≥150
5	Titik Nyala dan Titik Bakar (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230	248&258

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Syarat	Hasil Uji
6	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	$\geq 99,0$	99,61
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	1,059
Pengujian Residu hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002)				
8	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	< 1	0,254
9	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	-	31,8
10	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	-	59,0
11	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	-	≥ 150

3.3 Hasil Penentuan Kadar Bioaspal Optimum

Pengujian penetrasi pada Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dengan berat 60% terhadap berat total dan Aspal Pen. 60/70 dengan berat 40% terhadap berat total dilakukan pada kondisi sebelum dan sesudah penambahan BioTKS dengan variasi penambahan BioTKS terhadap berat total Asbuton Murni *Full* Ekstraksi adalah 0%, 3%, 5%, 7%, dan 9%. Hal tersebut dilakukan untuk mengetahui persentase optimum sehingga nilai penetrasi setelah ditambahkan bioaspal sama dengan nilai penetrasi aspal pen 60/70. Adapun penetrasi masing-masing campuran bioaspal, Aspal Pen. 60/70 dan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan pada pengujian penetrasi, dapat diketahui bahwa persentase optimum bioaspal yang ditambahkan pada Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dan Aspal Pen. 60/70 sebagai bahan *modifier* untuk mendapatkan properties yang sama dengan Aspal Pen. 60/70 adalah 5% BioTKS.

Tabel 5. Hasil Pengujian Penetrasi tiap Variasi Kadar Bioaspal

Kadar Bioaspal	Nilai Penetrasi
60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 40% Aspal Pen. 60/70 + 0% BioTKS	50,1
60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 40% Aspal Pen. 60/70 + 3% BioTKS	61,5
60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 40% Aspal Pen. 60/70 + 5% BioTKS	66,1
60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 40% Aspal Pen. 60/70 + 7% BioTKS	74,2
60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 40% Aspal Pen. 60/70 + 9% BioTKS	77,8

Indeks penetrasi menunjukkan sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu, di mana aspal memiliki sifat termoplastis yaitu akan bersifat lunak ketika dipanaskan dan akan bersifat keras saat didinginkan dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Indeks Penetrasi (PI)

Jenis Campuran	T	t	Pi	SP	PI
Aspal Pen 60/70	25	0,25	66,7	49	-0,77
Asbuton Murni <i>Full</i> Ekstraksi	25	0,25	36,7	55	-0,72
40% Aspal Pen 60/70 + 60% Asbuton Murni Full Ekstraksi + 5% BioTKS	25	0,25	66,1	54,15	0,49

3.4 Hasil Pengujian Marshall Tiap Campuran

Pengujian campuran AC-WC yang mengandung Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dengan BioTKS sebagai modifier dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan BioTKS sebagai modifier dengan bertambahnya jumlah Asbuton Murni *Full* Ekstraksi pada campuran beraspal AC-WC. penentuan nilai KAO serta rentang nilai masing-masing parameter mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga Tahun 2018 (revisi 2).

Tabel 7. Sifat Tiap Campuran AC-WC Pada KAO

Sifat - Sifat Campuran	Satuan	Hasil Pengujian Campuran AC-WC				Spesifikasi Bina Marga
		Kontrol	ASB 7%	ASB 8%	ASB 9%	
Kadar Aspal Optimum	%	6,23	6,16	6,19	6,21	-
Kepadatan	t/m ³	2,335	2,342	2,347	2,341	-
Rongga Dalam Mineral Agregat (VMA)	%	18,29	17,83	17,80	18,03	Min. 14
Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	4,46	4,09	4,10	4,28	Min. 3, Maks 5
Rongga Dalam Campuran (%) pada Kepadatan Membal (Refusal) / VIM PRD	%	2,75	2,87	2,52	2,44	Min.2
Rongga Terisi Bitumen (VFB)	%	75,78	76,97	76,76	76,18	Min.65
Stabilitas Marshall	kg	1392,47	1197,06	1281,61	1294,01	Min. 1000
Pelelehan	mm	3,46	3,37	2,67	3,40	Min.2, Maks.4
Rasio Partikel Lolos Ayakan 0,075 mm dandan Kadar Aspal Efektif	%	1,06	1,06	1,06	1,06	Min. 0,6, Maks. 1,6
Kadar Aspal Efektif	%	6,13	6,15	6,12	6,16	Min. 4,3

3.5 Hasil Pengujian Modulus Resilien

Pengujian modulus resilien pada penelitian ini dilakukan pada 4 jenis campuran beraspal menggunakan alat *Universal Material Testing Apparatus* (UMATTA) dengan benda uji diametral seperti benda uji Marshall dan dibuat pada Kadar Aspal Optimum. Pengujian mengacu kepada ASTM D 4123-82 (1987) yang diatur pada *loading pulse width* 250 ms, *pulse repetition period* 3000 ms pada temperatur pengujian 20 °C, 25 °C, 35 °C, dan 45 °C.

Tabel 8. Hasil Pengujian Modulus Resilien Tiap Campuran AC-WC

Variasi	Temperatur Pengujian (°C)	Total Deformasi Horizontal (µm)	Beban Puncak (N)	Modulus Resilien (MPa)
AC-WC Kontrol	25	10,81	1.988,0	1981
	35	27,98	1.491,0	571
	45	53,73	1.354,0	270
AC-WC ASB 7% + ASPAL PEN 60/70 + BioTKS	25	9,69	2.005,0	2223
	35	23,99	1.499,0	671
	45	44,45	1.359,0	328
AC-WC ASB 8% + ASPAL PEN 60/70 + BioTKS	25	9,12	2.004,0	2368
	35	21,06	1.501,0	769
	45	43,82	1.353,0	331
AC-WC ASB 9% + ASPAL PEN 60/70 + BioTKS	25	8,29	2.004,0	2611
	35	20,17	1.482,0	790
	45	42,49	1.364,0	345

Dari Tabel dapat dilihat bahwa pada temperatur pengujian 25°C, 35°C dan 45°C nilai Modulus Resilien campuran AC-WC beraspal mengandung modifikasi Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dan *modifier* BioTKS lebih besar dari campuran AC-WC kontrol. Nilai Modulus Resilien sangat dipengaruhi oleh faktor temperatur, dengan meningkatnya temperatur maka akan menurunkan nilai Modulus Resilien. Pengaruh temperatur terhadap sifat mekanistik campuran

beraspal terutama disebabkan karena terjadinya perubahan sifat aspal yang terkandung di dalamnya. 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. Hal ini ditunjukkan dari hasil pengujian pada temperatur 45°C mempunyai nilai yang lebih kecil, jika dibandingkan dengan pengujian pada temperatur 35°C dan 25°C. Kenaikan temperatur pengujian dari 25°C, 35°C ke 45°C menyebabkan penurunan Modulus Resiliennya. Penurunan ini menunjukkan bahwa sifat aspal sangat mempengaruhi besar Modulus Resilien dan perubahannya akibat perubahan temperatur. Penambahan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dengan Bioaspal Tandan Kelapa Sawit memberikan pengaruh kekakuan yang meningkat seiring bertambahnya Asbuton Murni *Full* Ekstraksi di suhu 25°C, 35°C, dan 45°C. Hal ini sesuai dengan temuan yang telah disampaikan pada bagian terdahulu, dimana penambahan kadar bitumen Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dan *modifier* BioTKS meningkatkan nilai PI (menurunkan *temperature susceptibility*).

4 KESIMPULAN

Bioaspal Tandan Kelapa Sawit (BioTKS) dapat digunakan sebagai bahan *modifier* bagi aspal Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dengan komposisi optimum untuk dapat menghasilkan aspal menjadi lebih lunak yang memberikan nilai penetrasi sesuai dengan spesifikasi Aspal Pen 60/70. Adapun kadar bioaspal optimum terhadap aspal Asbuton Murni *Full* Ekstraksi adalah BioTKS 5%.

Berdasarkan semua jenis campuran AC-WC dengan gabungan Aspal Pen 60/70 dan BioTKS 5% pada karakteristik campuran terhadap penambahan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi 7%, 8%, dan 9% memiliki nilai stabilitas marshall yang mengalami peningkatan seiring penambahan kadar Asbuton Murni *Full* Ekstraksi. Ketiga campuran yang mengandung modifikasi Asbuton Murni *Full* Ekstraksi dan BioTKS memiliki stabilitas yang lebih kecil dari campuran AC-WC kontrol, namun ketiga campuran tersebut masih masuk kedalam Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 (revisi 2) yang menyatakan bahwa nilai stabilitas untuk campuran AC-WC dengan Aspal Modifikasi memiliki nilai minimal 1000 kg.

Berdasarkan kinerja Modulus Resilien pada jenis campuran AC-WC dan BioTKS 5% terhadap penambahan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi 7%, 8%, dan 9% menunjukkan hasil pengujian Modulus Resilien dengan pengujian metode *Indirect Tensile Modulus Test* menggunakan alat UMATTA, didapatkan nilai modulus resilien campuran beraspal pada temperatur pengujian 25°C, 35°C, dan 45°C memiliki nilai Modulus Resilien AC-WC dan BioTKS 5% terhadap penambahan Asbuton Murni *Full* Ekstraksi 7%, 8%, dan 9% lebih besar dari campuran AC-WC kontrol.

REFERENSI

Asphalt Institute. (1989). *The Asphalt Handbook*. USA: Asphalt Institute.

ASTM D 4123 (1995): *Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*, Washington D.C.

EN 12697-24:2012. (2012). *Bituminous mixtures - Test methods for hot mix asphalt - Part 24: Resistance to fatigue*. London: British Standards Institution

Lv,S. et.al. (2021). *Laboratory Experiments of Various Bio-Asphalt on Rheological and Microscopic Properties*. Journal of Cleaner Production. ELSEVIER.

Sihombing, A.V. (2020). *Bioaspal sebagai Rejuvenator RAP dan Modifier Asbuton Dalam Campuran Beraspal*. Disertasi Program Doktor Teknik Sipil. Institut Teknologi Bandung.

Speight, J. G. (2016). *Asphalt Materials Science and Technology*. Waltham: ELSEVIER.

Subagio, B. S., et al. (2003). *Development of Laboratory Performance of Indonesia Rock Asphalt (ASBUTON) in Hot Rolled Asphalt Mix*. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies. Vol 4. Civil Engineering Dept. Institut Teknologi Bandung.