

Analisis *Optimum Bitumen Content* dan Suhu Pematatan Pada Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Limbah Plastik *High Density Poly Ethylene (HDPE)* Sebagai Pengganti Sebagian Agregat

M Fauzan Arofa¹⁾, Djoko Sarwono²⁾, Djumari³⁾

¹⁾ Mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

^{2),3)} Pengajar Jurusan Teknik Sipil, Universitas Sebelas Maret

Jl. Ir Sutami 36 A, Kentingan Surakarta 57126; Telp 0271-634524. Fax 662118

Email: fauzanarofa@rocketmail.com

Abstract

One of the problems in pavement construction is the existence of non renewable raw material, aggregates. Besides, Indonesian have a problem there are many waste material that hard to decompose such as plastic. In other research there is a fact that plastic can raise stability of Asphalt Concrete (Gunadi,2013). Research this time using waste bottle plastic HDPE as partial replacement of aggregate in Split Mastic Asphalt (SMA). The purpose of this research is identification that waste plastic as aggregate can give an effect to characteristic of marshall and to get the lowest temperature compact that can be applied for SMA.

Method that use for create specimens in this research is *Central Composite Design* (CCD) with the first stage using varied of asphalt content and varied of plastic which is spread in 9 combinations. The second stage use the varied of temperature compact which is spread in 5 variations. Test results were analyzed using minitab software.

The results showed that the highest stability values occurs in combination of 6.5% asphalt and 40% plastic is 2597.76 kg. The highest flow values is 10.9 mm occur in combination of 7% asphalt 30% plastic. Meanwhile the highest values of marshall quotient (MQ) is 314.183 that occurs in combination of 6.5% asphalt 40% plastic. These results suggest that HDPE plastic have been shown to improve the characteristic of marshall, with the lowest still having high stability and flow value. The optimum of SMA with plastic as replacement aggregate for asphalt is 6.95% and plastic is 33.5721% that using minitab program. In this research with the varied of temperature compact the lowest values of stability is 1117.3kg at 100°C and the highest is 2077.71 kg at 140°C. This shows that temperatures below the standard of compaction temperatures can be applied to facilitate temperature control in the field because it has a high stability value far beyond the requirement of split mastic asphalt mixture.

Keyword : SMA , Plastic HDPE, Central Composite Design (CCD), Marshall

Abstrak

Permasalahan dalam konstruksi perkerasan jalan salah satunya adalah bahan baku yang tidak dapat diperbaharui yaitu agregat. Dilain pihak Indonesia mempunyai permasalahan lain yaitu melimpahnya limbah yang sulit terurai kembali seperti plastik. Penelitian sebelumnya telah membuktikan bahwa plastik yang digunakan sebagai pengganti sebagian agregat dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran aspal beton lapis aus (Gunadi,2013). Dalam penelitian kali ini, plastik tutup botol bekas HDPE digunakan sebagai pengganti sebagian agregat pada campuran SMA. Tujuan penelitian ini untuk mengidentifikasi apakah limbah plastik sebagai agregat memberikan pengaruh terhadap karakteristik *Marshall* serta mendapatkan suhu terendah pematatan yang dapat diterapkan pada campuran SMA.

Metode pembuatan benda uji yang digunakan adalah *Central Composite Design* (CCD) dengan tahap pertama menggunakan variasi kadar aspal dan variasi kadar plastik yang tersebar dalam 9 kombinasi. Pada tahap kedua menggunakan variasi suhu pematatan sebesar tersebar dalam 5 variasi suhu. Hasil pengujian dianalisis menggunakan *software* minitab.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai stabilitas terbesar pada kombinasi aspal 6,5% dan plastik 40% yaitu sebesar 2597.76 kg. Nilai *flow* terbesar 10.9 mm pada kombinasi aspal 7% plastik 30%. Sedangkan nilai *marshall quotient* (MQ) terbesar 314.183 pada kombinasi aspal 6.5% plastik 40%. Hasil ini menunjukkan bahwa plastik HDPE terbukti dapat meningkatkan karakteristik *marshall* dengan hasil terendah pun telah memiliki nilai stabilitas, *flow* dan MQ yang jauh diatas rata-rata. Kadar aspal optimum pada penelitian ini sebesar 6.95% dan kadar plastik optimum sebesar 33.5721% yang didapatkan dengan menggunakan program minitab. Pada penelitian ini juga dengan adanya variasi suhu pematatan memiliki stabilitas terkecil yaitu pada suhu 100°C sebesar 1117.3kg dan terbesar pada suhu 140°C sebesar 2077.71kg. Hal ini menunjukkan bahwa suhu dibawah standar suhu pematatan dapat diterapkan untuk mempermudah pengendalian suhu di lapangan karena telah memiliki nilai stabilitas yang tinggi jauh melebihi syarat stabilitas campuran *split mastic asphalt* (SMA).

Kata Kunci : SMA , Plastik HDPE, *Central Composite Design* (CCD), Marshall

PENDAHULUAN

Indonesia mempunyai permasalahan dimana banyaknya limbah yang sulit terurai kembali seperti plastik. Hal ini dijelaskan oleh Utomo (2016) dari riset yang dipublikasikan di jurnal *Science* pada 13 Februari 2015 lalu mengungkapkan bahwa Indonesia merupakan penyumbang terbesar kedua sampah plastik di lautan. Ada beberapa jenis plastik salah satunya yaitu plastik *High Density Poly Ethylene* (HDPE).

Penelitian sebelumnya telah banyak yang meneliti bahwa plastik dapat meningkatkan karakteristik marshall. Salah satunya yang dilakukan dengan mencampur plastik pada aspal seperti yang dilakukan oleh Almasatr (2015) dan Kasetriani (2011) yang membuktikan bahwa dengan menggunakan limbah botol plastik polyetyhlene terephthalate (PET) ataupun *low densty polyethylene* (LDPE) dapat meningkatkan karakteristik *marshall*.

Penelitian yang dilakukan tidak sebatas mencampur plastik dalam aspal tetapi adapula yang telah meneliti bahwa plastik dapat dijadikan sebagai pengganti agregat. Seperti yang telah dilakukan Gunadi (2013) dan Rahmawati (2013) dimana didapatkan hasil bahwa plastik HDPE maupun polypropylene (PP) meningkatkan nilai karakteristik marshall pada campuran aspal beton lapis aus (AC-WC).

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan salah satu jenis perkerasan jalan yang dapat diandalkan untuk mengatasi permasalahan jalan di Indonesia dimana dengan SMA ini telah terbukti dapat meningkatkan ketahanan terhadap deformasi. Hal ini sesuai dengan penjelasan Lake (2010), campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi, mempunyai *skid resistance* tinggi karena kadar agregat kasarnya besar dan mempunyai kecenderungan lebih tahan lama, karena kadar aspalnya tinggi dan distabilisasi dengan serat selulosa, sehingga dapat melayani kendaraan berat, dengan lebih baik. Di Eropa, Australia, Amerika Serikat dan Kanada, SMA digunakan sebagai lapisan permukaan untuk jalan-jalan besar (*highway*). Hal ini diperjelas oleh Sunarjono (2012) yang menjelaskan bahwa Agregat dari SMA mempunyai gradasi terbuka, sehingga dapat memiliki ketebalan lapisan film aspal yang tinggi, hal ini menimbulkan pengaruh positif dan negatif.

Suhu pemadatan merupakan faktor yang sangat penting dalam proses pemadatan pada campuran beraspal. Aschuri (2011), proses pemadatan yang menghasilkan tingkat kepadatan yang tidak memenuhi persyaratan, akan menyebabkan menurunnya kualitas karakteristik beton aspal seperti stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahan terhadap geser, tahan terhadap kelelahan dan kedap air. Sukirman (1992) menyatakan bahwa suhu pemadatan yang dipergunakan pada pemadatan aspal beton campuran panas adalah 125°C.

Permasalahan – permasalahan yang ada dan penelitian sebelumnya, maka dilakukan penelitian ini yang menggunakan variasi kadar aspal dan suhu pemadatan yang diharapkan dengan plastik HDPE sebagai pengganti agregat dalam campuran SMA (*Split Mastic Asphalt*) dapat menunjukkan bahwa dengan suhu pemadatan yang rendah tetap memiliki karakteristik *marshall* yang tinggi sehingga akan mempermudah penerapan di lapangan. Campuran SMA ini digunakan karena memiliki gradasi senjang, dimana agregat didominasi oleh agrgeat kasar sehingga dalam penelitian ini yang menggunakan plastik HDPE sebagai pengganti agregat kasar dengan persentase yang banyak sehingga tidak semua agregat kasar tergantikan oleh plastik.

TINJAUAN PUSTAKA

Split Mastic Asphalt (SMA)

Buku *National Asphalt Pavement Association (NAPA, 1999)* menjelaskan bahwa *Split Mastic Asphalt* (SMA) merupakan salah satu jenis campuran aspal yang terdapat kesenjangan pada bahan-bahan penyusunnya. SMA termasuk dalam *Hot Mix Asphalt* dimana terdiri dari dua penyusun yaitu agregat dan mortar pengikat. Spesifikasi campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dapat dilihat pada tabel 1.

Tabel 1 Spesifikasi *Split Mastic Asphalt* (SMA)

<i>Split Mastic Asphalt</i> (SMA)	
VIM (<i>Void in Total Mixture</i>) (%)	3-4
Kadar Aspal (%)	Min.6
VMA (<i>Void Mixture Aggregate</i>) (%)	Min 17
Stabilitas, N(lbs)	6200 (1400)
<i>Flow</i> 0,25mm (0,01 inch)	8-16
Jumlah Tumbukan	50

Sumber : *National Asphalt Pavement Association (NAPA, 1999)*

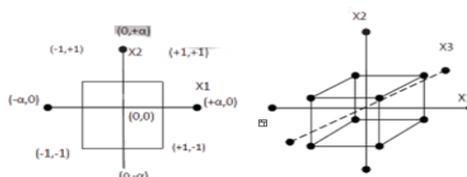
Plastik HDPE

Plastik HDPE merupakan kependekan dari *high density polyethylene*, ini adalah salah satu jenis plastik yang ada di dunia saat ini, kalau dilihat secara visual jenis plastik HDPE ini pekat, ini banyak digunakan sebagai botol susu. Jenis plastik yang satu ini diberi simbol segitiga dan angka nomer 2. Jenis plastik HDPE mudah didaur ulang, sehingga plastik ini banyak dicari oleh para pebisnis daur ulang plastik. Plastik HDPE ini dibuat dari ethylene dengan proses katalis. (Rahmi,2015).

Gunadi (2013) dalam penelitiannya menggunakan plastik HDPE sebagai pengganti sebagian dari agregat dengan variasi, 10%, 20%, 30%, 40%, dan 50% terhadap berat total agregat. Cara pencacahan plastik bekas yaitu dengan cara dicacah dengan menggunakan mesin pencacah plastik, dan dipotong lebih lanjut dengan alat potong manual (berbentuk relatif/ mendekati kubikal) hingga mencapai ukuran $\leq 4,75$ mm. Setelah itu disaring untuk mendapatkan gradasi plastik. Karakteristik plastik bekas yang ditinjau adalah berat jenis dan temperatur lembek plastik dimana berat jenis sebesar 0,916 dan temperatur lembek plastik berkisar antara 130-145°C. Penggantian material agregat dengan plastik dilakukan pada kadar aspal optimum, dengan substitusi berdasarkan volume. Agregat yang diganti adalah agregat yang tertahan saringan 1/2" (12,5mm), 3/8" (9,5mm), no.4 (4,75 mm) dan no.8 (2,36 mm).

Central Composite Design (CCD)

Central Composite Design adalah sebuah rancangan percobaan yang terdiri dari rancangan 2k faktorial dengan ditambahkan beberapa *central runs* dan *axial run* (*star runs*). CCD untuk k=2 dan k=3 secara visual ditunjukkan oleh gambar berikut (Vardeman dalam Ernawati,2012).



Gambar 1 Central Composite Design

Untuk estimasi model respon permukaan orde II, digunakan *Central Composite Design* (CCD). Misalnya k buah variabel input dalam bentuk kode ditunjukkan dengan $x = (x_1, \dots, x_k)$, CCD terdiri dari tiga bagian berikut (Jeff Wu dalam Ernawati, 2012) :

1. Rancangan 2^k faktorial (*Runs/Cube Point*) = n_f , dimana k adalah banyaknya faktor, yaitu percobaan pada titik $(\pm 1, \pm 1, \dots, \pm 1)$
2. *Center Runs* (n_c) yaitu percobaan pada titik pusat $(0, 0, \dots, 0)$
3. *Star Runs / axial runs*, yaitu percobaan pada titik-titik $(\alpha, 0, \dots, 0)$, $(-\alpha, 0, \dots, 0)$, $(0, \alpha, \dots, 0)$, $(0, -\alpha, \dots, 0)$, $(0, 0, \dots, \alpha)$ dan $(0, 0, \dots, -\alpha)$ dengan menggunakan axial atau *star point* α yang nilainya ditentukan oleh jumlah variabel faktor dan jenis CCD yang digunakan, dimana nilai $\alpha = (2)^{n_f/4}$.

Pada CCD, agar kualitas dari prediksi menjadi lebih baik, maka rancangannya selain memiliki sifat ortogonal juga harus *rotatable*. Suatu rancangan dikatakan *rotatable* jika ragan dari variabel respon yang diestimasi merupakan fungsi dari x_1, x_2, \dots, x_k yang hanya bergantung pada jarak dari pusat rancangan dan tidak bergantung dari arahnya (letak titik percobaan). Dengan kata lain ragam dari variabel respon yang diduga sama untuk semua titik asalkan titik-titik tersebut memiliki jarak yang sama dari pusat rancangan (*center runs*).

Rotatability

Ernawati (2012) menjelaskan untuk mendapatkan orde II yang bagus dalam menghasilkan nilai prediksi, model diharuskan mempunyai variasi yang stabil dan konsisten yang layak pada titik x. Desain respon permukaan orde II sebaiknya harus *rotatable* artinya pada semua titik jarak x jaraknya harus sama terhadap desain pusat. Dengan kata lain. Desain CCD dibuat *rotatable* dengan pemilihan nilai α . Nilai α untuk *rotatability* bergantung dari jumlah titik pada *factorial portion* dalam desain. Berikut tabel desain CCD sampai k = 6 variable *input* (Devor dalam Ernawati 2012)

Tabel 2 Central Composite Design

	Jumlah variabel, k				
	2	3	4	5	6
nf (untuk 2k atau 2k-p)	4	8	16	32	64
Banyak titik aksial = 2k	4	6	8	10	12
$\alpha = (nf)^{1/4}$	1.414	1.682	2.000	2.378	2.828

Nc	nc	Nc	nc	Nc	Nc
Total	8+nc	14+nc	24+nc	42+nc	76+nc

METODE PENELITIAN

Perencanaan Benda Uji Menggunakan Minitab

1. Klik stat – DOE – Respon Surface – Create Respon Surface Design
2. Klik *Create Response Surface Design* – Pilih Jumlah Variabel Pada *Number of Continuous Factors* (Dalam penelitian ini menggunakan 2 variabel) – Klik Menu *Design* – Tentukan Jumlah Pengulangan Data pada *Number of Replicates*
3. Pada menu *factors* masukkan variabel yang digunakan beserta batas atas dan batas bawahnya (kadar aspal 6,5%-7.5% kadar plastik 20%-40%) dan pada menu option hilangkan tanda centang pada *randomize runs*. Kemudian pilih ok.
4. Pada worksheet akan muncul kombinasi yang digunakan dalam penelitian tahap 1.
5. Untuk penelitian tahap 2 menggunakan variasi suhu pemadatan sebesar 100°C, 110°C, 120°C, 130°C dan 140°C

Persiapan Pembuatan Benda Uji

Tahapan ini bertujuan agar tidak terjadinya hambatan-hambatan yang berarti selama proses penelitian dengan cara mempersiapkan seluruh kebutuhan bahan dan peralatan yang akan digunakan dalam penelitian. Persiapan penyediaan bahan tersebut meliputi aspal pen 60/70, agregat, *mineral fiber*, dan plastik HDPE beserta pemeriksaan material-material yang digunakan sesuai dengan spesifikasi atau tidak. Plastik HDPE yang digunakan didapatkan dari pabrik daur ulang plastik yang telah dipotong atau dicacah dengan bentuk cacahan yang pipih.

Proses Pencampuran Plastik HDPE

Pencampuran plastik dilakukan dengan cara kering. Cara pencampuran ini dimana plastik dimasukkan kedalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Berikut prosedur pencampuran dan pemanasan material dengan variasi kadar plastik:

- Agregat yg sudah diporsisikan dicampur dan dipanaskan dalam wajan.
- Masukan cacahan plastik bekas sesaat setelah pemanasan agregat. Lalu aduk agar plastik tercampur dengan agregat.
- Tuangkan aspal panas ke dalam campuran agregat yg telah dipanaskan.
- Aduk secara manual sehingga agregat dan plastik terselimuti aspal secara tipis dan merata.
- Setelah plastik mulai melembek (mulai mengalami deformasi/masih memiliki tingkat kekentalan yg cukup), tuangkan campuran ke dalam cetakan.
- Lakukan prosedur pemadatan sampel.

Perencanaan Komposisi dan Jumlah Benda Uji

Tahap Perencanaan komposisi untuk campuran perkerasan SMA ini dilakukan setelah semua material sudah sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Untuk penentuan gradasi yang digunakan langsung diambil median dari persyaratan gradasi untuk campuran SMA berdasarkan AASHTO T-27 & T-11. Persentase plastik HDPE adalah terhadap berat total agregat, dimana plastik ini akan menggantikan agregat yang tertahan pada saringan #4.

Analisis Data Dengan Minitab

Pada tahap 1 setelah data diperoleh dari pengujian berupa stabilitas dan *flow*, maka data tersebut dapat digunakan untuk menentukan kadar aspal dan kadar plastik optimum dengan menggunakan *minitab 17*. Adapun langkah-langkah analisis yang digunakan adalah sebagai berikut :

Analisis Hasil *Marshall*

1. Masukkan hasil pengujian *marshall* berupa stabilitas dan *flow* dan volumetrik pada *worksheet*
2. Klik stat – DOE – *Response Surface* – *Analyze Response Surface Design*
3. Pilih stabilitas dan VIM sebagai response dengan cara memblock stabilitas dan flow pada kolom kiri , lalu pilih select. Pada menu *option* pastikan angka *confidence* sebesar 95. Kemudian klik OK.

Pembuatan *Factorial Plot*

1. Klik stat – DOE – *Response Surface* – Pilih *factorial plot*
2. Pada menu *factorial* pilih *response* yang diinginkan dan pastikan variabel (kadar aspal dan kadar plastik) berada pada pada kolom *selected*.

Penentuan Kadar Optimum

1. Klik stat – DOE – *Response Surface* – *Response Optimizer*

2. Ubah *goal* sesuai dengan yang diinginkan. Lalu klik OK.

ANALISIS DAN PEMBAHASAN

Karakteristik Material Agregat

Tabel 3 Karakteristik Agregat

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Kecausan Agregat (%)	25.42	Maks 40
Berat Jenis Agregat		
Agregat Kasar (gr/cc)	Bulk : 2.66 SSD : 2.68	NA NA
	Apparent : 2.71	NA
Agregat Halus (gr/cc)	Bulk : 2.46 SSD : 2.51	NA NA
	Apparent : 2.60	NA

Karakteristik Serat Fiber

Serat fiber merupakan bahan tambah yang digunakan dalam campuran *split mastic asphalt* yang berfungsi untuk mengisi rongga dalam campuran SMA yang memiliki gradasi senjang. Kadar fiber yang digunakan yaitu sebanyak 0.3% dari total campuran. Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan berat jenis fiber sebesar 0.15 gr/cc.

Karakteristik Plastik HDPE

Karakteristik plastik HDPE yang ditinjau pada penelitian ini berupa berat jenis dan kelekatan plastik terhadap aspal. Berdasarkan pengujian yang dilakukan didapatkan berat jenis plastik sebesar 0.96004 gr/cc dan kelekatan plastik terhadap aspal sebesar 98% .

Karakteristik Aspal

Tabel 4 Karakteristik Aspal Penetrasi 60/70

Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi
Berat Jenis	1.038	Min 1
Penetrasi	62.5	60-70
Titik Nyala	290°C	≥200°C
Titik Bakar	336°C	≥200°C
Titik Lembek	48°C	48-58°C
Daktilitas	150 mm	Min 100 mm

Rencana Proporsi Agregat pada Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA)

Pada variasi aspal, plastik dan suhu pemadatan dalam menentukan proporsi agregat pada campuran aspal dilakukan dengan menggunakan median atau nilai tengah. Penggantian material agregat dilakukan dengan menggunakan perbandingan volume seperti di bawah ini.

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Aspal (a)} &= 6.29\% \\
 \text{Kadar Plastik (b)} &= 30\% \\
 \text{Berat total agregat (c)} &= 1120.89 \text{ g} \\
 \text{Berat jenis agregat (d)} &= 2.68 \text{ gr/cc} \\
 \\
 \text{Berat jenis plastik (e)} &= 0.96 \text{ gr/cc} \\
 \text{Berat agregat yang digantikan (f)} &= a \times c \\
 &= 30\% \times 1120.89 \\
 &= 336.27 \text{ g} \\
 \text{Volume agregat yang digantikan (g)} &= f / d \\
 &= 336.27 / 2.68 \\
 &= 125.402 \text{ cc} \\
 \text{Berat plastik yang dibutuhkan} &= g \times e \\
 &= 125.402 \times 0.96 \\
 &= 120.39 \text{ g}
 \end{aligned}$$

Ukuran Saringan	Tertahan (%)	6.29%		6.50%		7%			7.50%		7.71%	6.95%
		0%	30%	20%	40%	15.86%	30%	44.14%	20%	40%	30%	33.57%
3/4"	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1/2"	10	112.09	112.09	111.84	111.84	111.24	111.24	111.24	110.64	111.24	110.39	111.3
3/8"	15	168.13	168.13	167.76	167.76	166.86	166.86	166.86	165.96	166.86	165.59	166.95
#4	51	571.65	235.39	346.70	123.02	390.92	233.60	76.29	342.98	233.60	231.82	193.98
#8	4	44.84	44.84	44.74	44.74	44.50	44.50	44.50	44.26	44.50	44.16	44.52
#30	6	67.25	67.25	67.10	67.10	66.74	66.74	66.74	66.38	66.74	66.23	66.78
#50	0.5	5.60	5.60	5.59	5.59	5.56	5.56	5.56	5.53	5.56	5.52	5.57
#200	4.5	50.44	50.44	50.33	50.33	50.06	50.06	50.06	49.79	50.06	49.68	50.09
PAN	9	100.88	100.88	100.66	100.66	100.12	100.12	100.12	99.58	100.12	99.35	100.17
Total	100	1120.89	784.62	894.72	671.04	936.00	778.68	621.36	885.12	778.68	772.74	739.35
Keterangan		Kadar Aspal										
		Kadar Plastik										

Hasil perhitungan lainnya dapat dilihat pada tabel 4 - 5 berikut ini.

Tabel 5 Kebutuhan Agregat

Tabel 6 Kebutuhan Plastik Tiap Kombinasi

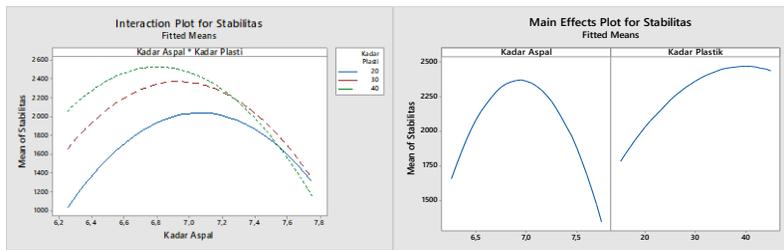
Kadar Aspal (%)	Kadar Plastik (%)	Agregat Yang Digantikan (gr)	Plastik Yang Menggantikan (gr)
6.29	30	336.27	120.39
6.5	20	223.68	80.08
	40	447.36	160.17
7	15.86	176.40	63.16
	30	333.72	119.48
	44.14	491.04	175.80
7.5	20	221.28	442.56
	40	442.56	158.45
7.71	30	331.17	118.57
6.95	33.57	373.65	133.77

Karakteristik Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) dengan Plastik Sebagai Pengganti Agregat

Tabel 7 Data Hasil Pengujian Volumetrik dan Marshall

Kadar Aspal	6.50%	7.50%	6.50%	7.50%	6.29%	7.71%	7.00%	7.00%	7.00%	Persyaratan
Kadar Plastik	20%	20%	40%	40%	30%	30%	15.86%	44.14%	30%	
Stabilitas (Kg)	1710.81	1697.29	2597.76	1795.193	1516.992	1516.563	1789.991	2326.222	2363.967	≥632
Flow	6.567	9.487	8.267	7.043	7.967	9.150	10.170	9.533	10.903	8-16
MQ	260.469	179.112	314.183	255.406	190.625	166.078	2.152	243.881	217.208	190-300
VMA (%)	2.135	2.243	1.908	2.040	1.957	2.216	2.152	1.845	2.041	min 17
VFB(%)	85.577	93.856	79.735	85.676	84.290	88.046	96.861	88.589	89.930	min 65
VIM(%)	2.1277	0.9515	2.7661	2.0795	2.1213	1.9132	0.4631	1.4Z611	1.4322	3-4

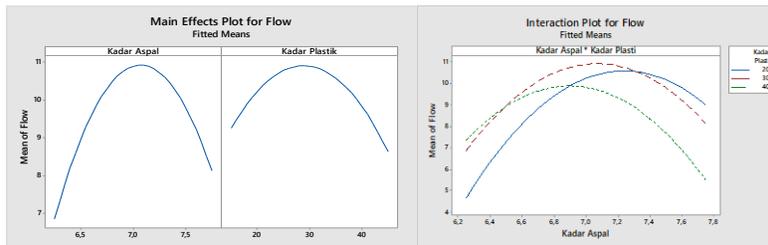
Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap Stabilitas



Gambar 2 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik Terhadap Stabilitas

Plastik HDPE ini berkontribusi banyak dalam peningkatan nilai stabilitas *marshall* dari campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA). Seperti yang terlihat pada gambar dimana aspal telah memiliki kadar optimumnya sedangkan plastik masih terus meningkat seiring pertambahan jumlah plastik yang digunakan.

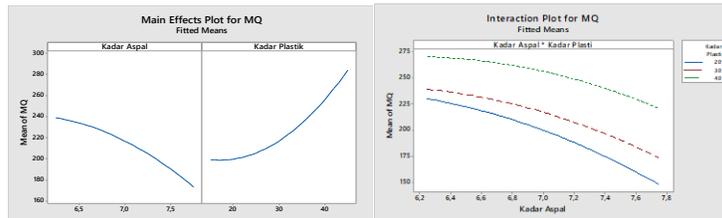
Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap Flow



Gambar 3 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik Terhadap Flow

Tren *flow* terhadap kadar aspal yang harusnya meningkat seiring bertambahnya kadar aspal tidak terjadi pada kombinasi ini yang dikarenakan kadar aspal yang tinggi dikombinasikan dengan kadar plastik yang tinggi pula. Dapat disimpulkan bahwa plastik memberi pengaruh lebih besar dibandingkan dengan aspal dimana plastik membuat campuran aspal menjadi getas pada kadar yang tinggi. Hal ini terlihat jelas pada gambar 4.2 yang didapatkan menggunakan *software minitab*.

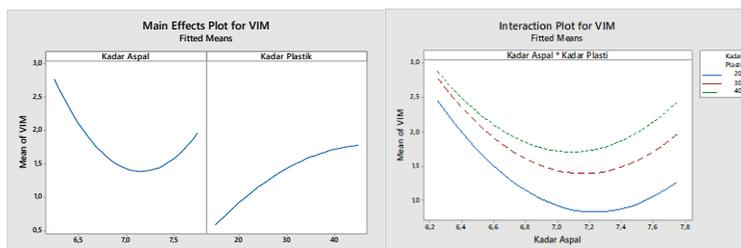
Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap Marshall Quotient



Gambar 4 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik Terhadap Marshall Quotient

Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa ada tiga kombinasi yang tidak memenuhi spesifikasi MQ yang ada. Hal ini dapat dikarenakan nilai *flow* yang tinggi. Karena *marshall quotient* merupakan nilai perbandingan antara stabilitas dengan *flow*. Untuk pengaruh kadar plastik berbanding terbalik dengan kadar aspal. Dimana semakin banyak kadar plastik akan meningkatkan nilai MQ tetapi sebaliknya dengan semakin banyak aspal yang digunakan maka akan menurunkan nilai MQ itu sendiri.

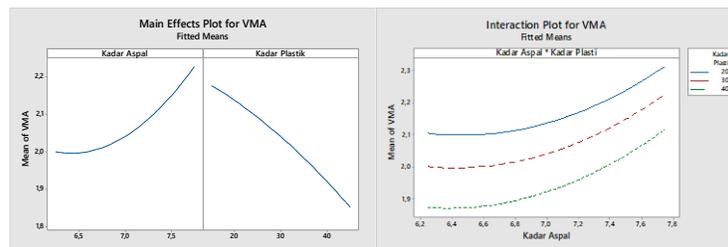
Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap VIM (Void In Mixture)



Gambar 6 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik Terhadap VIM

Nilai VIM menunjukkan nilai persentase rongga dalam suatu campuran aspal. Dengan adanya penambahan plastik sebagai pengganti agregat sangat mempengaruhi nilai VIM. Seperti yang dapat dilihat pada gambar 6 pada kadar aspal terjadinya penurunan nilai VIM pada kadar 6.29% - 7.26% dan terjadi peningkatan setelah kadar 7.26% itu. Sedangkan pada kadar plastik nilai VIM terus meningkat seiring bertambahnya jumlah plastik yang digunakan. Selain itu dari tabel 6 diketahui bahwa hasil pengujian untuk nilai VIM masih berada dibawah syarat minimum yaitu 3-4% yang ditetapkan oleh AASHTO T166, T209 dan T269. Hal ini dikarenakan posisi plastik dalam campuran yang tidak ideal maupun diposisikan sesuai yang diinginkan serta sifat plastik yang *thermoplastis*, dimana pada suhu tinggi plastik akan leleh sehingga dapat mengisi pori pada campuran tersebut dan pada saat temperatur menurun plastik akan kembali mengeras kembali sehingga akan menyisakan sedikit rongga pada benda uji. Nilai VIM yang rendah ini mengakibatkan lapisan yang kedap air dan udara sehingga dapat mengakibatkan perkerasan mengalami *bleeding* jika temperatur meningkat.

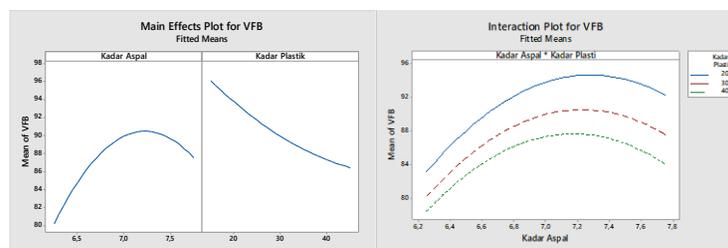
Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap VMA (Void Mix Aggregate)



Gambar 7 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik Terhadap VMA

VMA merupakan rongga yang terdapat pada partikel agregat pada campuran beraspal yang telah dipadatkan. VMA merupakan salah satu faktor penting dalam campuran aspal dikarenakan VMA mempengaruhi terhadap ketahanan campuran aspal itu sendiri. Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa variasi yang digunakan dalam pengujian ini semuanya tidak memenuhi persyaratan yaitu lebih besar dari 17%. Dapat dilihat juga pada gambar 7 bahwa terjadi peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Tetapi berbanding terbalik dengan kadar plastik, dimana semakin bertambahnya plastik maka akan menurunkan nilai VMA. Hal ini dikarenakan plastik memberi pengaruh pada berat isi campuran yang cenderung bertambah sehingga menyebabkan penurunan nilai VMA.

Pengaruh Variasi Kadar Aspal dan Plastik HDPE Terhadap VFB (Void Filled Bitumen)

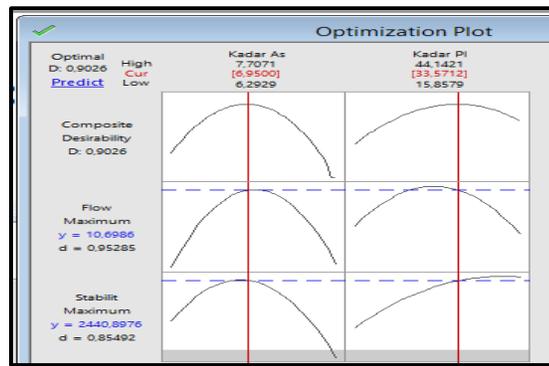


Gambar 8 Grafik Pengaruh Kadar Aspal dan Plastik VFB

Kriteria VFB bertujuan untuk menjaga keawetan campuran beraspal dengan memberi keawetan yang cukup. Dari tabel 6 dapat dilihat bahwa semua kombinasi variasi telah memenuhi semua persyaratan yaitu VFB lebih besar dari 65%. Hal ini disebabkan karena dengan adanya plastik menyebabkan mengecilnya jumlah rongga dalam campuran (VIM) yang merupakan pembagi dalam menentukan nilai VFB. Pada campuran SMA yang terlihat pada gambar 8, semakin banyak kadar plastik maka akan menyebabkan menurunnya nilai VFB sedangkan kadar aspal memiliki nilai optimumnya yaitu berada pada 7.3%.

Kadar Aspal dan Plastik Optimum Berdasarkan Karakteristik Marshall

Nilai optimum merupakan nilai yang didapatkan dengan cara pengujian menggunakan berbagai variasi variabel yang bertujuan mendapatkan nilai atau hasil yang terbaik. Biasanya dalam grafik akan ditunjukkan dengan bentuk parabola, dimana puncak tertinggi itu merupakan nilai optimumnya. Setelah melakukan pengujian dan analisis menggunakan *software minitab* didapatkan nilai optimumnya. Nilai optimum yang ingin dicapai pada penelitian ini yaitu menunjukkan gabungan antara nilai stabilitas dengan *flow* sehingga didapatkan optimum kadar aspal sebesar 6,95% dan kadar plastik sebesar 33,57%. Yang dapat dilihat pada gambar 9 dibawah ini.



Gambar 9 Optimazation Plot Stabiilitas dengan Flow Terhadap Kadar Aspal Dengan Kadar Plastik

Pengaruh Variasi Suhu Pematatan Terhadap Karakteristik Marshall

Suhu pematatan sangat mempengaruhi kekuatan dan kemudahan pengerjaan di lapangan. Oleh karena itu dilakukan variasi pada suhu pematatan pada penelitian ini. Semakin kecil suhu pematatan maka akan semakin mudah diterapkan di lapangan. Tetapi pada penelitian ini dengan menggunakan kadar aspal optimum sebesar 6.95% dan kadar plastik optimum sebesar 33.5721% tidak didapatkan suhu pematatan optimum dikarenakan terus terjadi peningkatan nilai stabilitas pada suhu yang semakin tinggi. Untuk hasil pengujian dapat dilihat pada tabel 8.

Tabel 8 Karakteristik Campuran SMA Pengaruh Suhu Pematatan

	Suhu Pematatan (°C)					Persyaratan
	100	110	120	130	140	
Stabilitas (Kg)	1117.726	1525.396	1812.876	1965.687	2077.706	≥632
Flow	7.203333	9.38	9.496667	10.17	13.35	8-16
MQ	155.8973	162.5726	190.9054	193.3139	155.6721	190-300
VMA (%)	2.036139	2.000132	1.983462	1.972222	1.964657	min 17
VIM (%)	2.137145	1.671359	1.45572	1.310319	1.212457	3-4
VFB (%)	85.04868	87.97316	89.39948	90.33749	91.00162	min 65

Meskipun demikian, jika kita tinjau dari nilai stabilitas dengan suhu terkecil pun yaitu 100C masih memiliki nilai stabilitas yang tinggi yaitu sebesar 1117.73 kg walaupun dengan nilai *flow* masih kurang dari persyaratan. Untuk karakteristik campuran SMA lainnya hampir sama seperti pengujian pada tahap 1 dikarenakan kadar aspal dan kadar plastik lebih banyak mempengaruhi karakteristik tersebut dibandingkan suhu pematatannya. Dimana semua variasi memiliki nilai VMA dan VIM yang masih berada dibawah batas persyaratan. Nilai VIM maupun VMA terus menurun seiring bertambahnya suhu. Hal ini dikarenakan sifat plastik yang thermoplastis, dimana pada suhu tinggi plastik akan leleh dan mengeras lagi apabila suhu turun. Jadi ketika pada suhu tinggi plastik akan mengisi pori pada campuran maupun agregat sehingga nilai pori yang didapatkan semakin kecil. Sedangkan nilai VFB pada semua kombinasi telah memenuhi persyaratan yang ada yaitu lebih dari 75%. Selain itu perbedaan hasil VIM, VMA dan VFB terjadi lebih karena penempatan posisi plastik yang tidak bisa diposisikan di tempat yang sama pada setiap variasi maupun benda uji serta plastik yang memiliki sifat *thermoplastis*.

SIMPULAN

1. Hasil pengujian karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) yang menggunakan plastik HDPE sebagai pengganti agregat dengan dua variabel berbeda terbukti menunjukkan bahwa adanya peningkatan karakteristik marshall.
2. Kadar aspal optimum pada campuran SMA dengan plastik sebagai pengganti agregat ini adalah 6.95% dengan kadar plastik optimum yang sebesar 33.5721% yang didapatkan dengan analisis CCD dengan menggunakan *software* minitab.
3. Pada penelitian ini dengan adanya variasi suhu pematatan didapatkan bahwa untuk campuran SMA dengan plastik sebagai pengganti agregat mendapatkan hasil dari variasi suhu 100°C, 110°C, 120°C, 130°C dan 140°C memiliki stabilitas secara berturut-turut 1117.3kg, 1524.4kg, 1812.88kg, 1910.25kg dan 2077.71kg. Hal ini menunjukkan semakin besar suhu pematatan maka nilai stabilitasnya juga semakin meningkat. Berdasarkan nilai stabilitas, *flow* dan MQ campuran SMA dengan plastik HDPE sebagai pemgganti agregat dapat menggunakan suhu pematatan 120°C dan 130°C untuk diaplikasikan di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- Almasatr, S.A., 2015. *DESIGN AND PROPERTIES OF ASPHALT CONCRETE WITH WASTE PLASTIC PET AS MODIFIED BITUMEN*(Doctoral dissertation, Universitas Sebelas Maret).
- Aschuri, D.I.I. and Yamin, D.I.A., THE LABORATORY INVESTIGATION OF HIGH TEMPERATURE FATIGUE OF MODIFIED WASTE PLASTIC-BITUMEN IN ASPHALT CONCRETE.
- Ernawati.2012.*Identifikasi Pengaruh Variabel Proses dan Penentuan Kondisi Optimum Dekomposisi Katalitik Dengan Metode Respon Permukaan*.Skripsi.Fakultas Teknik Prodi Teknik Kimia UI.
- Gunadi, M.D.G ; Thanaya, I.N.A ; Negara,I.N.W.,2013. *ANALISIS KARAKTERISTIK CAMPURAN ASPAL BETON LAPIS AUS (AC-WC) DENGAN MENGGUNAKAN PLASTIK BEKAS SEBAGAI BAHAN PENGGANTI SEBAGIAN AGREGAT*. Jurnal Ilmiah Teknik Sipil Vol. 17, No. 2, Juli 2013.
- Kasestriani, D.N.N., 2011. *KARAKTERISTIK MARSHALL DENGAN BAHAN TAMBAHAN LIMBAH PLASTIK PADA CAMPURAN SPLITMASTIC ASPHALT (SMA)* (Doctoral dissertation, UAJY).
- Lake, A.G., Djakfar, L. and Zaika, Y., 2012. Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt dengan Beberapa Material dari Kalimantan. *Rekayasa Sipil*, 4(3), pp.pp-175.
- National Asphalt Pavement Assosiation.1999. *Designing and Construction SMA Mixture State Of The Practice*. USA : Department Of Transportation USA.
- Rahmawati,A dan Rizana,R.,2013.*PENGARUH PENGGUNAAN LIMBAH PLASTIK POLIPROPILENA SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT PADA CAMPURAN LASTON TERHADAP KARAKTERISTIK MARSHALL*. Konferensi Nasional Teknik Sipil 7 (KoNTekS 7). M81-87
- Rahmi,F.2013. *Mengenal Plastik HDPE*. <http://mesinsakti.blogspot.co.id/2015/06/mengenal-plastik-hdpe.html>. (Diakses 09 Maret 2017)
- Sukirman,S., 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung : Nova.
- Sunarjono,S dan Samantha,R.,2012. *ANALISIS KEKUATAN TARIK MATERIAL CAMPURAN SMA (SPLIT MASTIC ASPHALT) GRADING 0/11 MENGGUNAKAN SISTEM PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH*. Seminar Nasional Teknik Sipil UMS 2012. Hal 57-64
- Utomo, Yunanto W.2016. *Indonesia Penghasil Sampah Plastik Kedua Terbesar di Dunia*. <http://nationalgeographic.co.id/berita/2016/08/indonesia-penghasil-sampah-plastik-kedua-terbesar-di-dunia> . (Diakses 09 Maret 2017)