

UJI DURABILITAS DAN PENUAAN CAMPURAN BERASPAL LAPIS AUS (AC-WC) DENGAN BAHAN TAMBAH LIMBAH BOTOL PLASTIK TERHADAP VARIASI LAMA RENDAMAN

Imran KAABA^{1*}, Fadly ACHMAD¹, Fricce L. DESEI

¹Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Gorontalo, Gorontalo, Indonesia

*Email korespondensi: kaabaimran7@gmail.com

[diterima: 23 Februari 2022, disetujui: 3 Juli 2022]

ABSTRACT

Plastic asphalt in Gorontalo is still a novelty. The use of packaging with plastic materials is quite significant, so modification of the plastic asphalt mixture can be an alternative to reduce plastic waste in Gorontalo. In this test, the plastic was modified with a mixture of AC-WC. The purpose of the durability and aging test is to analyze the value of the Residual Strength Index (RSI), First Durability Index (FDI), and Second Durability Index (SDI). STOA specimens were made by placing the specimens in bulk in the oven for 4 hours at a temperature of 135°C, while the LTOA specimens were in the oven in a solid state for 2 days at a temperature of 85°C, then soaked in waterbatch at a temperature of 60°C with variations in soaking time of 0.5 hours, 24 hours, 48 hours, 72 hours, and 96 hours. The parameters of the durability of the mixture are observed from RSI, FDI, and SDI. The results showed that the asphalts content value obtained through the results of previous research was 6.75%. the stability values for normal, STOA, and LTOA specimens test were 1,178.97kg, 1,057.68kg, and 955.79kg, respectively. RSI values on normal, STOA, and LTOA were 95.88%, 93.58%, and 91.88%, respectively. The FDI with a slope value (*r*) for normal, STOA and LTOA specimen test were 0.64%, 0.88%, and 0.98% respectively. SDI of normal, STOA, and LTOA specimen test for (*a*) value were 7.35%, 10.76%, and 12.29%, respectively. KAO in the Marshall Test this research was a mixture of asphalt with 1.2% of plastic and a wet process mixture that has the highest durability value of 95.88%. The longer the soaking, the lower the stability value obtained.

Key words: Asphalt Durability, Plastic Bottle Waste, Asphalt Aging, Polyethylene Terephthalate (PET).

INTISARI

Aspal plastik di Gorontalo masih merupakan hal yang baru. Penggunaan kemasan dengan bahan plastik tergolong banyak, sehingga modifikasi campuran aspal plastik bisa jadi alternatif untuk mengurangi sampah plastik di Gorontalo. Pengujian kali ini, plastik dimodifikasi dengan campuran AC-WC. Tujuan pengujian durabilitas dan penuaan adalah untuk menganalisis nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS), Indeks Durabilitas Pertama (IDP), dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK). Pembuatan benda uji *STOA* dilakukan dengan cara memasukkan benda uji dalam keadaan curah ke dalam oven selama 4 jam dengan suhu 135°C, sedangkan untuk *LTOA* benda uji dioven dalam keadaan padat selama 2 hari dengan suhu 85°C, kemudian direndam pada *waterbatch* dengan suhu 60°C dengan variasi lama rendaman 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, 96 jam. Parameter keawetan campuran dilihat dari nilai IKS, IDP, dan IDK. Berdasarkan hasil penelitian nilai kadar aspal yang diperoleh melalui hasil penelitian sebelumnya sebesar 6,75%. Nilai stabilitas untuk benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* secara berturut-turut sebesar 1.178,97 kg, 1.057,68 kg, dan 955,79 kg. Nilai IKS pada benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* secara berturut-turut sebesar 95,88%, 93,58%, 91,88%. IDP dengan nilai kelandaian (*r*) untuk benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* secara berturut-turut sebesar 0,64%, 0,88%, dan 0,98%. IDK benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* untuk nilai (*a*) secara berturut-turut sebesar 7,35%, 10,76%, dan 12,29%. KAO pada pemeriksaan *Marshall Test* kali ini merupakan campuran aspal dengan plastik sebanyak 1,2% campuran *wet process* memiliki nilai durabilitas tertinggi yaitu 95,88 %. Semakin lama rendaman maka semakin rendah nilai stabilitas yang didapatkan.

Kata kunci: Durabilitas Aspal, Limbah Botol Plastik, Penuaan Aspal, *Polyethylene Terephthalate* (PET).

PENDAHULUAN

Latar Belakang

Pada perkerasan jalan, campuran *AC-WC* digunakan untuk lapis permukaan paling atas (lapis aus) sehingga sering kali mengalami kerusakan atau penurunan kekuatan. Proses penuaan (*aging*) adalah salah satu penyebab kerusakan dan penurunan kekuatan pada perkerasan lentur aspal serta pengaruh yang diakibatkan oleh perubahan temperatur. Proses penuaan ini dapat meningkatkan kekakuan campuran aspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran, dan selanjutnya akan terjadinya pengerasan pada aspal tersebut..

Di Indonesia penambahan plastik (polimer) ke dalam aspal telah diteliti oleh beberapa peneliti yang menyimpulkan bahwa penambahan plastik *PET* (*Polyethylene Teryphthalate*) ke dalam aspal dapat dilakukan dengan cara basah atau dengan cara kering. Stabilitas dinamis dan resilien modulus campuran aspal beton yang dicampur plastik *PET* cara kering lebih besar dari aspal pen. 60, namun lebih rendah dari cara basah (Abtahi, Sayyed Mahdi, dkk., 2011).

Selain itu kemasan minuman menggunakan botol plastik sudah menjadi hal yang lumrah saat ini. Banyak sampah botol plastik akan menambah beban pemerintah dalam mendaur ulang sampah plastik. Keuntungan dari plastik (*PET*) adalah kuat tapi ringan. Ini termoplastik dan tidak berkarat, yang bisa diwarnai. Ini akan menjadi lunak dengan pemanasan dan meleleh pada 110 °C. Karakteristik *PET* adalah kekuatan tinggi, kaku, kaku, kimia, dan tahan panas. Ini juga memiliki sifat listrik yang baik. *PET* memiliki penyerapan uap air yang rendah, begitu juga dengan penyerapan air. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa penambahan plastik ke dalam campuran bisa meningkatkan sifat campuran panas (Suroso, 2004).

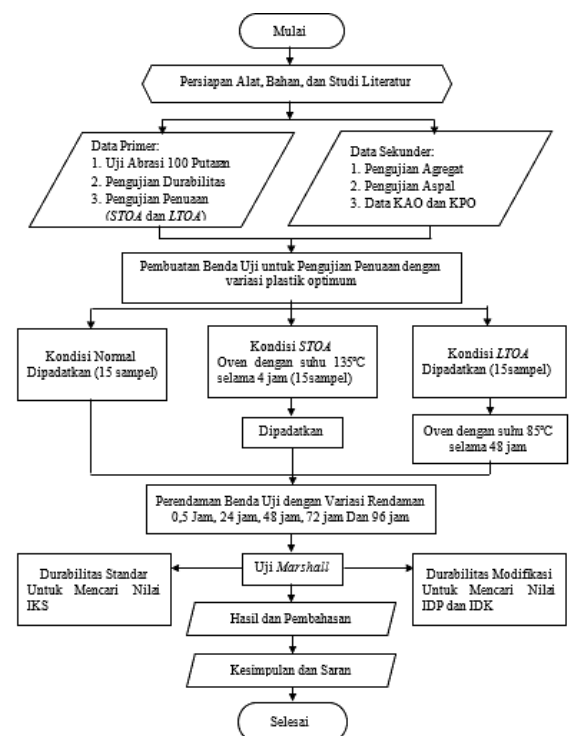
Di wilayah Gorontalo sendiri penggunaan aspal plastik masih merupakan hal yang baru. Penggunaan kemasan dengan bahan plastik di Gorontalo tergolong banyak, sehingga penggunaan campuran aspal plastik bisa jadi alternatif untuk mengurangi sampah plastik di Gorontalo.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis durabilitas campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*) modifikasi limbah botol plastik akibat adanya variasi terhadap lama rendaman dan kondisi penuaan. Parameter yang digunakan untuk mengetahui durabilitas campuran aspal adalah Indeks Kekuatan Sisa dan Indeks Durabilitas.

METODE PENELITIAN

Tahapan Penelitian

Tahapan Penelitian dijelaskan dengan bagan alir pada Gambar 1.



Gambar 1. Bagan Alir Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian dapat diuraikan sebagai berikut:

1. Rancangan Benda Uji dengan Penambahan Botol Plastik

Nilai KAO dan kadar plastik optimum yang didapat melalui penelitian sebelumnya digunakan untuk pembuatan sampel *Marshall* penambahan botol plastik. Benda uji yang digunakan pada penelitian ini adalah 45 benda uji yang terdiri dari, 15 benda uji untuk kondisi normal dan 15 benda uji untuk pengujian penuaan jangka pendek (*STOA*) dan 15 benda uji untuk pengujian penuaan jangka panjang (*LTOA*) terhadap variasi rendaman. Dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- a. penambahan botol plastik dalam rancangan benda uji dilakukan dengan mencacah botol plastik menggunakan gunting menjadi bagian yang kecil dengan ketentuan limbah plastik cacahan 100% lolos saringan no. 3/8 dan ketebalan maks. 0,07 mm menurut Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017.



Gambar 2. Sampel Plastik PET

- b. kemudian ditimbang sesuai kebutuhan variasi plastik yang telah ditetapkan terhadap berat total rencana campuran, terlebih dahulu diketahui KAO yaitu 6,75% dari total campuran 1200 gr adalah sebesar 81 gr dan persentase plastik yang digunakan yaitu 1,2% terhadap berat aspal atau sebesar 0,98 gr,
- c. lalu penambahan plastik dilakukan saat pencampuran basah (*wet mix*) yaitu pada

saat aspal dipanaskan dengan temperatur 160°C -170°C sesuai dengan berat untuk kadar aspal optimum, kemudian dimasukkan plastik ke dalam aspal dengan durasi pencampuran 10±2 detik sesuai dengan spesifikasi khusus interim campuran beraspal panas menggunakan limbah plastik 2017.

2. Pembuatan benda uji

Langkah-langkah yang dilakukan untuk pembuatan benda uji:

- a. persiapan alat dan bahan,
- b. memadatkan benda uji dengan alat pemadat sebanyak 75 kali tumbukan tiap sisi benda uji,
- c. keluarkan benda uji menggunakan alat ekstruder,

Pembuatan benda uji dilakukan untuk pengujian durabilitas dan penuaan aspal.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall* KAO

Nilai kadar aspal optimum (KAO) didapat dari berbagai proses tahapan pengujian yang dilakukan pada penelitian terdahulu. Berdasarkan tahapan pengujian tersebut, maka dibuat rekapitulasi hasil pengujian KAO ditunjukkan pada tabel 1.

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Pengujian

No	Karakteristik/ Parameter	Satuan	Hasil	Spesifikasi
1	Kadar Aspal optimum	%	6,75	-
2	Berat Jenis Maksimum Campuran (<i>Gmm</i>)	gr/cm ³	2,415	-
3	Berat Jenis Aspal	-	1,025	≥ 1,0
4	Berat Jenis Contoh Campuran (<i>Gmb</i>)	gr/cm ³	2,315	-

No	Karakteristik/ Parameter	Satuan	Hasil	Spesifikasi
5	Rongga Dalam Campuran (VIM)	%	3,995	3-5
6	Rongga Dalam Agregat (VMA)	%	19,255	Min. 15
7	Rongga Terisi Aspal (VFB)	%	79,265	Min. 65
8	Stabilitas	Kg	889,32	Min. 800
9	Flow	mm	3,61	2;4
10	Marshall quotient (MQ)	Kg/mm	246,38	-

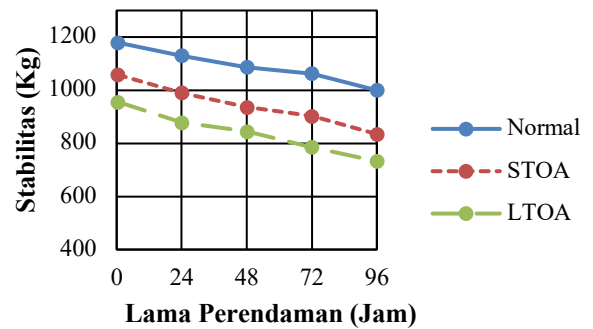
Berdasarkan tabel 1 dapat diketahui bahwa seluruh karakteristik marshall untuk campuran aspal *AC-WC* berada dalam batasan yang diisyaratkan dalam spesifikasi. Hal tersebut menunjukkan bahwa agregat maupun aspal yang bersumber dari *AMP PT. Harmonis Perkasa Indah Puhwato* dan *AMP PT. Tri Sandi Yudha* dapat digunakan dan telah memenuhi spesifikasi untuk *AC-WC*.

Hasil Pengujian Marshall Modifikasi Plastik

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall test* diperoleh kadar aspal yang memenuhi seluruh parameter *marshall* yaitu 6,75%, kemudian dilakukan modifikasi dengan penambahan limbah botol plastik *PET* dengan campuran *wet process*, sehingga didapat hasil pengujian marshall modifikasi plastik pada kadar plastik optimum 1,2% yang kemudian dipakai untuk pengujian penuaan.

Pengaruh Rendaman Terhadap Stabilitas

Hasil pengujian *Marshall* untuk nilai stabilitas campuran beraspal pada kondisi benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* dengan bahan tambah limbah botol plastik *PET* ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Hubungan Stabilitas Dengan Lama Rendaman

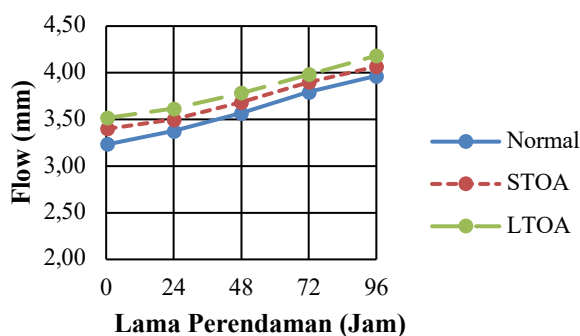
Nilai stabilitas benda uji normal paling tinggi berada pada waktu perendaman 0,5 jam sebesar 1.178,97 kg dan terus mengalami penurunan hingga saat waktu perendaman 96 jam sebesar 999,46 kg. Benda uji pada kondisi *STOA* memiliki nilai stabilitas tertinggi berada pada rendaman 0,5 jam sebesar 1.057,68 kg dan nilai terendah pada rendaman benda uji selama 96 jam sebesar 834,50 kg. Benda uji *LTOA* memiliki nilai stabilitas tertinggi pada waktu rendaman 0,5 jam sebesar 955,79 kg dan terus mengalami penurunan seiring lama waktu perendaman pada waktu 96 jam sebesar 732,61 kg.

Pada benda uji normal untuk nilai stabilitas pada rendaman 0,5 jam hingga pada kondisi rendaman terlama yakni selama 96 jam yang diperoleh masih memenuhi Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017, dimana pada spesifikasi tersebut angka stabilitas *Marshall* yaitu 900 kg. Pada benda uji *STOA* untuk nilai stabilitas pada rendaman 0,5 jam hingga pada kondisi rendaman 72 jam yang diperoleh masih memenuhi Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017, dimana pada spesifikasi tersebut angka stabilitas *Marshall* yaitu 900 kg. Benda uji pada rendaman 96 jam tidak memenuhi spesifikasi tersebut karena angka stabilitas *Marshall* dibawah angka 900 kg. Untuk nilai stabilitas benda uji *LTOA* hanya pada rendaman 0,5 jam yang diperoleh masih memenuhi Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas

Menggunakan Limbah Plastik 2017, dimana angka stabilitas *Marshall* didapat yaitu 955,74 kg. Sedangkan benda uji pada rendaman 24 jam hingga rendaman terlama pada 96 jam tidak memenuhi spesifikasi tersebut karena angka stabilitas *Marshall* dibawah angka 900 kg.

Pengaruh Rendaman Terhadap Flow

Hasil pengujian *Marshall* untuk nilai *flow* campuran beraspal pada kondisi benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* dengan bahan tambah limbah botol plastik *PET* ditunjukkan pada Gambar 4.



Gambar 4. Hubungan *flow* Dengan Lama Rendaman

Nilai *flow* benda uji keadaan normal terendah pada waktu perendaman 0,5 jam sebesar 3,23 mm dan terus mengalami

peningkatan hingga mencapai 3,97 mm pada waktu rendaman 96 jam. Benda uji *STOA* memiliki nilai *flow* terendah sebesar 3,40 mm pada rendaman 0,5 jam dan nilai *flow* tertinggi sebesar 4,07 mm pada waktu rendaman 96 jam. Benda uji *LTOA* nilai *flow* terbesar pada rendaman 0,5 jam sebesar 3,52 mm dan nilai *flow* tertinggi pada rendaman terlama 96 jam sebesar 4,18 mm.

Nilai *flow* benda uji *STOA* dan *LTOA* pada perendaman 96 jam telah melewati batasan maksimum *flow* yang ditetapkan dalam Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017 yaitu sebesar 4 mm. Benda uji normal memiliki nilai *flow* masih dalam batasan rentang sebesar 2-4 mm sesuai Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017.

Durabilitas Terhadap Lama Rendaman

Pengaruh lama rendaman terhadap kinerja durabilitas campuran AC-WC dengan tambahan limbah botol plastik (*PET*), Hasil pengujian durabilitas pada kondisi normal, *STOA*, dan *LTOA* ditunjukkan pada tabel 2.

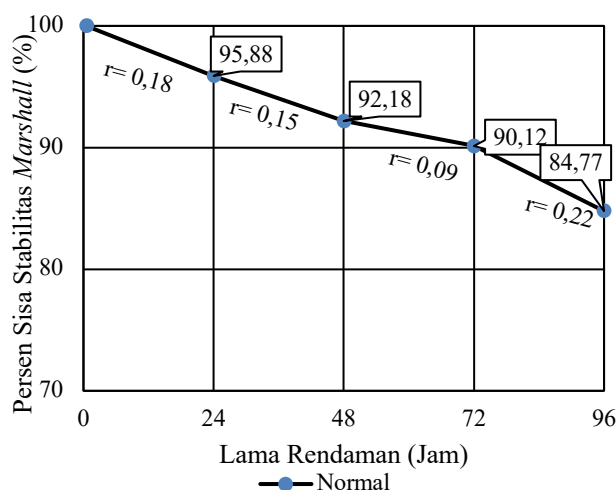
Tabel 2. Hasil Pengujian Durabilitas Terhadap Lama Rendaman

Sifat Marshall	Kondisi Benda Uji	Lama Rendaman					Hasil
		0.5	24	48	72	96	
Stabilitas	Normal	1178.97	1130.46	1086.79	1062.53	999.46	-
	<i>STOA</i>	1057.68	989.76	936.39	902.42	834.50	-
	<i>LTOA</i>	955.79	878.17	844.20	785.98	732.61	-
Persen Sisa Stabilitas Marshall (%)	Normal	100.00	95.88	92.18	90.12	84.77	-
	<i>STOA</i>	100.00	93.58	88.53	85.32	78.90	-
	<i>LTOA</i>	100.00	91.88	88.32	82.23	76.65	-
Indeks Kekuatan Sisa							
Durabilitas Standar IKS (%)	Normal						95.88
	<i>STOA</i>						93.58
	<i>LTOA</i>						91.88
	Minimal						90
Indeks Durabilitas Pertama (IDP)							
Kelandaian r (%)	Normal	-	0.18	0.15	0.09	0.22	0.64
	<i>STOA</i>	-	0.27	0.21	0.13	0.27	0.88
	<i>LTOA</i>	-	0.35	0.15	0.25	0.23	0.98

Indeks Durabilitas Kedua (IDK)							
Kehilangan Kekuatan Selama Satu Hari a (%)	Normal	-	3.59	2.31	0.77	0.67	7.35
	STOA	-	5.60	3.15	1.20	0.80	10.76
	LTOA	-	7.09	2.22	2.28	0.70	12.29
Kekuatan Sisa Selama Satu Hari Sa (%)	Normal	100.00	96.41	94.10	93.32	92.65	-
	STOA	100.00	94.40	91.24	90.04	89.24	-
	LTOA	100.00	92.91	90.69	88.41	87.71	-
A (Kg)	Normal	-	42.33	27.29	9.10	7.88	86.60
	STOA	-	59.26	33.36	12.74	8.49	113.84
	LTOA	-	67.72	21.23	21.83	6.67	117.45
SA (Kg)	Normal	1,178.97	1,136.65	1,109.36	1,100.26	1,092.38	-
	STOA	1,057.68	998.42	965.07	952.33	943.84	-
	LTOA	955.79	888.07	866.85	845.01	838.34	-

Durabilitas Benda Uji Normal

Hasil pengujian durabilitas untuk benda uji normal pada variasi lama rendaman mulai dari 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam ditunjukkan pada gambar 5.



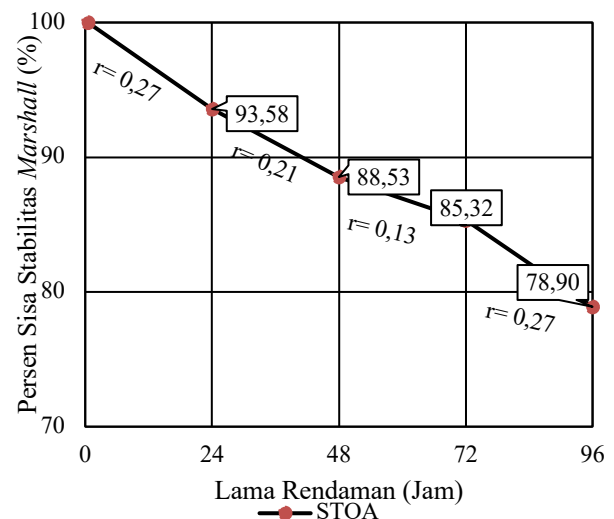
Gambar 5. Kurva Keawetan Benda Uji Normal

Gambar 5 menunjukkan nilai persen sisa stabilitas *Marshall* cenderung mengalami penurunan seiring bertambahnya lama rendaman terhadap benda uji. Persen sisa stabilitas *Marshall* yang menunjukkan nilai dibawah 90% berada pada rendaman 96 jam. Berdasarkan nilai tersebut dapat dinyatakan bahwa benda uji normal memiliki tingkat keawetan hingga 72 jam perendaman.

Durabilitas Benda Uji Kondisi STOA

Hasil pengujian durabilitas untuk benda uji kondisi *STOA* pada variasi lama rendaman

mulai dari 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam ditunjukkan pada gambar 6.

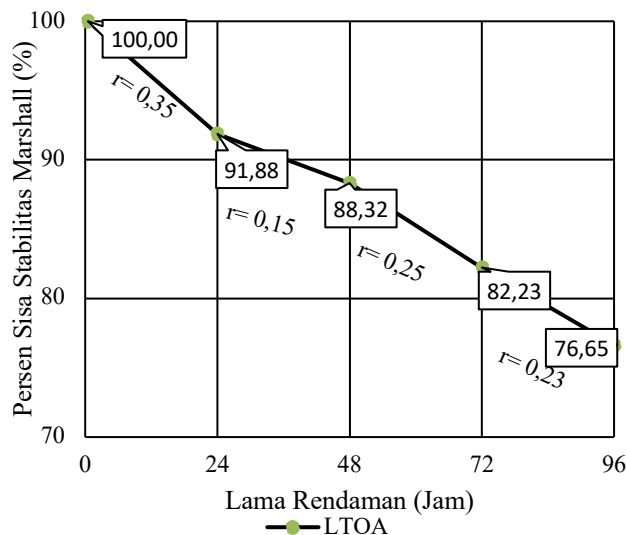


Gambar 6. Kurva Keawetan Benda uji Kondisi STOA

Benda uji direndam selama 48 jam, 72 jam, hingga 96 jam dalam kondisi *STOA* mengalami penurunan atau kehilangan kekuatan yang cukup signifikan sehingga nilai persen sisa stabilitas *Marshall* tidak memenuhi batasan minimum yang diisyaratkan dalam spesifikasi.

Durabilitas Benda Uji Kondisi LTOA

Hasil pengujian durabilitas untuk benda uji kondisi *LTOA* pada variasi lama rendaman mulai dari 0,5 jam, 24 jam, 48 jam, 72 jam, dan 96 jam ditunjukkan pada gambar 7.



Gambar 7. Kurva Keawetan Benda uji Kondisi *LTOA*

Bila dibandingkan dengan benda uji kondisi normal, kehilangan kekuatan untuk benda uji *LTOA* sangat signifikan. Besarnya penurunan ini akibat adanya proses oksidasi pada benda uji sehingga mudah retak dan akan menurunkan keawetannya. Serupa dengan benda uji kondisi penuaan *STOA*, dalam kondisi *LTOA* juga mengalami penurunan atau kehilangan kekuatan yang cukup signifikan sehingga nilai persen sisa stabilitas *Marshall* pada rendaman 48 jam hingga 96 jam terendah sebesar 78,90% tidak memenuhi spesifikasi minimum 90%.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis data dan pembahasan maka dapat diambil kesimpulan bahwa nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* pada variasi lama rendaman sebagai berikut:

1. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada benda uji normal, adalah 95,88% dan masih memenuhi nilai batas dalam Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017.
2. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada benda uji kondisi penuaan *STOA* dilakukan proses pemanasan oven di laboratorium selama 4 jam pada campuran lepas (*loose*

mixture) panas dengan temperatur 135°C, adalah 93,58% dan masih memenuhi nilai batas dalam Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017.

3. Nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) pada benda uji kondisi penuaan *LTOA* dilakukan proses pemanasan oven di laboratorium selama 2 hari pada temperatur 85°C pada spesimen padat, adalah 91,88% dan masih memenuhi nilai batas dalam Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik 2017.
4. Nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP) pada benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* secara berturut-turut adalah 0,64%, 0,88%, dan 0,98%. Dan nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK) pada benda uji normal, *STOA*, dan *LTOA* secara berturut-turut adalah 7,35%, 10,76%, dan 12,29%.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih disampaikan kepada Laboratorium dan Tim Laboran Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Negeri Gorontalo serta semua pihak yang membantu kelancaran penelitian ini.

REFERENSI

- Alkam, M., Desei, F. L. & Achmad, F., 2021. *Tinjauan Karakteristik Marshall Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Limbah Plastik PET (Polyethylene Teryphtalate)*, Skripsi, Gorontalo: Jurusan Teknik Sipil Universitas Negeri Gorontalo.
- Attamimi, M. F., Achmad, F., dan Desei, F. L., 2021. Kajian Durabilitas dan Penuaan Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Asbuton Pracampur Terhadap Variasi Lama Perendaman. *Composite Journal*, I(1), pp. 33-40.
- Craus, J., Ishai, I. & Sides, A., 1981. *Durability of Bitumenious Paving Mixtures as Related to Filler Type and Properties*. San Diego, California, Proceedings

Association of Asphalt Paving Technologists Technical Session.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2017. *Spesifikasi Khusus Interim Campuran Beraspal Panas Menggunakan Limbah Plastik*. Jakarta, Direktorat Jenderal Bina Marga, pp. 1-10.

Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020. *Spesifikasi Umum 2018 Revisi 2*. Jakarta, Direktorat Jenderal Bina Marga.

Mashuri, Astuti, F. & Betti, J. F., 2014. Penuaan Dini dan Durabilitas Perkerasan Lapis Tipis Aspal Beton Aspal Lapis Aus (HRS-WC) yang Menggunakan Roadcell-50. *Infrastruktur*, IV(2), pp. 103-113.

Mashuri & Rahman, R., 2020. Pengaruh Penuaan Aspal pada Karakteristik Campuran Beton Aspal Lapis AC-WC. *Civil Engineering Journal on Research and Development*, I(2), pp. 47-56.

Puslitbang, 2000. *Campuran Beraspal Panas dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak*. Bandung, Pusat Penelitian dan Pengembangan Transportasi.

Sukirman, S., 2016. *Beton Aspal Campuran Panas*. Bandung: Institut Teknologi Nasional.

Supriadi, Syarifudin & H, A., 2018. Perkerasaan Campuran Aspal AC – WC Terhadap Sifat Penuaan Aspal. *Jurnal Mahasiswa Teknik Sipil*, V(2), pp. 1-8.

Suroso, 2004. *Pengaruh Penambahan Plastik Cara Basah dan Cara Kering terhadap Kinerja Campuran Beraspal*. Bandung, Puslitbang Jalan dan Jembatan.