

PENGARUH LAMA PERENDAMAN TERHADAP KARAKTERISTIK LAPISAN AUS LASTON MENGGUNAKAN AGREGAT TERSELIMUT LIMBAH PLASTIK LDPE

Ni Luh Shinta Eka Setyarini¹, Anissa Noor Tajuddin², Wisson Janadi³

¹Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta Timur
Email: niluhs@ft.untar.ac.id

²Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta Timur
Email: nissatajudin@yahoo.com

³Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik, Universitas Tarumanegara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta Timur
E-mail: wisson.janadi@yahoo.com

ABSTRAK

Bahan aspal yang dipergunakan untuk bahan pengikat agregat pada campuran perkerasan lentur merupakan bahan baku yang tidak dapat diperbaharui (unrenewable), apabila dalam pemakaian jangka panjang ketersediaannya akan habis. Sebagai bahan Alternatif pengganti dipakai limbah plastik jenis LDPE sebagai bahan pembantu pelapis agregat pada campuran aspal beton lapisan aus (AC-WC). Berat limbah plastik LDPE yang digunakan 0% hingga 6% dari keseluruhan berat agregat dengan kadar aspal 5,6 dan 7% didalam campuran. Pengujian Karakteristik Marshall dilakukan pada semua sampel sesuai dengan spesifikasi dan mempergunakan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) untuk kadar plastik 0% dan kadar aspal 6.5%. Untuk pengujian Karakteristik Marshall dengan penambahan plastik 1% hingga 6% , mempergunakan nilai Kadar Aspal Mendekati Optimum (KAMO) dan mengacu kepada nilai stabilitas tertinggi yaitu 2498,39 kg/cm², pada kadar aspal sebesar 4% dan plastik 6%. Campuran dengan persentase inilah yang digunakan untuk mengetahui kinerja durabilitas campuran AC-WC dengan melakukan variasi rendaman sesuai dengan klasifikasi koefisien drainase baik sekali sampai dengan sedang Peraturan Bina Marga Perkerasan Lentur 2002 (Pt T-01-2002-B). Sehingga modifikasi perendaman Marshall yang dilakukan adalah 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dengan suhu perendaman standar terhadap nilai KAO dan KAMO . Untuk melihat kinerja durabilitas campuran aspal beton digunakan indikator Index of Retained Strength (IRS). Durabilitas yang tinggi memberikan indikasi bahwa jalan tersebut lebih awet dan mempunyai ketahanan yang tinggi akibat pengaruh rendaman air.

Kata kunci: LASTON (AC-WC), Plastik LDPE, Perendaman, Durabilitas

1. PENDAHULUAN

Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), angka curah hujan di Indonesia tergolong tinggi yaitu rata-rata 2000-3000 mm/tahun. Curah hujan yang tinggi menjadi faktor penyebab kerusakan jalan dan pelapukan agregat seperti hancurnya lapisan permukaan jalan aspal akibat terendam oleh genangan air hujan dan faktor drainase yang buruk. Interusi air hujan kedalam lapisan perkerasan mengakibatkan terlepasnya pelapisan aspal pada agregat yang mempercepat terjadinya kerusakan. Dengan demikian diperlukannya bahan tambahan sebagai pelapis agregat untuk memperkuat lapisan aspal pada agregat yaitu limbah plastik *Low Density Polyethylene* (LDPE).

Dipilihnya limbah plastik LDPE yang sehari-hari kita kenal sebagai kantong belanja karena murah dan mudah diperoleh. Penggunaan limbah plastik LDPE untuk bahan alternatif pengikat agregat sebagai pengganti aspal, disamping memberikan keuntungan teknis dan ekonomi diharapkan juga dapat menjadi solusi dari tereduksinya limbah plastik LDPE yang ada di alam dalam jumlah besar. Karena limbah plastik LDPE penggunaannya masih dalam skala kecil seperti untuk wadah atau kantong plastik kembali dengan mutu yang lebih rendah.

Penelitian ini dilakukan dengan penambahan plastik LDPE pada campuran aspal beton, dimana proses perendamannya dilakukan dengan durasi yang sesuai dengan kinerja drainase pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga 2002. Penambahan LDPE juga untuk memperoleh nilai karakteristik *Marshall* yang lebih baik khususnya *stability* dan *flow* apabila dibandingkan dengan campuran aspal beton konvensional pada perlakuan yang sama. Uji properti agregat, aspal, plastik dan karakteristik campuran *Marshall* dilaksanakan berdasarkan persyaratan Spesifikasi Umum 2010 divisi 6 revisi 3 DPU-Dirjen Bina Marga.

Identifikasi masalah

Masalah kerusakan jalan di Indonesia umumnya terjadi akibat curah hujan tinggi dan buruknya kondisi drainase, sehingga mudah terjadi kerusakan jalan, akibat terendam oleh genangan air hujan dalam rentang waktu yang cukup lama. Untuk memperkuat pelapisan pada agregat dibutuhkan bahan alternatif pelapis agregat selain aspal, maka dipilih plastik LDPE. Hal ini disebabkan oleh besarnya potensi limbah plastik yang sebaiknya dimanfaatkan sebagai bahan alternatif untuk perbaikan jalan. Modifikasi campuran dengan memanfaatkan limbah plastik LDPE diharapkan akan dapat menurunkan nilai permeabilitas dan meningkatkan nilai karakteristik *Marshall* dari campuran khususnya nilai *stability* dan *flow* dari perkerasan lentur, terutama pada lapisan aus aspal beton.

Rumusan masalah

Beberapa masalah penelitian dapat dirumuskan sebagai berikut:

- Bagaimana sistem pencampuran dan komposisi campuran dengan penggunaan limbah plastik LDPE untuk lapisan aus aspal beton (AC-WC) Gradasi Halus?
- Bagaimana perbandingan karakteristik hasil uji *Marshall* campuran aspal beton konvensional (0% plastik) dengan campuran aspal beton yang ditambah limbah plastik LDPE (1%-6% plastik) berdasarkan syarat Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Revisi 3, DPU- Dirjen Bina Marga?
- Bagaimana pengaruh variasi waktu perendaman terhadap campuran yang ditambah limbah plastik LDPE dengan mengacu pada nilai Kadar Aspal Optimum campuran?

Tujuan penelitian

Penelitian ini mempunyai tujuan sebagai berikut:

- Merumuskan secara tepat sistem pencampuran dan komposisi campuran dengan cara konvensional dan modifikasi limbah plastik LDPE untuk lapisan aus aspal beton (AC-WC) Gradasi Halus.
- Menentukan Kadar Aspal Optimum campuran beraspal dengan penambahan limbah plastik LDPE. Dan menganalisis karakteristik *Marshall* campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) berdasarkan Spesifikasi umum 2010 (revisi-3 divisi 6), DPU-Bina Marga.
- Untuk menganalisis nilai karakteristik dengan cara membandingkan hasil pengujian *Marshall* dengan cara konvensional (pada rendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dengan suhu 60°C) dan dengan cara modifikasi untuk perendaman masing-masing selama 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dengan suhu yang sama sesuai dengan kinerja drainase pada Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Bina Marga 2002.

2. DASAR TEORI

Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sulfur, oksigen dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis. Aspal merupakan material yang pada suhu ruang berbentuk padat sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali mengeras jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. (Sukirman, 2003). Aspal terbuat dari minyak mentah, melalui proses penyulingan atau dapat ditemukan dalam kandungan alam sebagai bagian dari komponen alam yang ditemukan bersama-sama material lain.

Agregat menurut ukuran butirnya diklasifikasikan sebagai berikut:

- Agregat Kasar ; berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 5 mm – 40 mm atau tertahan saringan no. 4 (4.75 mm).
- Agregat Halus ; pasir alam atau yang dihasilkan oleh industri pemecah batu dan lolos saringan no. 4 (4.75 mm) serta tertahan saringan no. 200 (0.075 mm).
- Filler*, abu batu atau biasa disebut material pengisi (*filler*), yaitu bubuk mineral yang sangat halus ditambahkan pada campuran beton aspal yang akan membuatnya lebih kaku. *Filler* berukuran lolos saringan no. 200 (0.075 mm).

Plastik LDPE memiliki berat jenis 0,910 -0,940 g/cm³, dengan kekuatan antar molekul yang rendah, sehingga berakibat LDPE memiliki kekuatan tensil yang rendah. Plastik LDPE memiliki lebih banyak cabang (sekitar 2% dari atom karbon) dari pada HDPE, jadi kekuatan antar molekulnya lebih lemah, dengan demikian kekuatan tariknya lebih rendah, dan ketahanannya menjadi lebih tinggi. Untuk mencampur plastik LDPE kedalam campuran plastik dipotong (dicacah) dengan ukuran tertahan saringan nomor 4. Pencampuran dilaksanakan pada saat agregat sudah

mencapai suhu pencampuran yaitu 165°C kemudian plastic dimasukkan diaduk rata setelah rata aspal dimasukkan, masing- masing sesuai dengan persentasenya.

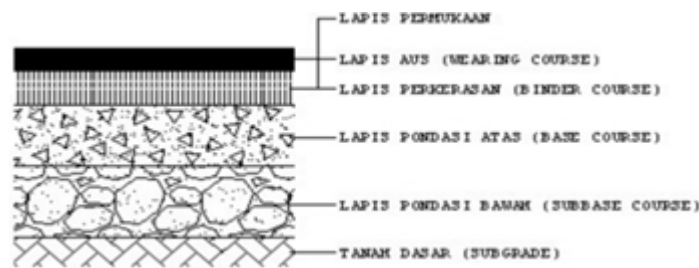
Faktor kualitas drainase yang dipergunakan sebagai tolok ukur untuk memodifikasi koefisien kekuatan relatif bahan sebagai fungsi yang menyatakan seberapa baiknya struktur perkerasan dapat mengatasi pengaruh negatif masuknya air ke dalam struktur perkerasan. Hal tersebut dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1. Definisi Kualitas Drainase
(Sumber: Pedoman Perencanaan Perkerasan Lentur Bina Marga Edisi 2002)

Kualitas drainase	Air hilang dalam
Baik sekali	2 jam
Baik	1 hari
Sedang	1 minggu
Jelek	1 bulan
Jelek sekali	Air tidak akan mengalir

Campuran aspal beton (LASTON)

Lapisan aspal beton adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan, dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus dan filler.



Gambar 1. Komponen Struktur Perkerasan Lentur
(Sumber: Silvia Sukirman (2003))

Menurut Sukirman (2003) menjelaskan bahwa lapis aspal beton (LASTON) digunakan untuk perkerasan jalan dengan beban lalu lintas berat, Laston juga dikenal dengan nama AC (*Asphalt Concrete*). Ada tujuh karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh LASTON adalah : tahan terhadap Tekanan (*Stability*), keawetan (*Durability*), kelenturan (*Flow*), ketahanan terhadap Kelelahan (*Fatigue Resistance*), Kekesatan dan Tahanan Geser (*Skid Resistance*), kedap Air (*Impermeability*), dan mudah untuk dilaksanakan (*Workability*).

3. METODE PENELITIAN

Tahap persiapan adalah tahapan untuk melakukan pengumpulan material dan juga persiapan alat-alat yang akan dipergunakan sebelum melakukan pengujian. Dilanjutkan dengan melakukan pengujian terhadap material/bahan penyusun campuran beton aspal yaitu aspal, agregat dan plastik LDPE, yang dimaksudkan untuk mengetahui sifat dan karakteristik material/bahan tersebut. Pada tahapan pembuatan benda uji yaitu pembuatan proporsi agregat sesuai gradasi, rancangan benda uji dan pengujian, serta pengaruhnya dengan nilai KAO campuran.

Tabel 2. Rancangan Benda Uji

Kadar Plastik (%)	Kadar Aspal (%)				Suhu Campuran 160°C, rendaman 30 menit
	4	5	6	7	
0	3	3	3	3	Kadar Aspal Mendekati Optimum
1	3	3	3	3	
2	3	3	3	3	
3	3	3	3	3	
4	3	3	3	3	
5	3	3	3	3	
6	3	3	3	3	
jumlah benda uji	84				

Setelah pengujian *Marshall* kita dapat menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari sampel yang telah kita uji. Cara mendapatkan nilai KAO adalah dengan metode *Narrow Range* yaitu melihat persentase kadar aspal dengan nilai parameter *Marshall* yang memenuhi Spesifikasi. Jika hasil pengujian tidak memenuhi spesifikasi, maka diambil kadar aspal yang mempunyai parameter *Marshall* mendekati nilai spesifikasinya. Kondisi ini disebut Kadar Aspal Mendekati Optimum. Setelah dibuat benda uji dengan nilai KAO campuran Konvensional dan nilai KAO campuran Modifikasi, maka dilakukan kembali pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai karakteristik pencampuran dan hasil *Marshall Immersion Test* dari kedua campuran tersebut.

4. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Agregat serta filler yang digunakan untuk campuran beton aspal (AC-WC) berasal dari Bogor, Jawa Barat. Hasil pemeriksaannya pada tabel 3.

Tabel 3. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)

Agregat	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
BJ Agregat Kasar	2.506	Min 2,5	Memenuhi
BJ Agregat Halus	2.521	Min 2,5	Memenuhi
BJ filler	2.595	Min 2,5	Memenuhi
Impact	11.00%	≤ 30%	Memenuhi
Crushing	6.00%	≤ 30%	Memenuhi
Kelekatan Agregat terhadap aspal	97%	≥ 95%	Memenuhi
Abrasi	22.17%	Max 40%	Memenuhi
Index Kepipihan dan Kelonjongan	8.21%; 9.45%	Max 10%	Memenuhi

Hasil pemeriksaan pada tabel 4, yang menampilkan sifat fisik aspal dilakukan dengan material aspal Esso Pen. 60/70 yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya dan Transportasi Jurusan Teknik Sipil Universitas Tarumanagara.

Tabel 4. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Aspal	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Penetrasi	62/70	60/70	Memenuhi
Daktilitas	112 cm	≥ 100 cm	Memenuhi
BJ Aspal	1.025	≥ 1	Memenuhi
Titik Lembek	49° C	≥ 48°C	Memenuhi
Titik Nyala dan Titik Bakar	290°C ; 309°C	≥ 232°C	Memenuhi

Hasil Pemeriksaan pada tabel 5 yaitu pemeriksaan berat jenis limbah plastik yang digunakan merupakan plastik jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*) yang didapat dari pengepul yang terletak di Jelambar, Jakarta Barat.

Tabel 5. Hasil Pemeriksaan Limbah Plastik LDPE
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

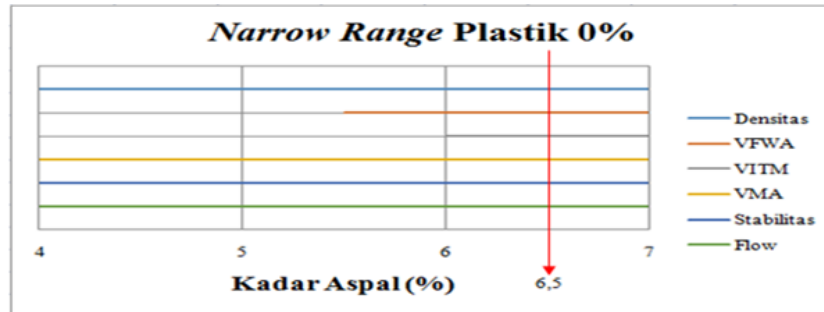
Plastik	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
Berat Jenis	0.956 gr/cm ³	≥ 0.91 gr/cm ³	Memenuhi

Hasil Pengujian *Marshall* Dengan Perendaman Standar 30 Menit (0% Plastik) dapat dilihat pada tabel 6 yaitu : hasil uji *Marshall* dari campuran konvensional tanpa penambahan plastik LDPE dengan suhu 160°C pada kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7%.

Tabel 6. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 0%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.16	2.19	2.21	2.21	memenuhi
VFWA	> 65%	44.83	56.24	68.69	76.04	memenuhi di 6% dan 7%
VITM	3 - 5 %	10	7.91	5.73	4.45	memenuhi di 7%
VMA	> 15%	18.12	18.07	18.32	18.59	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	129.7	1335.98	1507.6	1102.8	memenuhi
Flow	> 2 mm	6.08	6.507	7.87	8.31	memenuhi

Pada gambar 2 menunjukkan Narrow Range Penentuan Kadar Aspal Optimum (0% Plastik) dengan Metode *Narrow Range* campuran dengan kadar plastic 0% yaitu : Nilai VITM dan VFWA ada beberapa yang tidak memenuhi spesifikasi baik itu dibawah ataupun diatas spesifikasi. Maka kadar aspal optimum (KAO) ditentukan dengan cara *narrow range* pada rentang 6% hingga 7% yaitu pada kadar aspal 6,5%.



Gambar 2. *Narrow Range* KAO Plastik 0%
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Hasil Pengujian *Marshall* Perendaman Standar 30 Menit (1% hingga 6% Plastik) dapat dilihat pada tabel 7 – 12.

Hasil uji *Marshall* dari campuran modifikasi dengan penambahan limbah plastik LDPE dengan suhu 160°C pada kadar aspal 4%, 5%, 6%, 7%, disajikan pada tabel dan gambar dibawah ini.

Tabel 7. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 1%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.11	2.14	2.15	2.13	memenuhi
VFWA	> 65%	3.91	50.28	58.26	62.7	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	12.48	9.86	8.5	8.1	tidak memenuhi
VMA	> 15%	20.38	19.81	20.35	21.69	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	1312.25	1475.31	1609.31	1328	memenuhi
Flow	> 2 mm	6.42	7.62	9.73	10.41	memenuhi

Tabel 8. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 2%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.1	2.16	2.15	2.12	memenuhi
VFWA	> 65%	38.32	53.31	58.3	61.64	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	12.69	8.86	8.49	8.43	tidak memenuhi
VMA	> 15%	20.57	18.91	20.35	21.98	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	1627.57	1723.56	1795.35	1363	memenuhi
Flow	> 2 mm	7.3	7.62	9.52	9.92	memenuhi

Tabel 9. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 3%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.06	2.11	2.11	2.12	memenuhi
VFWA	> 65%	35.87	46.72	54.73	61.44	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	14.25	11.21	9.89	8.53	tidak memenuhi
VMA	> 15%	21.99	21.01	21.56	22.06	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	1586.18	1622.35	1859.38	1158.23	memenuhi
Flow	> 2 mm	9.73	11.51	11.94	12.69	memenuhi

Tabel 10. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 4%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.15	2.16	2.14	2.12	memenuhi
VFWA	> 65%	44.23	52.52	56.74	61.61	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	10.78	9.07	8.99	8.44	tidak memenuhi
VMA	> 15%	19.35	19.1	20.78	21.98	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	2060.85	1388.83	1155.73	875.21	memenuhi
Flow	> 2 mm	6.09	8.9	11.42	12.18	memenuhi

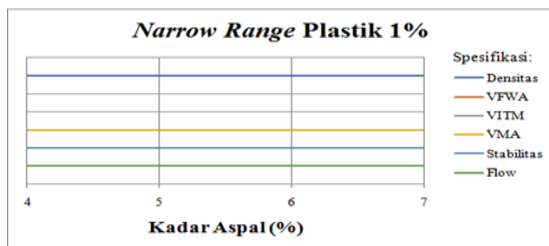
Tabel 11. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 5%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.15	2.16	2.14	2.12	memenuhi
VFWA	> 65%	44.23	52.52	56.74	61.61	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	10.78	9.07	8.99	8.44	tidak memenuhi
VMA	> 15%	19.35	19.1	20.78	21.98	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	2060.85	1388.83	1155.73	875.21	memenuhi
Flow	> 2 mm	6.09	8.9	11.42	12.18	memenuhi

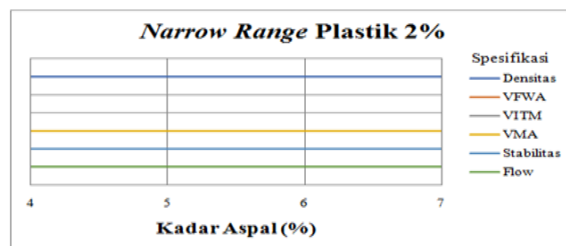
Tabel 12. Hasil Pengujian *Marshall* (Plastik 6%) (Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Kriteria	Spesifikasi	% Aspal				Keterangan
		4	5	6	7	
Densitas	> 2	2.03	2.06	2.12	2.12	memenuhi
VFWA	> 65%	32.92	41.62	54.53	61.54	tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	15.53	13.4	9.75	8.46	tidak memenuhi
VMA	> 15%	23.16	22.95	21.44	22	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	2498.39	1046.78	809.1	652.86	memenuhi
Flow	> 2 mm	9.65	9.93	10.15	11.17	memenuhi

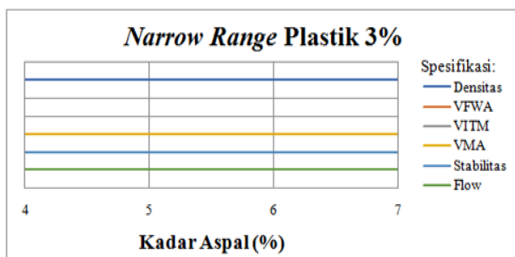
Penentuan Kadar Aspal Optimum (1% hingga 6% Plastik) dari Grafik *Narrow Range* dan Nilai Stabilitas dapat dilihat pada gambar 3 sampai dengan 8 yang menunjukkan wilayah karakteristik Marshall yang memenuhi spesifikasi Bina Marga menggunakan metode *Narrow Range*.



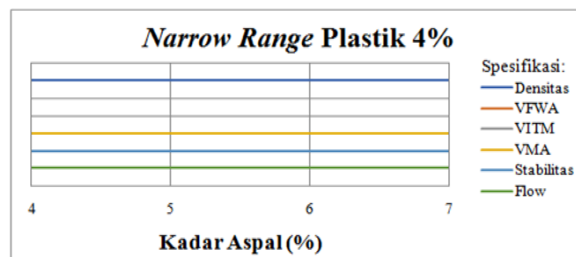
Gambar 3. Narrow Range KAO (Plastik 1%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)



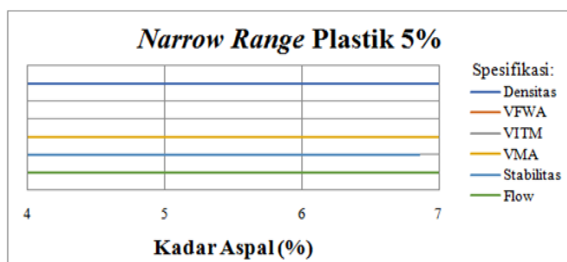
Gambar 4. Narrow Range KAO (Plastik 2%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)



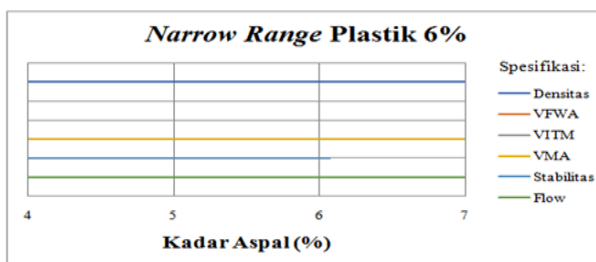
Gambar 5. Narrow Range KAO (Plastik 3%)
(Sumber Kutipan: Nikyta M. Pumpun, 2018)



Gambar 6. Narrow Range KAO (Plastik 4%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)



Gambar 7. Narrow Range KAO (Plastik 5%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

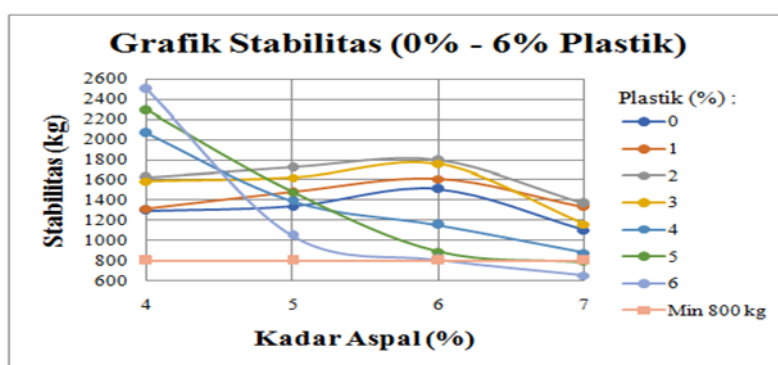


Gambar 8. Narrow Range KAO (Plastik 6%)
(Sumber Kutipan: Josep Pratama, 2018)

Berdasarkan hasil penentuan dengan metode *Narrow Range* pada Gambar 3 sampai dengan 8, bahwa tidak ada campuran yang memenuhi spesifikasi pada nilai VFA dan VITM. Sehingga pada penelitian ini yang dipergunakan adalah nilai Kadar Aspal Mendekati Optimum, dimana yang dipilih untuk mendapatkan karakteristik durabilitas pada uji variasi perendaman adalah kadar aspal 4% dan plastik 6%. Adapun berbagai pertimbangan pada pengambilan nilai karakteristik *Marshall* yaitu :

1. Kadar Aspal Mendekati Optimum tidak hanya berdasarkan stabilitas tertinggi, namun juga terhadap karakteristik rongga udara yang akan mempengaruhi kedekatan campuran terhadap air yang menjadi penyebab utama kerusakan selain beban berlebih.
2. Nilai *Flow* yang tinggi mengindikasikan campuran yang bersifat plastis dan lebih mampu mengikuti deformasi akibat beban. Juga mengisyaratkan rongga terisi aspal yang lebih tinggi dan berpotensi pada durabilitas yang tinggi.
3. Nilai VITM yang besar menyebabkan LASTON padat berkurang kedekatannya, sehingga berakibat meningkatnya proses oksidasi aspal yang akan mempercepat penuaan dini aspal (rapuh atau getas). Namun pada kondisi konsolidasi oleh beban lalu lintas diharapkan dapat terjadi sehingga VITM akan turun sesuai rencana setelah mengalami pemadatan oleh lalu lintas selama masa layannya.
4. Nilai VMA yang besar terjadi akibat aspal menyelimuti seluruh agregat, sehingga lapisan menjadi lebih kedap air dan oksidasi tidak mudah terjadi. *Film* (selimut) aspal yang tebal dapat menghasilkan lapis beton dengan durabilitas tinggi, namun ada kemungkinan terjadinya *bleeding* apabila kelebihan aspal.

Pada Gambar 9 dibawah, dapat dilihat grafik nilai stabilitas dari variasi kadar aspal dan kadar plastik terhadap uji Marshall. Stabilitas tertinggi berada pada perkerasan campuran modifikasi aspal 4% dan plastik 6% dengan nilai stabilitas sebesar 2498.39 kg, yang kemudian digunakan sebagai acuan untuk menentukan nilai Kadar Aspal Mendekati Optimum.



Gambar 9. Hasil Pengujian Stabilitas *Marshall* Variasi Plastik 1% hingga 6%

Hasil pengujian *marshall* perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dengan kadar aspal optimum

Dari nilai KAO (6.5% Aspal, 0% Plastik), dibuat lagi masing - masing 3 buah benda uji dengan kadar aspal optimum untuk campuran konvensional dengan variasi perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dalam *waterbath* dan diuji *Marshall* kembali.

Tabel 13. Hasil Pengujian *Marshall* dengan KAO (Plastik 0%)

Kriteria	Spesifikasi	KAO (30 menit)	KAO (24 jam)	KAO (48 jam)	KAO (72 jam)	KAO (168 jam)	Keterangan
Densitas	> 2	2.22	2.22	2.24	2.25	2.25	memenuhi
VFWA	> 65%	73.27	72.57	78.12	78.5	79.1	memenuhi
VITM	3 - 5 %	4.82	4.99	3.74	3.66	3.54	memenuhi
VMA	> 15%	18.03	18.18	17.11	17.04	16.93	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	1556.634	1493	1465.75	1444.07	1189.682	memenuhi
Flow	> 2 mm	11.426	9.9	6.3358	7.1063	7.8732	memenuhi

Hasil pengujian *marshall* perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dengan kadar aspal mendekati optimum

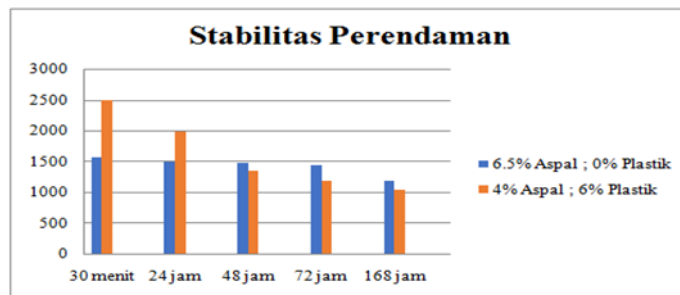
Dari nilai Kadar Aspal Mendekati Optimum (4% Aspal, 6% Plastik) yang sudah ditentukan dari masing-masing variasi aspal dan variasi plastik, dibuat lagi masing - masing 3 buah benda uji dengan kadar aspal optimum untuk campuran modifikasi dengan perendaman 30 menit, 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam dalam *waterbath* dan diuji *marshall* kembali.

Tabel 14. Hasil Pengujian *Marshall* dengan KAO (4% Aspal, 6% Plastik)

Kriteria	Spesifikasi	KAO (30 menit)	KAO (24 jam)	KAO (48 jam)	KAO (72 jam)	KAO (168 jam)	Keterangan
Densitas	> 2	2.03	2.09	2.23	2.06	2.08	memenuhi
VFWA	> 65%	32.92	37.62	53.84	34.95	36.5	Tidak memenuhi
VITM	3 - 5 %	15.53	13.02	7.18	14.38	13.57	Tidak memenuhi
VMA	> 15%	23.16	20.87	15.56	22.11	21.37	memenuhi
Stabilitas	> 800 kg	2498.387	1978.43	1348.44	1189.02	1037.073	memenuhi
Flow	> 2 mm	9.65	7.1063	7.1063	9.6459	9.6459	memenuhi

Pembahasan hasil stabilitas terhadap lama perendaman (konvensional dengan modifikasi)

Perendaman pada suhu tinggi dengan durasi yang cukup lama akan mempengaruhi kegagalan kohesi, dimana air dan suhu tinggi yang mempengaruhi perkerasan akan membuat aspal melunak seiring lamanya perendaman, sehingga ada potensi penurunan nilai kohesi atau kekuatan aspal.



Gambar 10. Hubungan Stabilitas dengan Lama Perendaman

Pembahasan durabilitas terhadap lama perendaman (konvensional dengan modifikasi)

Durabilitas suatu campuran perkerasan sangat dipengaruhi oleh cuaca. Besarnya nilai durabilitas (keawetan) dapat digambarkan dengan nilai *index of retained strength* (IRS) yang merupakan persentase perbandingan nilai stabilitas pada perendaman standar (30 menit) terhadap nilai stabilitas perendaman modifikasi, yaitu pada penelitian ini selama 24 jam, 48 jam, 72 jam dan 168 jam. Perbandingan tersebut dinyatakan sebagai persen dan disebut *Index of Retained Strength* (IRS) dan dihitung dengan persamaan:

$$IRS = \left[\frac{MS_i}{MS_s} \right] \times 100\% \tag{1}$$

dengan IRS = Indeks Kekuatan Sisa (*Index of Retained Strength*) (%), MS_i = Stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam suhu ruang ± 60°C, (kg), MS_s = Stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit suhu ruang ± 60°C, (kg)

Tabel 15. Hasil Uji Perendaman terhadap Nilai IRS (Konvensional)

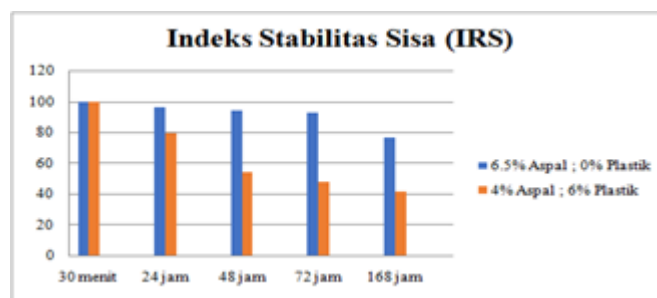
KAO (6.5% Aspal ; 0% Plastik)		
Lama Perendaman	Stabilitas (kg)	Indeks Kekuatan Sisa (IRS) (%)
30 menit	1556.634	100
24 jam	1493.233	95.927
48 jam	1465.753	94.1617
72 jam	1444.072	92.7689
168 jam	1189.682	76.4266

Tabel 16. Hasil Uji Perendaman terhadap Nilai IRS (Modifikasi)

KAO (6.5% Aspal ; 0% Plastik)		
Lama Perendaman	Stabilitas (kg)	Indeks Kekuatan Sisa (IRS) (%)
30 menit	2498.387	100
24 jam	1978.420	79.1882
48 jam	1348.442	53.9725
72 jam	1189.022	47.5916
168 jam	1037.073	41.5097

Hubungan IRS dengan lama perendaman

Nilai IRS menunjukkan sisa kekuatan yang dimiliki oleh campuran pada variasi perendaman diatas. Seiring bertambahnya durasi, stabilitas akan menurun karena campuran tersebut terpengaruh oleh suhu dan air dalam waktu yang cukup lama. Semakin tinggi sisa kekuatan, maka campuran tersebut semakin awet dan sebaliknya.



Gambar 11. Hubungan IRS dengan Lama Perendaman

Meskipun stabilitas campuran dengan plastik cukup tinggi sampai rendaman 24 jam, namun keawetan campuran lebih rendah saat melewati rendaman 48 jam dibandingkan tanpa penggunaan plastik. Fenomena ini disebabkan karena sifat termoplastik seperti aspal yang mudah berubah bentuk pada suhu tinggi dan akan menyebabkan sifat kohesi dan adhesi semakin berkurang, sehingga sifat saling mengikat antar agregat menjadi menurun secara signifikan seiring bertambahnya durasi perendaman.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis dan pembahasan penelitian dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. *Marshall Immersion Test* konvensional lebih tinggi dari modifikasi, karena jarak antar agregat lebih jauh akibat adanya penambahan plastik yang menyelimuti, sehingga rongga dalam campuran semakin besar dan memungkinkan permeabilitas yang tinggi seiring lama perendaman serta mempengaruhi nilai stabilitas.
2. Nilai stabilitas yang meningkat bila campuran aspal beton ditambahkan limbah plastik LDPE, dengan hasil nilai stabilitas meningkat sebesar 60.49% pada pembuatan sampel dengan kadar aspal mendekati optimum dalam rendaman standar 30 menit.
3. Durabilitas campuran aspal beton konvensional yang dihasilkan masih memenuhi spesifikasi Bina Marga yaitu lebih besar 90%, namun pada rendaman 168 jam tidak memenuhi spesifikasi.
4. Selisih penurunan terbesar pada nilai Indeks Stabilitas Sisa (IRS) terjadi pada lama rendaman 24 jam menuju 48 jam yaitu sebesar 25.2157%.
5. Nilai hubungan stabilitas modifikasi terhadap lama perendaman menunjukkan tingkat keawetan (durabilitas) yang lebih apabila dibandingkan nilai stabilitas konvensional walaupun hanya bertahan selama 24 jam lebih tinggi.

6. SARAN

Untuk penelitian selanjutnya dapat dikembangkan penggunaannya dengan mengubah variabel penelitian sebelumnya antara lain:

1. Diperlukan penelitian lebih lanjut mengenai jenis campuran yang sama maupun berbeda dengan menggunakan ukuran plastik yang berbeda dengan kandungan plastik yang lebih tinggi dari penelitian ini, melihat kandungan plastik dalam penelitian ini masih memenuhi persyaratan spesifikasi.
2. Sebaiknya suhu pemadatan perlu dinaikkan untuk melihat kinerja durabilitas campuran beton aspal terkait dengan modifikasi rendaman *Marshall*.
3. Beberapa alat ukur yang digunakan dalam pengujian masih membutuhkan pengamatan visual secara manual, sehingga terdapat kemungkinan adanya kesalahan pembacaan. Untuk itu, diperlukan ketelitian dan kecermatan selama pelaksanaan penelitian agar data yang dihasilkan lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO.1978. Standard Specifications for Transportation Materials and Methods of Sampling and Testing. Washington, D.C.
- ASTM D-1075. 2010. Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures. United States.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1999. Perencanaan Campuran Beraspal Dengan Pendekatan Kepadatan Mutlak. Jakarta: Yayasan Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah. 2002. Pedoman Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga (Pt T-01-2002-B). Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- RSNIM-01-2003. Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas Dengan Alat Marshall. Bandung: Pustran - Balitbang Pekerjaan Umum.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga Edisi 2010 Revisi 3 Divisi 6. Jakarta: Kementerian Pekerjaan Umum Indonesia.
- Sukirman, Silvia. 2012. Perkerasan Lentur Jalan Raya. Bandung: NOVA.
- Vasudevan. 2013. Utilization of Waste Plastics in Rural Roads. India: College of Engineering Madurai, pp. 15.
- Pumpun, Nikyta M. 2018. Karakteristik Marshall Lapisan Aus Aspal Beton Menggunakan Agregat Terselimut Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE) dengan Variasi Kadar 1%, 2%, 3%. Universitas Tarumanagara.
- Pratama, Josep. 2018. Karakteristik Marshall Lapisan Aus Aspal Beton Menggunakan Agregat Terselimut Limbah Plastik LDPE (Low Density Polyethylene) dengan Variasi Kadar 4%, 5%, 6%. Universitas Tarumanagara.
- Setyarini, Ni Luh Putu Shinta Eka dan Anissa Noor Tajudin. 2017. Karakteristik Campuran Beton Aspal Menggunakan Agregat dilapisi oleh Limbah Plastik Low Density Polyethylene (LDPE). Universitas Tarumanagara.
- Setiawan, A. Dwi Agus. 2014. Pengaruh Penuaan dan Lama Perendaman Terhadap Durabilitas Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Muhammadiyah, Surakarta.