



## PENGARUH LAMA RENDAMAN KOTORAN SAPI TERHADAP CAMPURAN ASPAL BETON MENGGUNAKAN ASPAL PEN.60/70 YANG DISUBSTITUSI LIMBAH *POLYETHYLENE TEREPHTHALATE (PET)*

Liza Afra<sup>a,\*</sup>, Sofyan M. Saleh<sup>b</sup>, Renni Anggraini<sup>c</sup>

<sup>a</sup>Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

<sup>b,c</sup>Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh

\*Corresponding author, email address: [lizaafra@gmail.com](mailto:lizaafra@gmail.com)

### ARTICLE INFO

#### Article History:

Received 24 August 2018

Received in revised form 23 October 2018

Accepted 29 October 2018

#### Keyword:

Polyethylene Terephthalate, PET, polimer, Laston, Asphalt

### ABSTRACT

Cow Feces is alleged impact on damage to highways that can weaken the ability of the asphalt viscosity and cause small holes in the asphalt. This study, the substitution polymer used is a waste material Polyethylene Terephthalate (PET) on the AC-WC which were soaked with cow feces. This study aims to determine the effect of immersion duration of cow feces on the durability of concrete asphalt mixture using asphalt pen. 60/70 with substitution graded PET polymer waste 5%, 7%, 9% with asphalt pen 60/70 weight ratio, as well as determine the effect of plain water immersion and cow feces with a variation of 30 minutes, 24 hours, and 48 hours on the stability of asphalt modification with PET. The results, value asphalt optimum 5.52%, the best stability values without substitution with plain water immersion cow feces is 1136,49 kg, the best stability for PET on a percentage of 9%, is 2092,01 kg. The value of durability without substitution with plain water immersion is 92,64% by soaking into cow feces, the value of the durability of the PET percentage variation is 99,72%, and has met the prescribed Bina Marga specifications 2014 which  $\geq 90\%$ . The best percentage of PET polymer addition in this study was 9% because it has the best stability and durability value

©2018 Magister Teknik Sipil Unsyiah. All rights reserved

## 1. PENDAHULUAN

Jalan merupakan prasarana transportasi yang sangat penting dan tidak dapat dipisahkan dari kebutuhan sehari-hari masyarakat pada suatu daerah, sebagai akses utama distribusi barang dari pusat kegiatan menuju daerah lain. Banyaknya sapi tidur di jalan mengakibatkan banyaknya urine dan kotoran sapi di jalan tersebut. Urine dan kotoran sapi ini berdampak pada kerusakan jalan raya, menyebabkan lubang-lubang kecil di jalan raya. Kotoran sapi tersebut diduga berdampak pada kerusakan jalan raya dan dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal, karena menurut Lingga dan Marsono (2006) kotoran sapi mengandung sangat banyak unsur hara. Salah satu alternatif untuk menghindari kerusakan atau memperlambat kerusakan tersebut yaitu dengan menambahkan polimer pada campuran aspal. *Polimer*

yang digunakan berupa limbah *Polyethylene Terephthalate (PET)* sebagai pensubstitusi aspal. Bahan *PET* yang digunakan dalam penelitian ini adalah botol plastik air mineral. Pemanfaatan *Polyethylene Terephthalate (PET)* dalam campuran aspal bisa menjadi salah satu alternatif dalam pengelolaan limbah, dimana jenis polimer dari *Polyethylene Terephthalate (PET)* botol minuman plastik yang sangat sulit terurai oleh alam. Penggunaan kemasan botol plastik tak bisa lepas dalam kehidupan sehari-hari, itu menyebabkan limbah botol plastik minuman sangat mudah ditemukan di mana-mana. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui karakteristik campuran aspal penetrasi 60/70 yang di substitusi limbah *Polyethylene Terephthalate (PET)* dan *Styrofoam* terhadap variasi waktu rendaman kotoran sapi.

## 2. KAJIAN PUSTAKA

*Asphalt Institute* (1997), campuran aspal beton yang baik diharapkan mampu melayani dengan baik variasi pembebanan selama bertahun-tahun dan akibat pengaruh kondisi lingkungan, serta diharapkan dari campuran aspal beton memiliki sifat-sifat dasar campuran aspal meliputi *stability*, *durability*, *impermeability*, *workability*, *flexibility*, *fatigue resistance*, dan *skid resistance*. Laston (AC-WC) merupakan suatu lapisan permukaan paling atas dari struktur perkerasan jalan raya yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, mempunyai tekstur yang lebih halus dan mampu memberikan sumbangan daya dukung yang terukur serta berfungsi sebagai lapisan kedap air untuk melindungi konstruksi dibawahnya.

### 2.1. Bahan Campuran Aspal Beton

Aspal adalah material yang pada temperature ruang bersifat termoplastis serta aspal akan mencair jika dipanaskan sampai pada temperatur tertentu dan kembali membeku jika tempertaur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4-10% berdasarkan berat campuran atau 10-15% berdasarkan volume (Sukirman 2003 : 26-27).

Menurut Sukirman (1999:66), Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai: Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri, bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

### 2.2. Aspal Modifikasi Polymer PET

Suroso,T.W (2004),yang dikutip dari fransiskus (2010:398) menjelaskan bahwa suatu cara meningkatkan titik leleh aspal adalah dengan menambahkan plastik. Dari hasil penelitiannya, penambahan plastik ke dalam aspal meningkatkan titik leleh aspal yang juga otomatis menurunkan nilai penetrasi aspal sehingga tidak mudah terpengaruh oleh perbedaan temperatur,menaikkan nilai stabilitas dan *Marshall Quotient*. *PET* adalah hasil kondensasi polimer etilen glikol dan asam treptalat yang berasal dari minyak bumi, dan dikenal dengan nama dagang *mylar*, terdiri atas monomer *ethylene teraphtelate* dengan rumus molekul  $C_{10}H_8O_4$ .

*PET* adalah hasil kondensasi polimer etilen glikol dan asam treptalat yang berasal dari minyak bumi, dan dikenal dengan nama dagang *mylar*, terdiri atas monomer *ethylene teraphtelate* dengan rumus molekul  $C_{10}H_8O_4$ . Sifat plastik jenis ini adalah tembus pandang (transparan), bersih dan jernih. Tahan terhadap pelarut organik seperti asam-asam organik dari buah-buahan sehingga dapat digunakan untuk mengemas minuman sari buah serta kuat dan tidak mudah sobek. Pada keadaan hangat atau panas, lapisan polimer akan meleleh dan mengeluarkan karsinogenik yang dalam jangka panjang dapat menyebabkan kanker (Mediastika, C.E., 2013).

### 2.3. Kotoran Sapi

Kotoran sapi merupakan limbah dari peternakan sapi yang mempunyai kandungan serat tinggi, karena terdapat Serat atau selulosa dalam kadar tinggi pada kotoran ternak ini baik dalam bentuk padat dan cair, ia merupakan senyawa rantai karbon yang dapat mengalami proses pelapukan lebih kompleks. Proses pelapukan secara alamiah oleh berbagai jenis mikroba tersebut membutuhkan unsur Nitrogen (N) yang terkandung pada kotoran sapi tersebut dalam jumlah besar. Selain memiliki kadar serat yang tinggi, kotoran sapi juga memiliki kadar air yang cukup tinggi dan mengandung sangat banyak unsur hara. Kandungan hara pada kotoran sapi sangat tergantung dari makanan dan lingkungan hidup ternak, semakin bergizi makanan ternak semakin tinggi kandungan unsur hara (Lingga dan Marsono, 2006). Kotoran sapi merupakan bahan organik yang secara spesifik berperan meningkatkan ketersediaan forfor dan unsur-unsur hara mikro, kotoran sapi banyak mengandung unsur hara seperti nitrogen, fosfor, kalium, kalsium, magnesium belerang, dan boron (Brady, 1974).

### 2.4. Uji Marshall

Menurut Sukirman (2003) metode campuran yang paling banyak dipergunakan di Indonesia saat ini adalah metode rancangan campuran berdasarkan pengujian empiris, yaitu dengan mempergunakan alat Marshall. Uji Marshall merupakan tahapan penting dalam penentuan karakteristik campuran beraspal. Adapun parameter Marshall untuk menentukan karakteristik campuran beraspal adalah stabilitas, durabilitas, kelelahan plastis (*flow*), kepadatan, Marshall Quotient, rongga dalam campuran (VIM), rongga dalam mineral agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFA).

#### a. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, ataupun *bleeding* (Sukirman, 2003). Pengujian stabilitas merupakan kemampuan benda uji menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas dapat diperoleh dari hasil pembacaan dial pada alat pengujian Marshall dan kemudian data hasil pengujian harus dikalikan dengan kalibrasi alat dan faktor koreksi benda uji. Besarnya nilai stabilitas dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut :

$$S = p \times q \times r \quad (1)$$

Keterangan:

- $S$  : Stabilitas (kg);
- $p$  : kalibrasi alat Marshall;
- $q$  : pembacaan dial stabilitas;
- $r$  : koreksi benda uji.

#### b. Durabilitas

Karakteristik campuran setelah dilakukan perendaman 24 jam, tidak selalu menggambarkan keawetan campuran aspal setelah masa perendaman yang lebih lama (Craus, J, 1981). Keawetan campuran ditentukan setelah perendaman dengan waktu yang lebih lama, serta mencari suatu parameter kualitatif tunggal yang akan memberikan ciri kepada seluruh kurva keawetan.

Nilai Indeks Stabilitas Sisa dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut :

$$IRS = \frac{MS_i}{MS_S} \times 100 \quad (2)$$

Dimana :

*IRS* : Indeks Stabilitas Sisa (%);

*Msi* : Stabilitas Marshall Setelah Perendaman 48 Jam (Kg);

*MSs* : Stabilitas Marshall Setelah Perendaman 24 Menit (Kg).

### 3. METODE PENELITIAN

Pemeriksaan indeks durabilitas campuran aspal dilakukan dengan metode Marshall seiring lama perendaman pada suhu 60°C. Metode perendaman yang dilakukan yaitu metode perendamana menerus (*continuous*). Tahapan penelitian diawali dengan pemeriksaan sifat-sifat fisis agregat dan aspal setelah disubsitusi limbah *PET*, serta bahan yang digunakan Agregat kasar, Agregat halus, Aspal penetrasi 60/70 produksi PT. Pertamina, dan Parutan Limbah *PET* dari parutan botol minuman mineral dan kotoran sapi yang digunakan berasal dari Aceh Besar dan Kota Banda Aceh. Perencanaan campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan spesifikasi Bina Marga 2010 revisi 3 (2014) dengan menggunakan cara basah.

#### 3.1. Perencanaan Campuran

Berikut rekapitulasi jumlah sampel benda uji berdasarkan variasi lama waktu rendaman dan substitusi limbah *PET* pada KAO seperti yang diperlihatkan pada Tabel 1.

**Tabel 1.**

Rekapitulasi jumlah sampel

Uraian	Jumlah
Sampel untuk penentuan KAO	15 buah
Sampel pada waktu rendaman 30 menit	12 buah
Sampel pada waktu rendaman 24 jam	12 buah
Sampel pada waktu rendaman 48 jam	12 buah
<b>Jumlah Total</b>	<b>51 buah</b>

### 4. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### 4.1 Hasil

Hasil penelitian dilakukan terhadap sifat fisis material pembentuk campuran aspal beton AC-WC yang terdiri dari agregat dan aspal Pen. 60/70, pengaruh persentase *PET*, dan pengaruh tanpa substitusi terhadap nilai parameter Marshall serta nilai stabilitas sisa (Durabilitas) pada campuran aspal beton AC-WC.

##### A. Pemeriksaan Sifat Fisis Agregat

Hasil pengujian sifat-sifat fisis agregat sebagian besar telah memenuhi persyaratan spesifikasi yang ditentukan, kecuali indeks kelonjongan yang tidak dapat memenuhi spesifikasi dengan syarat maksimal 10%, diperoleh sebesar 15,80%, serta indeks kepipihan diperoleh sebesar 17,18%, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 2 berikut ini.

**Tabel 2.**

Hasil pemeriksaan sifat fisis agregat

Sifat-sifat Fisis Agregat	Hasil	Syarat
Berat jenis (gr/cm <sup>3</sup> )	2,775	> 2.5
Penyerapan terhadap air (%)	1,119	< 3
Keausan (%)	15,00	< 40
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	98	> 95
Indeks Kepipihan (%)	17.18	< 10
Indeks Kelonjongan (%)	15,80	< 10
Tumbukan ( <i>impact</i> ) (%)	8.94	< 30
Berat isi (kg/dm <sup>3</sup> )	1,656	> 1

### B. Hasil Pemeriksaan Sifat Fisis Aspal

Hasil pemeriksaan sifat-sifat fisis aspal diperoleh bahwa terdapat pengaruh terhadap sifat-sifat fisis aspal setelah disubstitusi dengan variasi persentase limbah *PET* dan dari hasil pemeriksaan sifat – sifat fisis memenuhi persyaratan yang di tetapkan, seperti yang diperlihatkan pada Tabel 3.

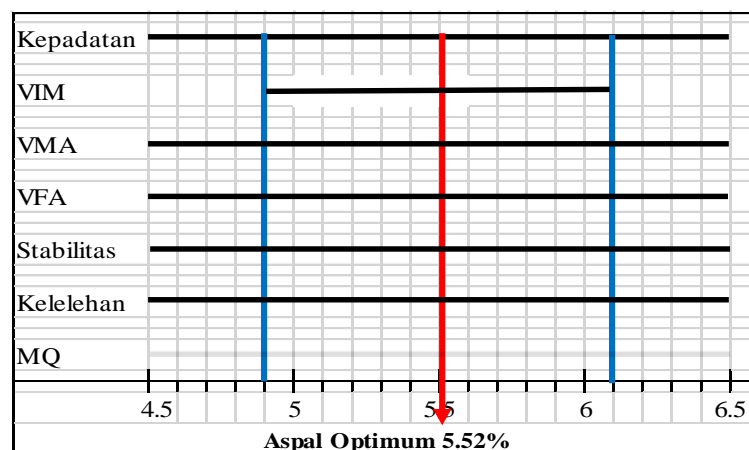
**Tabel 3.**

Hasil pemeriksaan sifat fisis aspal

Persentase substitusi <i>PET</i>	Sifat- Sifat Fisis Aspal			
	Penetrasi	Titik Lembek	Berat Jenis	Daktilitas
<i>PET</i> 0,0 %	70	51,25	1,023	101,3
<i>PET</i> 5 %	51	48,75	1,041	120
<i>PET</i> 7 %	77	55,75	1,021	60,0
<i>PET</i> 9 %	59	54,75	1,041	62,2

### C. Hasil Pengujian Marshall

Berdasarkan hasil pengujian Marshall dengan variasi kadar aspal rencana diperoleh Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 5,52%, yang memenuhi persyaratan dan parameter marshall untuk campuran aspal beton AC-WC. Grafik nilai KAO campuran aspal beton AC-WC diperlihatkan pada Gambar 1 berikut:



**Gambar 1.**

Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Hasil pengujian dan perhitungan parameter Marshall aspal beton (AC-WC) untuk tanpa substitusi dan dengan substitusi variasi *PET* pada kadar aspal optimum KAO yaitu sebesar 5,52%. rekapitulasi hasil pengujian Marshall *PET* disajikan pada Tabel 4 Sampai Tabel 8 dibawah ini:

**Tabel 4.**

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall tanpa substitusi limbah rendaman air biasa

Karakteristik Campuran	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1305,02	1208,91	1081,98
Flow (mm)	2 – 4	3,30	3,50	2,90
MQ (Kg/mm)	Min. 250	399,20	346,26	374,22
Density (t/m <sup>3</sup> )	-	2,43	2,41	2,42
VIM (%)	3 – 5	4,10	4,79	4,58
VMA (%)	Min. 15	22,98	23,54	23,37
VFA (%)	Min. 65	82,29	79,88	80,41

**Tabel 5.**

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall tanpa substitusi limbah rendaman kotoran sapi

Karakteristik Campuran	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1136,49	1073,24	1059,53
Flow (mm)	2 – 4	2,97	3,20	2,60
MQ (Kg/mm)	Min. 250	383,27	336,02	408,06
Density (t/m <sup>3</sup> )	-	2,45	2,44	2,44
VIM (%)	3 – 5	3,16	3,68	3,64
VMA (%)	Min. 15	22,23	22,65	22,62
VFA (%)	Min. 65	86,22	83,74	83,98

**Tabel 6**

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall untuk PET 5%rendaman kotoran sapi

Karakteristik Campuran	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1645,49	1859,32	2092,01
Flow (mm)	2 – 4	3.90	3.87	3.30
MQ (Kg/mm)	Min. 250	423,48	485,14	644,09
Density (t/m <sup>3</sup> )	-	2.47	2.46	2.46
VIM (%)	3 – 5	2,67	2,96	2,96
VMA (%)	Min. 15	21,84	22,07	22,07
VFA (%)	Min. 65	87,79	86,61	86,60

**Tabel 7.**

Rekapitulasi Hasil Pengujian Marshall untuk PET 7% rendaman kotoran sapi

Karakteristik Campuran	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1524,43	1724,04	2086,17
Flow (mm)	2 – 4	3.90	3.93	3.93
MQ (Kg/mm)	Min. 250	395,29	441,39	532,10
Density (t/m <sup>3</sup> )	-	2.41	2.43	2.46
VIM (%)	3 – 5	4.71	3,96	3,06
VMA (%)	Min. 15	23,47	22,87	22,15
VFA (%)	Min. 65	80,40	82,84	86,30

**Tabel 8.**

Rekapitulasi hasil pengujian marshall untuk *PET* 9% rendaman kotoran sapi

Karakteristik Campuran	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
Stabilitas (Kg)	Min. 800	1487,26	1552,18	1895,04
Flow (mm)	2 – 4	4,00	3,87	3,83
MQ (Kg/mm)	Min. 250	373,13	404,09	497,42
Density (t/m <sup>3</sup> )	-	2,45	2,45	2,48
VIM (%)	3 – 5	3,45	3,27	2,24
VMA (%)	Min. 15	22,46	22,32	21,49
VFA (%)	Min. 65	84,78	85,70	89,62

Berdasarkan hasil pengujian marshall, akan dihitung nilai indeks durabilitas campuran setelah direndam dengan dan tanpa substitusi limbah *PET* seperti yang diperlihatkan pada Tabel 9.

**Tabel 9**

Nilai indeks durabilitas

Persentase Substitusi <i>PET</i>	Spek. Dept. PU (2014)	Variasi Lama Perendaman (Jam)		
		0.5	24	48
0,0% (Air Biasa)	90	100,00	92,64	82,91
0,0% (Kotoran Sapi)	90	100,00	90,80	89,64
5 %	90	100,00	92,64	90,38
7 %	90	100,00	92,72	83,48
9 %	90	100,00	99,72	90,58

#### D. Uji One Way – ANOVA

Hasil uji one-way Anova, maka diketahui ada tidaknya pengaruh substitusi variasi persentase limbah *PET* dan Styrofoam terhadap parameter Marshall.

**Tabel 10**

Perhitungan one-way Anova *PET* rendaman 30 menit

Karakteristik	Variasi Lama Perendaman (Jam)			Uji ANOVA	Kesimpulan
	Nilai F <sub>hitung</sub> dan Sig.	Nilai F <sub>tabel</sub> dan $\alpha$	Nilai df <sub>1</sub> dan df <sub>2</sub>		
<i>Density</i>	F <sub>hitung</sub> = 13,777	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho ditolak	ada pengaruh
	Sig. = 0,001	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha diterima	
VIM	F <sub>hitung</sub> = 0,574	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho diterima	Tidak ada pengaruh
	Sig. = 0,647	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha ditolak	
VMA	F <sub>hitung</sub> = 13,777	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho ditolak	ada pengaruh
	Sig. = 0,001	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha diterima	
VFA	F <sub>hitung</sub> = 0,426	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho diterima	Tidak ada Pengaruh
	Sig. = 0,739	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha ditolak	
Stabilitas	F <sub>hitung</sub> = 4,922	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho ditolak	Ada pengaruh
	Sig. = 0,031	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha diterima	
<i>Flow</i>	F <sub>hitung</sub> = 10,874	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho ditolak	ada pengaruh
	Sig. = 0,003	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha diterima	
<i>MQ</i>	F <sub>hitung</sub> = 9,943	F <sub>tabel</sub> = 4,066	df <sub>1</sub> = 3	Ho ditolak	ada pengaruh
	Sig. = 0,004	$\alpha$ = 0,050	df <sub>2</sub> = 8	Ha diterima	

**Tabel 11**

Perhitungan one-way Anova *PET* rendaman 24 jam

Karakteristik	Variasi Lama Perendaman (Jam)			Uji Anova	Kesimpulan
	Nilai $F_{hitung}$ dan Sig.	Nilai $F_{tabel}$ dan $\alpha$	Nilai $df_1$ dan $df_2$		
<i>Density</i>	$F_{hitung} = 13,777$ Sig. = 0,001	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh
VIM	$F_{hitung} = 0,690$ Sig. = 0,582	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho diterima Ha ditolak	Tidak ada pengaruh
VMA	$F_{hitung} = 0,690$ Sig. = 0,582	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh
VFA	$F_{hitung} = 0,477$ Sig. = 0,706	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho diterima Ha ditolak	Tidak ada Pengaruh
Stabilitas	$F_{hitung} = 12,466$ Sig. = 0,002	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	Ada pengaruh
<i>Flow</i>	$F_{hitung} = 5,666$ Sig. = 0,022	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh
<i>MQ</i>	$F_{hitung} = 8,055$ Sig. = 0,008	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh

**Tabel 12**

Perhitungan one-way Anova *PET* rendaman 48 jam

Karakteristik	Variasi Lama Perendaman (Jam)			Uji Anova	Kesimpulan
	Nilai $F_{hitung}$ dan Sig.	Nilai $F_{tabel}$ dan $\alpha$	Nilai $df_1$ dan $df_2$		
<i>Density</i>	$F_{hitung} = 0,723$ Sig. = 0,565	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh
VIM	$F_{hitung} = 0,723$ Sig. = 0,565	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho diterima Ha ditolak	Tidak ada pengaruh
VMA	$F_{hitung} = 0,690$ Sig. = 0,582	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho diterima Ha ditolak	Tidak ada pengaruh
VFA	$F_{hitung} = 0,723$ Sig. = 0,565	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho diterima Ha ditolak	Tidak ada Pengaruh
Stabilitas	$F_{hitung} = 10,566$ Sig. = 0,003	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	Ada pengaruh
<i>Flow</i>	$F_{hitung} = 8,899$ Sig. = 0,006	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	ada pengaruh
<i>MQ</i>	$F_{hitung} = 2,975$ Sig. = 0,096	$F_{tabel} = 4,066$ $\alpha = 0,050$	$df_1 = 3$ $df_2 = 8$	Ho ditolak Ha diterima	Tidak ada pengaruh

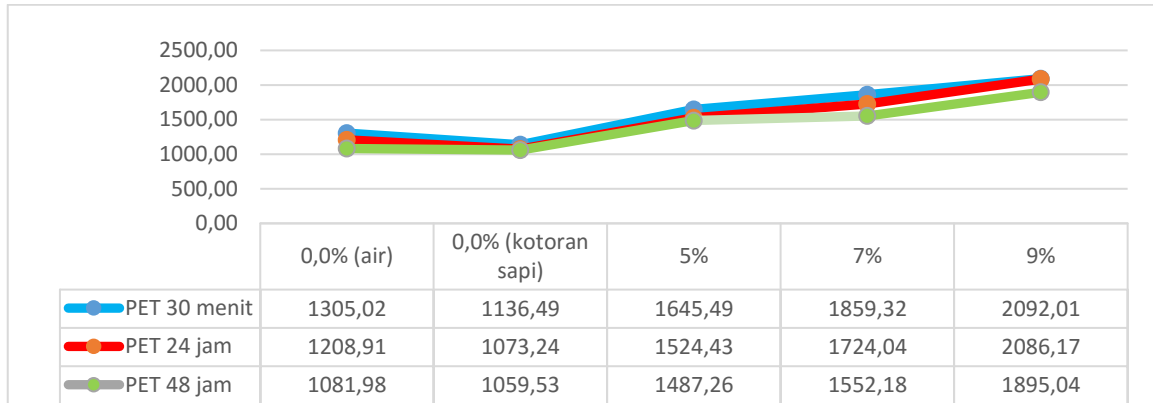
Hasil uji one way Anova dengan variasi kadar aspal terhadap karakteristik Marshall pada campuran Laston Lapis Aus (AC-WC) dengan membandingkan nilai  $F_{hitung}$  dan nilai  $F_{tabel}$  serta nilai Sig. Dan nilai  $\alpha$ . Apabila nilai  $F_{hitung}$  yang dihasilkan pada uji one way Anova lebih besar dari nilai  $F_{tabel}$  dan nilai Sig. Lebih besar dari nilai  $\alpha$ , maka  $H_a$  diterima dan  $H_o$  ditolak dan terdapat pengaruh yang signifikan dalam penggunaan limbah *PET* terhadap karakteristik Marshall terhadap lama waktu perendaman. .



## 4.2 Pembahasan

### 1. Tinjauan terhadap nilai stabilitas

Nilai stabilitas campuran laton AC-WC menggunakan aspal Pen. 60/70 dengan variasi substitusi kadar limbah *PET* dan pada KAO 5,52% dan variasi waktu perendaman dengan air biasa dan kotoran sapi mengidentifikasi bahwa terjadi peningkatan dan penurunan nilai stabilitas campuran dengan dan tanpa substitusi limbah *PET* yang seiring lama waktu perendaman. Nilai stabilitas campuran yang diperlihatkan pada Gambar 2 berikut ini:



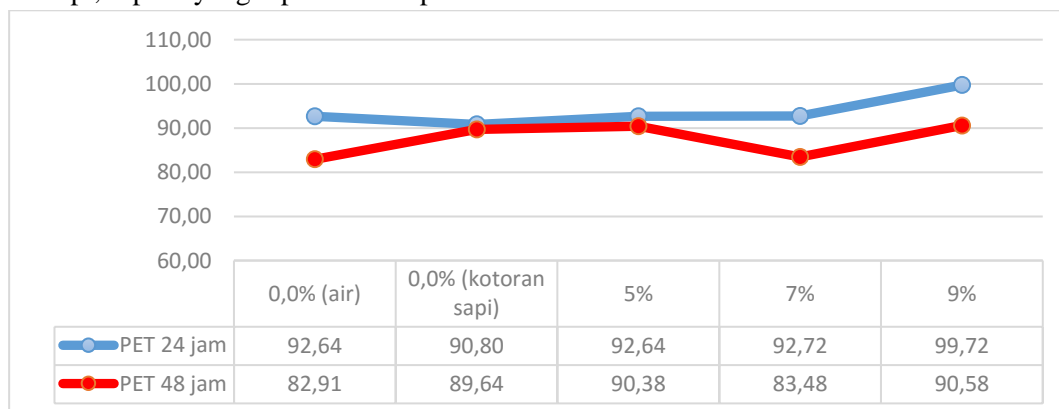
**Gambar 2**

Pengaruh lama waktu rendaman terhadap nilai stabilitas

Nilai stabilitas campuran dengan variasi substitusi limbah *PET* masih memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga yaitu  $\geq 1000$  kg pada setiap variasi waktu perendaman kotoran sapi dan pada perendaman air biasa  $\geq 800$ . Semakin besar persentase penambahan polimer *PET* nilai stabilitas semakin tinggi akan tetapi nilai stabilitas menurun seiring lamanya rendaman kotoran sapi hal ini dikarenakan kotoran sapi mengandung unsur hara yang dapat melemahkan daya lekat aspal.

### 2. Tinjauan terhadap Nilai Stabilitas Sisa (IRS)

Pengujian perendaman *Marshall* (*Marshall Immersion*) untuk memperoleh kekuatan suatu campuran aspal terhadap kerusakan akibat pengaruh cuaca dan kotoran sapi, dengan melihat dari persentase indeks durabilitas campuran sebagai parameter yang diperoleh setelah melakukan pengujian, pengujian ini merupakan indikator untuk menentukan besaran nilai penurunan durabilitas campuran aspal selama waktu perendaman. Nilai IRS campuran dengan dan tanpa substitusi limbah *PET* selama waktu perendaman kotoran sapi, seperti yang diperlihatkan pada Gambar 3 berikut ini:



**Gambar 3**

Pengaruh lama waktu rendaman terhadap indeks durabilitas sisa

Dari Gambar 3 terlihat bahwa Nilai Stabilitas Sisa semakin menurun seiring bertambahnya waktu

rendaman kotoran sapi, Pada campuran dengan substitusi limbah *PET* memiliki stabilitas sisa tertinggi pada persentase 9% selama waktu perendaman, hal ini relevan dengan penelitian suherman(2013) yang dikutip dalam Deni, I (2017) campuran yang tidak menggunakan aspal modifikasi polimer akan menghasilkan laju deformasi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal modifikasi polimer dan disimpulkan bahwa campuran yang menggunakan aspla midifikasi polimer memberikan kinerja yang baik khususnya dalam mengatasi deformasi.

## 5. KESIMPULAN DAN SARAN

### 5.1 Kesimpulan

1. Semakin besar kadar aspal campuran berpengaruh terhadap nilai durabilitas campuran pada periode perendaman yang lama dengan kotoran sapi. Campuran dengan substitusi limbah *PET* 9% masih memiliki nilai IRS lebih besar dari yang disyaratkan.
2. Semakin besar persentase substitusi limbah *PET* semakin tinggi nilai stabilitas dan nilai stabilitas sisa.

### 5.2 Saran

1. Untuk penelitian selanjutnya, agar dicari rekayasa campuran aspal modifikasi lainnya yang memiliki daya tahan terbesar pada periode waktu rendaman yang singkat dan lama dengan kotoran sapi, sehingga dapat mereduksi pengaruh penurunan adhesi dan kohesi campuran akibat rendaman kotoran sapi.
2. Semakin besar persentase penambahan polimer *PET* semakin besar nilai stabilitas dan durabilitas maka perlu dilakukan penelitian dengan persentase limbah *PET* yang lebih besar.

## DAFTAR PUSTAKA

- Asphalt Institute 1997, *Mix Design Methods For Asphalt Concrete And Other Hot-Mix Types (MS-2)*, vol. 6, pp.141.
- Brady, N, C, 1974, *Organic matter of mineral soils*, In: Buckman, H, O, and Brady N.C. ed. *The nature and Properties of soils*.New York, p. 137-163.
- Craus, Ishai, dan Sides, 1981, 'Durability of bituminous paving mixtures as related to filler type and properties', *Proceedings Associations of Asphalt Paving Technologist, San Diego, California*, vol. 50, pp. 291-316.
- Deni, I., 2017, *Pengaruh substitusi limbah Ethylene vinyl acetate (eva) dan crumb rubber pada campuran laston lapis aus (AC-WC) terhadap rendaman kotoran sapi*, Magister Teknik sipil syiah kuala Fransiskus.S., 2010, *Pengaruh penggunaan limbah botol plastic sebagai bahan tambah terhadap karakteristik lapis aspal beton (Laston,)*, Konferensi Nasional Teknik Sipil 4.Sanur-Bali.
- Lingga, P, dan Marsono. 2006. *Petunjuk penggunaan pupuk*, Penebar Swadaya, Jakarta.
- Sukirman, S, 1999, *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Penerbit Nova, Bandung.
- Sukirman, S, 2003, *Beton Aspal Campuran Panas*, Penerbit Granit, Bandung.