



SKRIPSI - TK 141581

PENGOLAHAN LIMBAH PLASTIK JENIS HIGH DENSITY *POLYETHYLENE* (HDPE) DAN *POLYPROPYLENE* (PP) DENGAN METODE *MIX PLASTIC COATED AGGREGATE* UNTUK MENINGKATKAN KUALITAS ASPAL BETON

Oleh :

**Sri Wisnu Purwonugroho
NRP. 02211440000139**

Hardi Parulian

NRP. 02211440000143

Dosen Pembimbing :

**Ir. Nuniek Hendriane, M.T.
NIP. 19571111 198601 2 001**

**DEPARTEMEN TEKNIK KIMIA
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI
INSITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**



FINAL PROJECT – TK 141581

UTILIZATION OF HIGH DENSITY POLYETHYLENE (HDPE) AND POLYPROPYLENE (PP) WASTE WITH MIXED PLASTIC COATED AGGREGATE METHOD TO INCREASE THE QUALITY OF ASPHALT CONCRETE

**By :
Sri Wisnu Purwonugroho
NRP. 02211440000139**

**Hardi Parulian
NRP. 02211440000143**

**Advisor :
Ir. Nuniek Hendrianie, M.T.
NIP. 19571111 198601 2 001**

**DEPARTMENT OF CHEMICAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA
2018**

ABSTRAK

Berdasarkan data dari kementerian lingkungan hidup pada tahun 2014 timbunan sampah plastik yang ada di Indonesia mencapai 10.267 m³/hari sedangkan pada tahun sebesar 2015 10.580 m³/hari Peningkatan jumlah sampah plastik di Indonesia sudah mulai mengkhawatirkan, karena konsumsi dan pembuangan sampah pun meningkat. Namun pengolahan sampah di Indonesia kurang baik. Sampah di Indonesia didominasi dengan sampah plastik dan sampah organik, namun pengolahan dan pemanfaatan sampah plastik di Indonesia dinilai masih kurang. Plastik memiliki karakteristik kuat dan fleksibel yang dapat digunakan sebagai bahan penguat. Kualitas aspal jalan di Indonesia kurang baik karena kekuatan dan kekerasan dari jalan yang tidak baik sehingga jalanan sering berlubang. Untuk meningkatkan mutu dan kualitas dari aspal beton, limbah plastik jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polypropylene* (PP) dapat dijadikan sebagai bahan aditif untuk aspal. Metode yang digunakan pada penelitian ini menggunakan metode *Plastic Coated Aggregate* (PCA), yaitu plastik pada kondisi softening (pada suhu 160-190 C) dicampurkan dengan agregat panas membentuk lapisan yang melapisi agregat. Agregat yang dilapisi dengan plastik kemudian ditambahkan bitumen cair dan ditumbuk dengan mesin penumbuk. Variabel penambahan plastik yang digunakan yaitu 9 %, 11 %, 13 % dan 15 % (persen berat) terhadap aspal. Untuk Variabel pencampuran plastiknya yaitu 100 % HDPE, HDPE dan PP 50:50, dan 100 % PP. Kemudian dilakukan pengujian *Marshall*, *flow*, densitas dan stabilitas terhadap aspal yang sudah jadi untuk mengetahui variabel optimum dari penambahan plastik. Hasil uji menunjukkan bahwa semakin banyaknya kadar plastik pada campuran aspal beton, khususnya pada variabel plastik campuran, tidak meningkatkan kualitas aspal beton, terutama pada segi stabilitas. Metode PCA memiliki kelebihan pada optimalnya hasil proses pengisian bitumen cair dan plastik ke dalam rongga pada agregat. Hasil pengujian terbaik didapatkan pada variabel

pencampuran dengan HDPE 13 % dengan peningkatan nilai *Marshall Quotient* sebesar 14,1 % dari aspal beton tanpa plastik.

Kata Kunci : *HDPE, PP, Aspal beton, PCA*

ABSTRACT

Based on data from Living Environment Ministry of Indonesia at 2014 recorded that production of plastic waste in Indonesia is about 10.267 m³/day, meanwhile in 2015 production of waste up to 10.580 m³/day. This enhancement of waste production in Indonesia being a serious problem. Waste in Indonesia dominated by plastic waste, but utilization of waste still not good. Characteristic of plastic is strong and flexible which can be used as a reinforcing material. Roadway quality in Indonesia isn't good enough because of strength and hardness of roadway. So the roadway is often perforated. To Increase the quality of asphalt concentrate, plastic waste with High Density Polyethylene (HDPE) and Polypropylene (PP) type can be used for additive ingredients. Method used in this research is Mix Plastic Coated Aggregate (PCA). Plastic in softening phase (at 160-190 C) mixed with hot aggregate, then the plastic will coated the aggregate. Plastic coated aggregate then added with asphalt and pounded using a hydraulic pestle. Variable used were 9 %, 11 %, 13 %, 15 % (% w/w) and another variable is 100% *High Density Polyethylene* (HDPE) plastic, 100% *Polypropylene* (PP), and HDPE : PP mixture (50:50). The purpose of this research is to find the optimum variable for plastic addition. To know the result of this asphalt, stability, flow, and density, up to the value of the Marshall Quotion (MQ) test was done. The Marshall Test show that the number of plastic composition in Asphalt Concrete, especially for mixed-plastic variable, is not has a great value of Asphalt Concrete's quality in stability. PCA have a strength point in optimalization of Void In Mix (VIM), Void in Mixed Aggregate (VMA), and Void Filled with Bitumen and plastic (VFB). The best test results goes to HDPE 13 % variable in asphalt concrete mixing with 14,1 % Marshall Quotient value greater than a sample without plastic.

Keywords : *HDPE, PP, Asphalt Concrete, PCA*

(halaman ini sengaja dikosongkan)

LEMBAR PENGESAHAN

Pengolahan Limbah Plastik *Jenis High Density Polyethylene (HDPE) dan Polypropylene (PP)* dengan Metode *Mix Plastic Coated Aggregate* untuk Meningkatkan Kualitas Aspal Beton

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Kimia Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya


Oleh :

Sri Wisnu Purwonugroho **NRP. 02211440000139**

Hardi Parulian **NRP. 02211440000143**

Disetujui oleh Tim Penguji Tugas Akhir :

1. Ir. Nuniek Hendrianie M.T.
(Pembimbing)
2. Dr. Eng. R. Darmawan, S. T., M.T
(Penguji I)
3. Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti M.Eng
(Penguji II)



KATA PENGANTAR

Puji syukur Alhamdulillah kehadirat Tuhan Yang Maha Esa Mengetahui terhadap setiap yang ada di bumi dan di langit, hanya karena rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini berjudul “Pengolahan Limbah Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polypropylene* (PP) dengan metode *Mix Plastic Coated Aggregate* untuk meningkatkan kualitas Aspal Beton”.

Penulisan skripsi ini tidak lepas dari dukungan dan bantuan berbagai pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Bapak Juwari, S.T., M.Eng., Ph.D., selaku ketua departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
2. Ibu Dr. Ir. Sri Rachmania Juliastuti, M.Eng., selaku kepala Laboratorium Pengolahan Limbah Industri departemen Teknik Kimia FTI-ITS.
3. Ibu Ir. Nuniek Hendrianie M.T. selaku dosen pembimbing yang telah membimbing dan memberikan masukan kepada kami selama pembuatan skripsi.
4. Kedua orang tua dan seluruh keluarga besar yang selalu mendoakan, memberikan dukungan, dan semangat kepada penulis mulai awal perkuliahan hingga mengerjakan skripsi ini.
5. Seluruh anggota Laboratorium Pengolahan Limbah Industri Departemen Teknik Kimia FTI-ITS 2017/2018 yang telah membantu dan memberikan semangat selama penulis mengerjakan skripsi ini.
6. Rekan-rekan Mahasiswa Teknik Kimia terutama angkatan 2014 (K-54) dan semua pihak yang tidak bisa disebutkan satu per satu yang telah banyak membantu hingga terselesainya skripsi ini.

Skripsi ini tentunya masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran demi

penyempurnaan laporan skripsi ini. Akhirnya, penulis berharap agar laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Surabaya, Juli 2018

Penulis

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN.....	i
ABSTRAK.....	ii
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR.....	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR GAMBAR.....	ix
DAFTAR TABEL.....	xi
BAB I PENDAHULUAN	
I.1 Latar Belakang.....	I-1
I.2 Rumusan Masalah.....	I-4
I.3 Tujuan Penelitian.....	I-4
I.4 Manfaat Penelitian.....	I-5
I.5 Batasan Penelitian.....	I-5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
II.1 Plastik.....	II-1
II.1.1 Plastik Secara umum.....	II-1
II.1.2 Karakteristik Plastik.....	II-2
II.1.3 Jenis Plastik yang Digunakan.....	II-5
II.2 Aspal.....	II-5
II.2.1 Aspal Alam.....	II-5
II.2.2 Aspal Buatan.....	II-6
II.3 Agregat.....	II-6
II.3.1 Agregat Alam.....	II-6
II.3.2 Agregat yang Diproses.....	II-7
II.4 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>).....	II-7
II.5 Pencampuran Aspal Beton.....	II-8
II.6 Pencampuran Plastik dengan Aspal untuk proses perkerasan jalan.....	II-11
II.7 Suhu Peleburan Plastik.....	II-12
II.8 Kadar Aspal Optimum.....	II-13
II.9 Penelitian Terdahulu.....	II-14
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	

III.1 Tempat dan Waktu Penelitian.....	III-1
III.2 Bahan dan Alat Penelitian	III-1
III.3 Variabel Penelitian	III-2
III.4 Tahapan Metodologi Penelitian	III-2
III.5 Diagram Alir.....	III-5
III.6 Analisa Hasil	III-6
III.6 Timeline Kegiatan Penelitian.....	III-8
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
IV.1 Hasil Uji Parameter Marshall Pencampuran	
Plastik terhadap Aspal.....	IV-1
IV.1.1 Uji VIM (<i>Void in Mixed Aggregate</i>).....	IV-3
IV.1.2 Uji VMA (<i>Void in Mineral Aggregate</i>).....	IV-6
IV.1.3 Uji VFB (<i>Void Filled with Bitumen</i>).....	IV-8
IV.1.4 Uji Stabilitas.....	IV-10
IV.1.5 Uji Flow.....	IV-13
IV.1.6 Marshall Quotient.....	IV-16
IV.2 Hasil Uji <i>Scanning Electron Microscope</i>	IV-20
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
V.1 Kesimpulan.....	V-1
V.2 Saran.....	V-1
DAFTAR PUSTAKA	xii
APPENDIKS A	A-1
Lampiran	

DAFTAR GAMBAR

Gambar I.1	Grafik Pengolahan Sampah di Indonesia....	I-2
Gambar II.1	Gambar Jenis-Jenis Plastik.....	II-2
Gambar II.2	Gambar Struktur Plastik HDPE dan PP.....	II-3
Gambar IV.1	Standar Binamarga tahun 2010.....	IV-1
Gambar IV.2	Beberapa sampel hasil pencampuran Aspal Beton dengan Plastik.....	IV-2
Gambar IV.3	Gambaran rongga pada aspal.....	IV-3
Gambar IV.4	Plot hasil uji VIM terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-4
Gambar IV.5	Plot hasil uji VMA terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-7
Gambar IV.6	Plot hasil uji VFB terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-9
Gambar IV.7	Plot hasil uji Stabilitas terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-12
Gambar IV.8	Plot hasil uji <i>Flow</i> (Kelelehan) terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-14
Gambar IV.9	Plot hasil uji <i>Marshall Quotient</i> terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton.....	IV-17

Gambar IV.10 Hasil Uji SEM pada Aspal Beton tanpa Plastik.....	IV-20
Gambar IV.11 Hasil uji SEM pada Aspal Beton dengan penambahan HDPE 13 %.....	IV-21

DAFTAR TABEL

Tabel II.1	Karakteristik Termal Plastik PP dan HDPE.....	II-2
Tabel II.2	Sifat Umum dari HDPE.....	II-3
Tabel II.3	Sifat Umum dari PP.....	II-4
Tabel II.4	Nilai stabilitas <i>Marshall</i> untuk metode <i>Plastic Coated Aggregate</i>	II-11
Tabel II.5	Suhu Softening dari Berbagai Variabel Plastik..	II-12
Tabel II.6	Daftar Penelitian Terdahulu.....	II-13
Tabel III.1	Timeline kegiatan Penelitian.....	III-8
Tabel IV.1	Standar Binamarga Tahun 2010.....	IV-1
Tabel IV.2	Data hasil uji VIM Pencampuran Plastik pada Aspal Beton.....	IV-3
Tabel IV.3	Data hasil uji VMA Pencampuran Plastik pada Aspal Beton.....	IV-6
Tabel IV.4	Data hasil uji VFB Pencampuran Plastik pada Aspal Beton.....	IV-8
Tabel IV.5	Data hasil uji Stabilitas Pencampuran Plastik pada Aspal Beton.....	IV-11
Tabel IV.6	Data hasil uji <i>Flow</i> (Kelelehan) Pencampuran Plastik pada Aspal Beton.....	IV-13
Tabel IV.7	Data hasil uji <i>Marshall Quotient</i> (MQ) Pencampuran Plastik pada Aspal.....	IV-16
Tabel IV.8	Rangkuman hasil uji seluruh variabel Aspal Beton dengan metode PCA.....	IV-19
Tabel A.1	Persentase agregat tiap saringan	A-1
Tabel A.2	Bobot Agregat per Saringan	A-2
Tabel A.3	Bobot Plastik yang Ditimbang.....	A-4
Tabel A.4	Nilai Stabilitas.....	A-5
Tabel A.5	Hasil Pembacaan <i>Flow</i>	A-6
Tabel A.6	Hasil Perhitungan <i>Marshall Quotient</i>	A-7
Tabel A.7	Hasil Perhitungan Rongga dalam Campuran	A-9
Tabel A.8	Hasil perhitungan Rongga terisi Aspal	A-11
Tabel A.9	Hasil Perhitungan Rongga dalam Agregat.....	A-12

BAB I

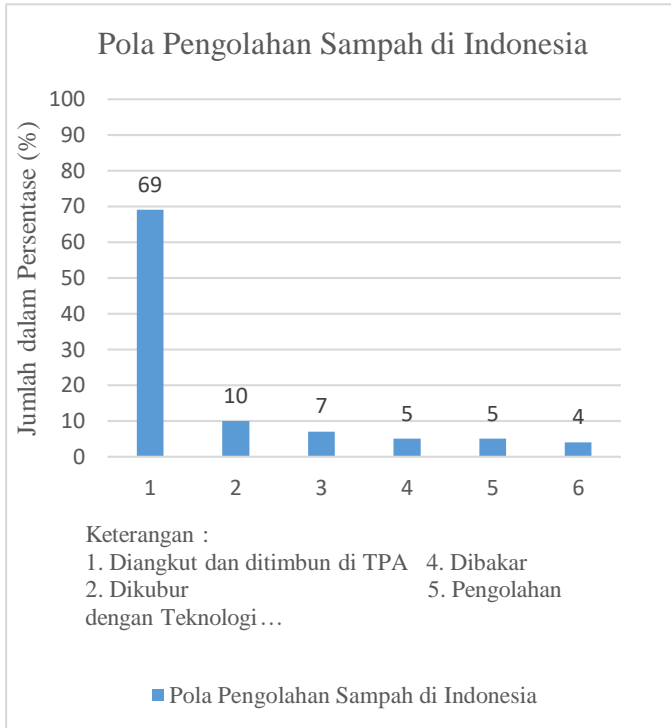
PENDAHULUAN

I.1 Latar Belakang

Plastik merupakan salah satu produk yang sangat berguna belakangan ini. Kegunaannya antara lain adalah sebagai bahan untuk pipa, kemasan, kantung dan sebagainya. Pada dasarnya, yang menyebabkan plastik banyak digunakan karena sifat plastik yang fleksibel dan kuat. Selain itu, bahan baku dari pembuatan plastik murah dan prosesnya juga murah, sehingga harga jual dari plastik tidak terlalu mahal.

Seiring dengan perkembangan jaman, penawaran dan permintaan dari penggunaan plastik pun meningkat pada sektor industri atau masyarakat. Namun dengan adanya peningkatan penggunaan dari plastik maka limbah yang berupa sampah plastik pun meningkat. Plastik merupakan polimer hidrokarbon yang sulit terurai. Sehingga banyak sampah plastik yang tertimbun dan tidak terolah dengan baik dan benar. Berdasarkan data dari Kementerian Lingkungan Hidup pada tahun 2014 timbunan sampah plastik mencapai 10.267 m³/hari sedangkan pada tahun 2015 10.580 m³/hari Hal ini merupakan salah satu permasalahan bagi Indonesia dan perlu penanganan yang baik. Umumnya di masyarakat maupun di TPA (Tempat Pembuangan Akhir), timbunan sampah plastik dibakar untuk mengurangi jumlah sampah plastik yang ada. Namun proses ini akan berdampak buruk bagi lingkungan terutama pencemaran udara, karena hasil pembakaran dari plastik akan menghasilkan gas H₂S (Hidrogen Sulfida), CO (karbon monoksida) dan Cl₂ (gas klorida) yang bersifat racun. Ada pun pengolahan lain yang umum dilakukan adalah dengan cara daur ulang plastik. Metode ini salah satu metode yang baik karena memanfaatkan kembali sampah plastik yang ada, namun

masyarakat mendaur ulang plastik pada jenis dan warna tertentu saja, karena umumnya masyarakat menggunakannya sebagai kerajinan tangan. Selain dibakar dan didaur ulang berikut ini adalah grafik pengolahan sampah plastik di Indonesia.



Gambar I.1 Grafik pengolahan sampah di Indonesia

Berdasarkan grafik, dapat terlihat 69 % dari pengolahan sampah di Indonesia adalah dengan cara ditimbun di TPA dan diikuti dengan dikubur dan di bakar. Pola pengolahan sampah seperti ini merupakan sebuah masalah yang serius kedepannya. Mengingat dampak yang ditimbulkan kepada lingkungan sangatlah buruk. Sampah plastik merupakan jenis sampah yang

mendominasi pada pembuangan sampah, Oleh karena itu perlu adanya studi pemanfaatan sampah plastik alterantif.

Sampah plastik yang digunakan didominasi oleh jenis PE (*Polyethylene*) yang terbagi atas LDPE (*Low Density Polyethylene*) dan HDPE (*High Density Polyethylene*) dan jenis PP (*Polypropylene*). Kedua jenis plastik ini sangat umum dijumpai di masyarakat, LDPE biasanya digunakan sebagai kantung plastik, botol minuman, sedangkan HDPE biasanya digunakan sebagai botol kemasan tebal maupun peralatan makan. Kedua jenis plastik ini merupakan plastik yang jarang didaur ulang karena sulitnya pengolahan. Adapun jenis polypropylene diaplikasikan sebagai kemasan botol, gelas air mineral. Kedua jenis plastik ini termasuk jenis plastik yang kuat, sehingga dapat meningkatkan kekuatan dari aspal apabila ditambahkan kedalam aspal.

Jalan raya merupakan salah satu infrastruktur yang utama dalam pembangunan nasional, karena jalan raya merupakan sarana transportasi, pengiriman maupun perjalanan yang sering digunakan. Pada tahun 2017 pembangunan jalan tol maupun non tol semakin meningkat diberbagai penjuru nasional, tidak hanya di pulau jawa saja. Namun permasalahan yang sering dijumpai adalah struktur jalan raya yang kurang baik sehingga mudah rusak. Kerusakan jalan raya tidak hanya di jalan kota maupun kabupaten, namun jalan nasional pun masih sering dijumpai kerusakan yang serupa. Hal ini menyebabkan ketidaknyamanan penggunaan jalan raya dan dapat beresiko terjadi kecelakaan. Salah satu cara untuk meningkatkan mutu dari jalan raya adalah dengan penambahan bahan tambah (*additive*) untuk memperbaiki mutu jalanan. Bahan tambah ini haruslah yang memiliki sifat-sifat yang mendukung ketahanan dan kekuatan dari jalan.

Sebagian besar limbah plastik di Indonesia ditemukan dalam bentuk PET, PE, PP. Dimana secara karakteristik fisik memiliki titik *softening* antara suhu 110 °C hingga 140°C. Selama proses *softening* plastik tidak menghasilkan gas (beracun). Plastik hasil

softening akan membentuk film di atas agregat (batu/kerikil), dengan teknik menyemprotkan di atas agregat panas pada rentang suhu $\pm 160^{\circ}$ C. PCA (*Plastics Coated Agregate*) memiliki kualitas dan ketahanan yang lebih baik dari pada aspal pada umumnya.

I.2 Rumusan Masalah

Besarnya jumlah sampah plastik yang tertimbun di Indonesia seiring dengan berjalannya waktu akan menimbulkan masalah yang sangat serius. Tanpa pengolahan maupun pemanfaatan kembali dapat mencemari lingkungan. Plastik dapat diolah menjadi bahan tambah (additive) pada pembuatan aspal. Plastik memiliki karakteristik yang dapat meningkatkan kekuatan dari aspal. Diharapkan dari pengolahan sampah plastik ini dapat mengurangi timbunan dari sampah plastik yang ada selama ini dan menjadi solusi untuk peningkatan ketahanan dari bahan jalan. Dalam penelitian ini bahan tambah yang ditambahkan berasal dari jenis plastik HDPE dan PP serta pencampuran dari kedua jenis plastik tersebut. Untuk mengetahui kualitas aspal dengan bahan tambah dilakukan pengujian meliputi uji marshall, flow, densitas dan stabilitas.

I.3 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh limbah plastik campuran jenis HDPE (*High Density Polyethylene*) dan PP (*Polypropylene*) terhadap ketahanan dan kualitas aspal melalui uji density, stabilitas, flow dan *marshall quotient* dengan metode *Mixed Plastic Coated Agregate*.

I.4 Manfaat Penelitian

- a. Solusi pemanfaatan sampah plastik di Indonesia

- b. Meningkatkan kekuatan dan ketahanan aspal beton dengan penambahan bahan *additive*
- c. Melakukan penelitian yang ramah lingkungan, karena tidak menghasilkan gas beracun dalam prosesnya

I.5 Batasan Penelitian

- 1. Penelitian dilakukan dengan skala laboratorium
- 2. Penelitian menggunakan bahan HDPE dan PP
- 3. Penelitian dilakukan untuk menentukan variabel pencampuran plastik terbaik

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

II.1 Plastik

II.1.1 Plastik secara umum

Plastik adalah suatu polimer rantai panjang dari atom yang mengikat satu sama lain. Rantai ini membentuk banyak unit molekul berulang atau monomer. Bahan pembuat plastik awalnya adalah minyak dan gas sebagai sumber alami, dan saat ini banyak digantikan dengan bahan sintetis. Sifat-sifat fisik plastik adalah:

1. *Thermoplastic*

Jenis plastik ini dapat didaur ulang atau dicetak kembali dengan proses pemanasan ulang, seperti *Polyethylene Terephthalate* (PET), *Polystyrene* (PS), dan *Polycarbonate* (PC).

2. *Thermosetting*

Jenis plastik ini tidak dapat didaur ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang, oleh karena pemanasan ulang yang menyebabkan kerusakan pada molekul-molekulnya, seperti melamin.

Terdapat berbagai jenis plastik yang umum digunakan, setiap jenis plastik memiliki kegunaan dan kelebihan masing-masing. Penjelasan mengenai jenis plastik adalah sebagai berikut:



Sumber: www.garnesia.com

Gambar II.1 Jenis-jenis plastik

II.1.2 Karakteristik Plastik

Karakteristik dari plastik terdiri dari 2 jenis, yaitu:

1. Karakteristik termal, yaitu keadaan termal dari plastik menggunakan *Thermo Gravimetry Analyzer* dan *Differential Scanning Calorimeter* untuk menentukan rentang temperatur dekomposisi, suhu *softening*, dan pembakaran, serta produk yang dihasilkan ketika melewati rentang temperatur tersebut. Untuk jenis plastik PE, PP, dan PS tidak dapat larut dalam air dan larutan 5% asam asetat. Karakteristik termal dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel II.1 Karakteristik termal dari PE, PP, dan PS

Jenis Plastik	Rentang suhu (°C)			Produk yang dihasilkan		
	<i>Softening</i>	Dekomposisi	<i>Ignition</i>	<i>Softening</i>	Dekomposisi	<i>Ignition</i>
PE	100-120	270-350	>700	-	CH ₄ , C ₂ H ₆	CO, CO ₂
PP	140-160	270-300	>700	-	C ₂ H ₆	CO, CO ₂
PS	110-140	300-350	>700	-	C ₆ H ₆	CO, CO ₂

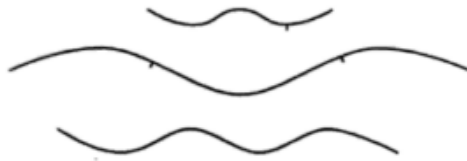
2. Karakteristik fisik, yaitu mencakup ketebalan, kelarutan dan rentang suhu *softening*. (Vasudevan, dkk., 2011)

II.1.3 Jenis Plastik yang digunakan

Jenis plastik yang digunakan pada penelitian adalah sebagai berikut:

1. *High Density Polyethylene* (HDPE)

HDPE memiliki struktur yang hampir sama dengan PE murni. Kandungan utama dari HDPE adalah molekul plastik yang tidak bercabang. Bentuk umum dari HDPE adalah seperti berikut.



Gambar II.2 Bentuk molekul *High Density Polyethylene*

Dengan rendahnya tingkat keretakan untuk menghalangi penyusunan komponen, maka tingkat pengkristalan menjadi tinggi, yang menghasilkan tingginya densitas dari HDPE. Rentang densitas dari HDPE berkisar antara 0.94-0.97 g/cm³. Oleh karena rendahnya tingkat bercabangnya, HDPE sering disebut sebagai *Linear Poly-Ethylene*. HDPE memiliki sifat kekakuan yang baik, tahan korosi, kuat tarik molekul yang baik, permeabilitas yang rendah dan tahan terhadap tekanan lingkungan yang tinggi. Berat molekul dari HDPE adalah 50.000. Plastik HDPE umumnya digunakan untuk drum bahan kimia, botol untuk bahan rumah tangga, industri, dan bahan

kimia otomotif. Juga untuk perpipaan, kontainer kosmetik, botol obat-obatan, mainan anak-anak, tempat sampah, dan penutup tangki penampung (Peacock, 2000). Berikut ini adalah sifat umum dari HDPE, yaitu sebagai berikut.

Tabel II.2 Sifat umum *High Density Polyethylene*

Karakteristik	Nilai
$Density$ (lbs/ft ³)	59,88
$Tensile\ Break$ (psi)	4.423
$Elongation\ at\ Break$ (%)	1.350
$Tensile\ Modulus$ (psi)	224.812
$Flexural\ Modulus$ (psi)	166.676
$Tensil\ Impact$ (ft-lbs/in ²)	570

plasticsintl.com/sortable_materials.php

2. *Polypropylene* (PP)

Polypropylene adalah sebuah material termoplastik yang merupakan hasil polimerisasi dari molekul-molekul *propylene*, dimana memiliki rantai molekul polimer yang sangat panjang pada monomernya dan memiliki sifat kaku, tidak berbau, dan tahan terhadap bahan kimia pelarut, asam, dan basa (Karian, 2009).

PP memiliki banyak kemiripan dengan *Polyethylene* (PE), terutama pada sifat listrik, mekanik dan ketahanan terhadap panas, sedangkan untuk ketahanan terhadap bahan kimia lebih rendah. Sifat PP sangat bergantung pada berat molekul dan distribusi berat molekul, kristalinitas, jenis dan proporsi dari komonomer dan *isotacticity*. PP memiliki densitas sebesar 0.895 – 0.92 g/cm³, sehingga PP adalah plastik standar yang memiliki densitas terendah, dimana cetakan PP akan lebih ringan (Tripathi D., 2001).

Titik lebur PP terjadi pada suatu suhu yang tergantung dari bahan ataktik dan kristalinitasnya.

Isotaktik sempurna dari PP memiliki titik lebur sebesar 171 °C (340 °F). Isotaktik komersil dari PP memiliki titik lebur dalam rentang suhu 160 hingga 166 °C (320 hingga 331 °F), tergantung dari kristalinitasnya. Sindiotaktik PP dengan kristalinitas 30 % memiliki titik lebur 130 °C (266 °F) (Maier & Calafut, 1998).

Berikut ini adalah sifat umum dari PP, yaitu sebagai berikut.

Tabel II.3 Sifat umum *Polypropylene*

Karakteristik	Nilai
<i>Density</i> (lbs/ft ³)	56,3
<i>Tensile Break</i> (psi)	5.150
<i>Elongation at Break</i> (%)	400
<i>Tensile Modulus</i> (psi)	190.240
<i>Flexural Modulus</i> (psi)	212.425
<i>Flexural Strength</i> (psi)	7.250
<i>Tensil Impact</i> (ft-lbs/in ²)	269

II.2 Aspal

Aspal atau bitumen adalah material viskoelastis yang berasal dari hasil proses penyulingan minyak bumi. Sifat viskoelastis ini membuat aspal melunak dan mencair bila dipanaskan, juga membuat aspal dapat menyelimuti dan menahan agregat tepat pada tempatnya selama proses produksi. Berdasarkan cara diperolehnya, aspal dapat dibedakan antara lain sebagai berikut.

II.2.1 Aspal Alam

Sesuai namanya, aspal alam diperoleh dari deposit yang terbentuk secara alamiah, antara lain:

1. Aspal gunung, terbentuk dalam celah-celah batuan kapur dan batuan pasir.

2. Aspal danau, terdiri dari bitumen, mineral dan bahan organik lainnya.

II.2.2 Aspal Buatan

Aspal buatan diperoleh dari hasil penyulingan minyak bumi, yaitu antara lain:

1. Aspal Keras atau Aspal Semen (*Asphalt Cement*), atau disingkat AC, yaitu aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas.
2. Aspal Cair (*Cut Back Asphalt*), yaitu aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi.
3. Aspal emulsi (*Emulsion Asphalt*), yaitu campuran aspal dengan air dan bahan pengemulsi, sehingga dapat digunakan dalam keadaan dingin dan panas (Simanjuntak & Saragi, 2012).

II.3 Agregat

Agregat atau granular material adalah material berbutir keras dan kompak, juga sebagai suatu bahan yang terdiri dari batu bulat, batu pecah abu batu dan pasir (*filler*). Agregat memiliki peranan yang sangat penting dan merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan, yaitu mengandung 90 – 95 % agregat berdasarkan persentase berat atau 75 – 85 % agregat berdasarkan persentase volume. Agregat juga dapat dibedakan berdasarkan cara diperolehnya, yaitu antara lain:

II.3.1 Agregat Alam

Sesuai namanya, agregat ini terbentuk dari proses erosi alamiah sehingga membentuk ukuran batuan yang berbeda. Dua jenis utama dari agregat alam yang digunakan untuk konstruksi jalan adalah pasir dan kerikil. Kerikil biasa didefinisikan sebagai agregat yang memiliki ukuran lebih besar dari 6.35 mm, sedangkan pasir lebih kecil dari 6.35 mm, tetapi lebih besar dari 0.075 mm.

II.3.2 Agregat yang diproses

Agregat ini adalah batuan yang telah dipecah atau disaring sebelum digunakan, atau diproses secara mekanis menggunakan alat *Stone Crusher*. Pemecahan agregat dilakukan untuk merubah tekstur permukaan partikel dari licin ke kasar, merubah bentuk partikel dari bentuk bulat ke bentuk angular dan untuk meningkatkan distribusi dan rentang ukuran partikel.

Pada campuran aspal dan agregat, agregat memberikan kontribusi sampai 90 – 95 % terhadap berat campuran, sehingga sifat-sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu dari kinerja campuran tersebut. Sifat agregat yang diperiksa antara lain:

1. Ukuran butir, dari ukuran kasar, halus, dan mineral abu.
2. Gradasi, yang mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran, workabilitas, dan stabilitas campuran.
3. Kebersihan agregat, untuk menjaga mutu perkerasan jalan agar tidak buruk.
4. Kekerasan, tahan abrasi dan degradasi selama proses produksi.
5. Bentuk butir agregat yang bersudut, untuk menjaga energi pemadatan.
6. Tekstur permukaan agregat yang kasar, untuk menentukan kekuatan, workabilitas dan durabilitas campuran dengan aspal.
7. Daya serap agregat yang tidak terlalu tinggi, sehingga tidak menyerap aspal terlalu besar.
8. Kelekatan terhadap aspal yang baik, seperti halnya agregat hidropobik (Simanjuntak & Saragi, 2012).

II.4 Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah batuan dari agregat halus yang lolos pada saringan berukuran 2.36 mm minimum 75 % terhadap berat total agregat, biasanya digunakan abu batu, abu kapur, semen *portland*, dan lain-lain. *Filler* ditambahkan dengan tujuan untuk mengisi rongga dalam campuran, sehingga agregat benar-benar terisi

penuh dan tidak hanya diisi oleh bitumen. Fungsi *Filler* dalam campuran aspal beton antara lain:

1. Memodifikasi gradasi agregat halus
2. Membentuk bahan pengikat atau sistem *filler* aspal
3. Menurunkan angka penetrasi
4. Memperbaiki ketahanan campuran aspal terhadap temperatur yang tinggi, cuaca, dan keretakan.

II.5 Pencampuran Aspal Beton

Jika agregat dicampur dengan aspal, maka partikel-partikel antar agregat akan terikat satu sama lain oleh aspal. Rongga-rongga agregat ada yang terisi aspal dan ada pula yang terisi udara. Pada campuran juga akan terdapat rongga antarbutir yang terisi udara dan lapisan aspal yang ketebalannya tergantung dari kadar aspal yang digunakan untuk menyelimuti partikel-partikel agregat. Lapisan aspal yang baik harus memenuhi 4 syarat, yaitu:

1. Kadar aspal cukup memberikan kelenturan
2. Stabilitas cukup memberikan kemampuan memikul beban, sehingga tidak terjadi deformasi yang merusak
3. Kadar rongga cukup memberikan kesempatan untuk pemadatan tambahan akibat beban berulang dan *flow* dari aspal
4. Dapat memberikan kemudahan kerja sehingga tidak terjadi segregasi

Aspal Beton diuji menggunakan metode *Marshall*. Pengujian dilakukan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Parameternya antara lain sebagai berikut:

II.5.1 Bulk Density

Kepadatan yang tinggi akan sukar ditembus oleh air dan udara, sehingga ikatan campurannya akan tahan lama karena

volume pori yang kecil di dalam aspal beton. Persamaan *Bulk Density* adalah sebagai berikut:

$$\text{Bulk Density} = \frac{\text{Berat Kering (g)}}{\text{Berat SSD (g)} - \text{Berat Semu (g)}} \quad (2.1)$$

II.5.2 Rongga udara dalam campuran (VIM)

Rongga udara dalam campuran adalah bagian yang tidak terisi oleh agregat ataupun oleh aspal. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{VIM} = \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}} \times 100\% \quad (2.2)$$

dimana: G_{mm} = Berat jenis maksimum dalam campuran (g/cm^3)

G_{mb} = Berat jenis campuran yang telah dipadatkan (g/cm^3)

Syarat kadar pori dalam campuran untuk perkerasan lapisan aspal beton adalah sebesar 3 – 5 %.

II.5.3 Rongga udara antara Agregat Padat (VMA)

Rongga ini adalah ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal (seluruh aspal kecuali yang diserap agregat) dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas. Semakin bertambah nilai VMA, maka akan semakin bertambah pula ruangan yang tersedia untuk lapisan aspal. Semakin tebal lapisan aspal pada agregat, maka daya tahan perkerasan juga akan meningkat. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{VMA} = 100 - V_{sb} \quad (2.3)$$

Syarat minimum nilai VMA adalah 15 %.

II.5.4 Rongga Udara yang terisi Bitumen (VFB)

VFB adalah persentase volume rongga di dalam agregat yang terisi oleh bitumen cair. Untuk memperoleh campuran yang tahan lama dan memiliki tingkat oksidasi yang rendah, maka pori di antara agregat harus terisi oleh aspal yang cukup untuk membentuk lapisan yang tebal. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$VFB = \frac{100(VMA - VIM)}{VMA} \quad (2.4)$$

Syarat minimum nilai VFB adalah 65 %.

II.5.5 Stabilitas

Stabilitas ini dapat diartikan kemampuan campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kejenuhan plastis yang dinyatakan dalam kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan alat pada saat *Marshall Test*. Syarat nilai stabilitas adalah minimal 800 kg.

II.5.6 Kelelahan (*Flow*)

Flow menunjukkan total deformasi yang terjadi pada sampel padat dari campuran perkerasan. Batas *flow* yang diijinkan untuk lalu lintas rendah adalah 2 – 5 mm, untuk lalu lintas berat adalah 2 – 4 mm, untuk standar penelitian memiliki syarat minimum 3 mm.

II.5.7 *Marshall Quotient*

Marshall Quotient adalah indikator kelenturan terhadap keretakan perkerasan. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut:

$$\text{Marshall Quotient} = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}} \quad (2.5)$$

Batas nilai *Marshall Quotient* ini adalah berkisar antara 250 kg/mm (Binamarga, 2010).

II.6 Pencampuran Plastik dengan Aspal untuk proses perkerasan jalan

Sampah plastik, yang merupakan limbah buangan dari sektor domestik maupun industri, dapat dimanfaatkan sebagai bahan baku untuk proses perkerasan jalan raya. Sampah plastik seperti *Polyethylene*, *Polypropylene*, dan *Polystyrene*, digunakan untuk melapisi agregat dengan proses *softening* pada suhu antara 110 °C dan 140 °C, dan tidak menghasilkan gas beracun pada saat proses *softening*. Plastik yang telah melebur kemudian melapisi agregat panas pada suhu 160 °C dan menjadi *Plastic Coated Aggregate* (PCA). PCA yang terbentuk memiliki keunggulan yang lebih kuat untuk perkerasan jalan. PCA kemudian dicampur dengan aspal panas dengan berbagai tipe dan campurannya digunakan untuk konstruksi jalan. Data penentuan nilai stabilitas *Marshall* untuk campuran PCA adalah sebagai berikut:

Tabel II.4 Nilai stabilitas *Marshall* untuk metode *Plastic Coated Aggregate*

% Bitumen Cair	% Plastik	Tipe Plastik	<i>Marshall Value</i> (kN)	<i>Flow Value</i> (x0.25 mm)	Persentase rongga	<i>Marshall Quotient</i> (kN/mm)
4.5	5	PP	16	4	53	4
4.5	10	PP	20	5	55	4
4.5	5	LDPE	16	4	55	4
4.5	10	LDPE	17.5	4	55	4.38
4.5	10	PE foam	20	4	58	5

4.5	15	PE foam	22.5	4	56	5.63
4.5	20	PE foam	26.5	4	56	6.62

Campuran PCA dan aspal menunjukkan lebih meningkatnya ikatan dibandingkan campuran aspal pada umumnya. Campuran ini menunjukkan peningkatan nilai stabilitas *Marshall* pada rentang 16 – 26.5 kN dan kapasitas bantalan beban meningkat 100 % yang menunjukkan peningkatan kekuatan dari campuran, juga ditemukan semakin sedikitnya lubang (rongga) pada campuran sehingga menangkal masuknya air pada campuran. Sampel campuran telah digunakan dalam jangka waktu 9 tahun dan tetap dalam keadaan yang baik (Vasudevan, dkk., 2011).

II.7 Suhu peleburan Plastik

Titik *softening* (lebur) merupakan titik awal dimana plastik mengalami proses peleburan. Pada proses pencampuran plastik dengan agregat, titik *softening* plastik digunakan sebagai acuan (suhu operasi) dan dijaga agar tidak sampai pada suhu dekomposisi masing-masing plastik.

Menurut Luqman dan Fery (2017), suhu pencampuran optimum plastik dengan agregat untuk setiap jenis plastik yang digunakan adalah sebagai berikut :

Tabel II.5 Suhu *softening* dari berbagai variabel plastik

No	Variabel plastik	Rentang Suhu
1.	<i>Polypropylene (PP)</i>	160-170 °C
2.	<i>HDPE</i>	190-200 °C
3.	Campuran PP dan HDPE	180-190 °C

II.8 Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah persentase bitumen panas yang digunakan terhadap massa campuran agregat dan bitumen (aspal beton). Menurut Luqman dan Fery (2017), kadar aspal optimum yang memenuhi parameter uji *Marshall* untuk aspal beton jenis AC/WC adalah 5,7%.

II.9 Penelitian terdahulu

Penelitian sebelumnya yang digunakan sebagai referensi untuk penelitian yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

Tabel II.6 Daftar penelitian terdahulu yang sejenis

No.	Peneliti	Judul	Hasil
1	Muhammad Luqman Hakim & Fery Ida Nuraini (2017)	Pengolahan Limbah Plastik Dengan Metode <i>Mix Plastic Softening Aggregate</i> untuk Meningkatkan Ketahanan dan Kualitas Aspal Beton (Laston) Ramah Lingkungan	Pencampuran jenis plastik HDPE & PP optimal pada persentase massa 9 % pada aspal beton.
2	R. Vasudevan, A. Ramalinga Chandra Sekar, B. Sundarakannan, & R. Velkennedy (2011)	<i>A technique to dispose waste plastics in an ecofriendly way – Application in construction of flexible pavements.</i>	Pencampuran beberapa jenis plastik masing - masing dengan aspal beton dengan metode <i>Plastic Coated Aggregate</i> dan <i>Polymer Modified Bitumen</i>

			menghasilkan kualitas aspal beton yang lebih baik dibandingkan dengan aspal beton tanpa campuran plastik.
3.	Amit Gawande, dkk (2012)	<i>Utilization of waste plastics in asphaltting roads</i>	Bitumen yang telah dimodifikasi dengan penambahan plastik HDPE 5 % - 10 % (% massa) memberikan hasil positif pada uji kuat tekan, <i>Marshall stability</i> .
4.	Habib, Zainab; Kamaruddin; dkk. (2011)	<i>Rheological Properties of Polyethylene and Polypropylene Modified Bitumen.</i>	Peningkatan kualitas aspal didapatkan pada penambahan 0.5 % massa plastik dari massa total campuran agregat

BAB III

METODOLOGI PENELITIAN

III.1. Tempat dan Waktu Penelitian

Penelitian ini akan dilaksanakan di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri, Departemen Teknik Kimia, Fakultas Teknologi Industri, dan laboratorium Perancangan dan Teknologi Bangunan Departemen Infrastruktur Sipil/FTV/ITS Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya pada bulan Januari hingga Juli 2018.

III.2. Bahan dan Alat Penelitian

III.2.1. Bahan Penelitian

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah :

1. limbah gelas air mineral (jenis PP) dan plastik botol deterjen atau sejenis (Jenis HDPE).
2. AC bitumen penetrasi 85/100 diperoleh dari laboratorium Perancangan dan Teknologi Bangunan Departemen Infrastruktur Sipil/FTV/ITS.
3. Agregat kasar dan halus diperoleh dari laboratorium Perancangan dan Teknologi Bangunan Departemen Infrastruktur Sipil/FTV/ITS.

III.2.2. Alat Penelitian

Alat yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah

- *Oven*
- *Drum/tangki,*
- *Thermometer*
- *Pemanas*
- *Timbangan elektrik*
- *Pengaduk*
- *Size Reduction tools*
- *Hydraulic machine*

III.3. Variabel Penelitian

1. Konsentrasi pencampuran jenis plastik HDPE dan PP (perbandingan massa)
 - 0 : 100
 - 50:50
 - 100 : 0
2. Konsentrasi pencampuran plastik dengan aspal (bitumen) :9%, 11%, 13%, 15 (persen massa)

III.4. Tahapan Metodologi Penelitian

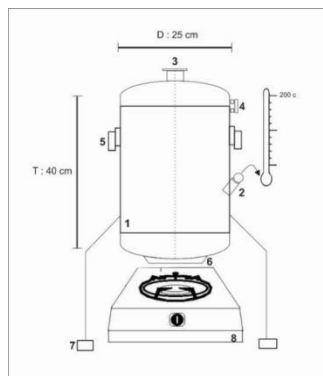
Tahapan metodologi penelitian yang akan dilaksanakan adalah sebagai berikut :

1. Rangkaian Alat
2. Proses Penelitian
 - a. Persiapan bahan baku dan pengujian awal
 - b. Proses pembuatan aspal dengan penambahan plastik sesuai variabel yang telah ditentukan
 - c. Analisis hasil dan pembahasan

III.4.1. Rangkaian Alat

Pada penelitian ini, digunakan alat *mixed plastics softening aggregate* dengan rangkaian alat seperti pada gambar

III.1 :



Gambar III.1 Rangkaian Alat Penelitian

Keterangan Gambar :

1. Drum/ tangki *softening*
2. Termometer
3. Pegangan tutup tangki
4. Engsel (*Open/ Closed*)
5. Pegangan tangki
6. Kaki tahanan drum
7. Besi Penahan
8. Kompor gas

III.4.2 Proses Penelitian

Pada metode penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan yaitu persiapan bahan limbah plastik, pemeriksaan bahan dan uji plastik, pembuatan aspal sesuai variabel yang ditentukan dan tahap uji ketahanan dan kualitas aspal (*Marshall*) dll. Tahapan-tahapan tersebut dijelaskan sebagai berikut :

a. Persiapan bahan baku limbah plastik

1. Bahan plastik direduksi ukurannya menjadi maksimum 5 mm x 5 mm
2. Pencampuran bahan plastik dengan agregat panas dilakukan sesuai variabel yang ditentukan (*Mix Plastics*)
3. Campuran bijih plastik dipanaskan dalam drum/tangki dengan suhu 160-190° C (Proses *Softening*)

b. Pembuatan aspal beton (laston) sesuai variabel yang ditentukan

b.1 Pembuatan aspal beton tanpa campuran plastik

Merencanakan adukan campuran aspal beton yang digunakan dalam penelitian ini dengan metode campuran yang dimuat dalam buku standar SNI 03-2834-1993 dengan judul buku : “Tata Cara Pembuatan Rencana Campuran Aspal Beton” dengan aspal beton sebagai

benda uji berukuran (p x l x t) 15cmx15cmx5cm berjumlah 2 sampel.

b.2 Pembuatan aspal beton dengan campuran plastik

Perencanaan pembuatan hampir sama seperti halnya pembuatan aspal beton tanpa pencampuran plastik. Hanya beberapa saja yang ditambahkan pada proses pembuatannya. Berikut gambaran proses tersebut :

1. Plastik panas hasil *softening* dicampurkan dengan agregat panas.
2. Dilakukan pelapisan dengan bitumen.
3. Dilakukan kompresi dengan *hydraulic machine (Hot Mixed)*.
4. Blok padatan aspal kemudian didinginkan dengan udara *ambient*.

c. Tahap Analisa

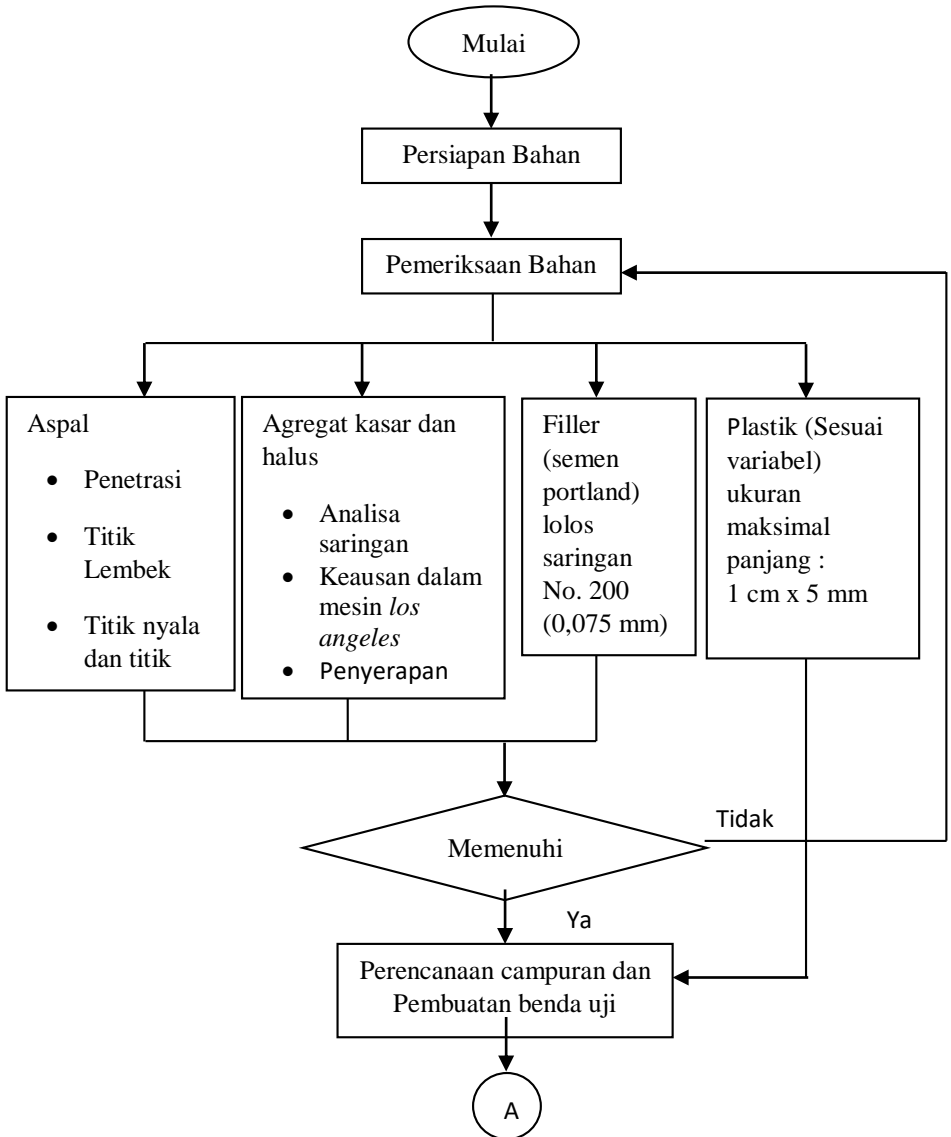
c.1 Tahap Uji Ketahanan dan Kualitas Aspal

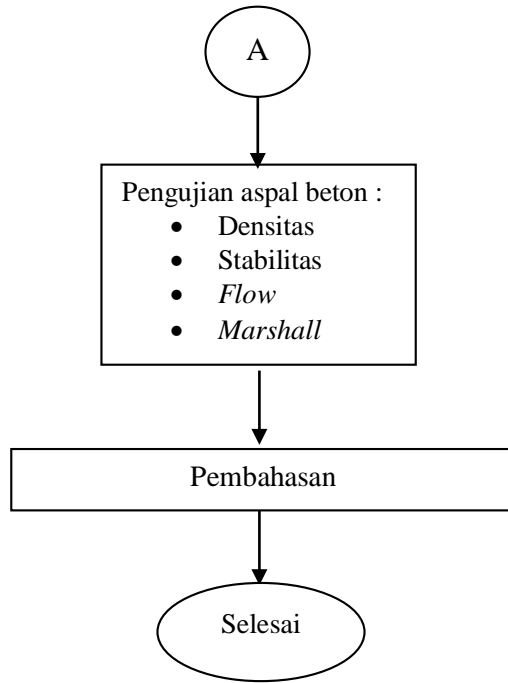
Dilakukan uji ketahanan dan kualitas aspal melalui uji density, stabilitas, flow dan *marshall quotient*.

c.2 Tahap Uji Scanning Electron Microscope

Dilakukan tahapan pengujian scanning electron microscope untuk mengetahui perbedaan morfologi dari aspal beton sebelum dan sudah penambahan plastik.

III.5 Diagram Alir





III.6 Analisis Hasil

Pemeriksaan yang dilaksanakan pada penelitian ini, meliputi pemeriksaan terhadap campuran plastik, agregat kasar, agregat halus, *filler* dan produk aspal (*marshall*). Tujuan pemeriksaan bahan ini menjadi salah satu faktor kestabilan konstruksi perkerasan agar dapat terpenuhi. Pemeriksaan material yang meliputi agregat kasar, agregat halus maupun aspal mengacu pada standar SNI dan AASHTO. Spesifikasi pengujian dapat dilihat secara lengkap di bawah ini.

III.6.1 Pengujian *Marshall*

A. Pengujian Rongga

Pengujian rongga bertujuan untuk mengetahui berbagai rongga yang ada di dalam aspal beton. Rongga ini meliputi rongga dalam campuran, rongga terisi aspal dan rongga dalam agregat. Berikut ini adalah tahapan pengujian rongga pada aspal beton.

1. Benda uji yang telah terbentuk (1200 g) ditimbang bobot keringnya
2. Benda uji kemudian direndam di dalam air selama 24 jam
3. Setelah 24 jam perendaman ditimbang di neraca massa (berat jenuh) dan ditimbang saat terendam air (berat dalam air)
4. Kemudian dilakukan perhitungan.

B. Pengujian *Stabilitas, Flow, Marshall Quotient*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekuatan dan ketahanan dari aspal beton. Dilakukan pada saat aspal mengalami keadaan ekstrimnya.

1. Benda uji hasil pengujian rongga direndam didalam air panas pada suhu 60 °C selama 1 jam.
2. Kemudian diuji menggunakan Marshall Stability Tester dan Flowmeter untuk mendapatkan nilai *stabilitas* dan *flow* dari pembacaan alat.

III.6.2 Pengujian *Scanning Electron Microscope (SEM)*

Scanning Electron Microscope (SEM) dirancang untuk menghasilkan gambar elektron dan digunakan untuk pemetaan elemen, serta analisis titik jika spektrofotometer sinar-X ditambahkan. Dengan demikian terdapat tumpang tindih yang cukup besar dalam fungsi instrumen-instrumen ini. Gambar yang akan dihasilkan oleh elektron berupa morfologi permukaan atau perbedaan nomor atom rata-rata sesuai dengan mode yang dipilih.

Dengan pengujian SEM maka akan didapatkan gambar morfologi permukaan dari aspal beton. Sehingga dapat membandingkan morfologi aspal beton sesudah dan sebelum penambahan plastik.

III.7. *Timeline Kegiatan Penelitian*

Penelitian ini dilakukan sesuai timeline dibawah ini :

Tabel III.1 Timeline Kegiatan Penelitian

No.	Kegiatan	Tahun 2018						
		Jan	Feb	Mar	Apr	Mei	Jun	Jul
1	Studi literatur lanjutan	■	■	■	■	■	■	■
2	Persiapan bahan dan peralatan	■	■					
3	Pemeriksaan dan Uji bahan plastik		■	■				
4	Persiapan bahan lanjutan (Aspal, Agregat kasar dan halus, Filler)		■	■				
5	Ketetapan spesifikasi			■	■			
6	Pembuatan aspal sesuai variabel yang ditentukan			■	■			
7	Pengujian <i>marshall</i> dan uji aspal terkait				■			
8	Pembuatan laporan kemajuan				■	■		
9	Analisa hasil eksperimen					■		
10	Pembuatan laporan akhir					■	■	■

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Aspal memiliki standar spesifikasi mengikuti ketentuan standar umum ketentuan umum Binamarga tahun 2010. Dalam penelitian ini, hasil pembuatan aspal beton dengan penambahan plastik telah dilakukan serangkaian uji parameter *Marshall*, antara lain uji stabilitas, kelelahan (*flow*), Rongga dalam campuran, Rongga dalam agregat, Rongga terisi bitumen cair dan *Marshall Quotient*. Uji parameter *Marshall* dilakukan di Laboratorium Infrastruktur Jalan, Departemen Teknik Sipil FTV ITS Surabaya. Standar uji *Marshall* untuk aspal beton tipe AC-WC berdasarkan spesifikasi Binamarga (2010) adalah sebagai berikut:

Tabel IV.1 Standar Binamarga tahun 2010

Spesifikasi	Standar Binamarga	
Kadar Aspal Optimal (%)	Min.	5,1
Jumlah Tumbukan per Bidang	Min.	75
Rongga dalam Campuran (%)	Min.	3
	Max.	5
Rongga dalam Agregat (%)	Min.	15
Rongga terisi Bitumen cair (%)	Min.	65
Stabilitas (kg)	Min.	800
<i>Flow</i> (mm)	Min.	3
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	Min.	250

IV.1 Hasil Uji Parameter *Marshall* Pencampuran Plastik terhadap Aspal

Pembuatan sampel beton dibentuk dalam suatu pencetak berbentuk silinder tanpa tutup untuk massa campuran sebesar 1,2

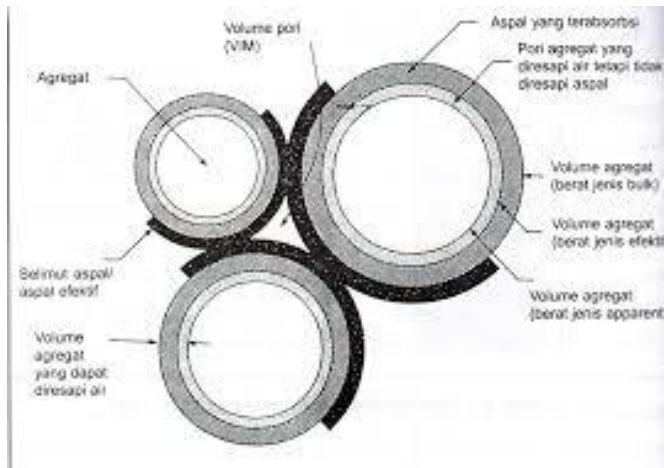
kg. Sampel yang dibentuk dapat dilihat pada Gambar IV.1 berikut ini.



Gambar IV.2 Beberapa sampel hasil pencampuran Aspal Beton dengan Plastik

Hasil uji parameter *Marshall* dapat dilihat pada Gambar IV.3-IV.7.

Pada Marshall Test terdapat pengujian rongga dan uji kuat tekan. Pada pengujian rongga terbagi dengan 3 bagian yaitu pengujian rongga dalam agregat (*Void in Mineral Aggregate*), rongga dalam campuran (*Void in Mixed Aggregate*) dan rongga yang terisi aspal (*Void Filled with Bitumen*). Berikut ini adalah gambar yang menerangkan tiga pengujian rongga tersebut.



Gambar IV.3 Gambaran rongga pada aspal

Sedangkan untuk pengujian kekuatan dari aspal beton dilakukan pengujian stabilitas, kelelahan (*flow*) dan *Marshall Quotient*.

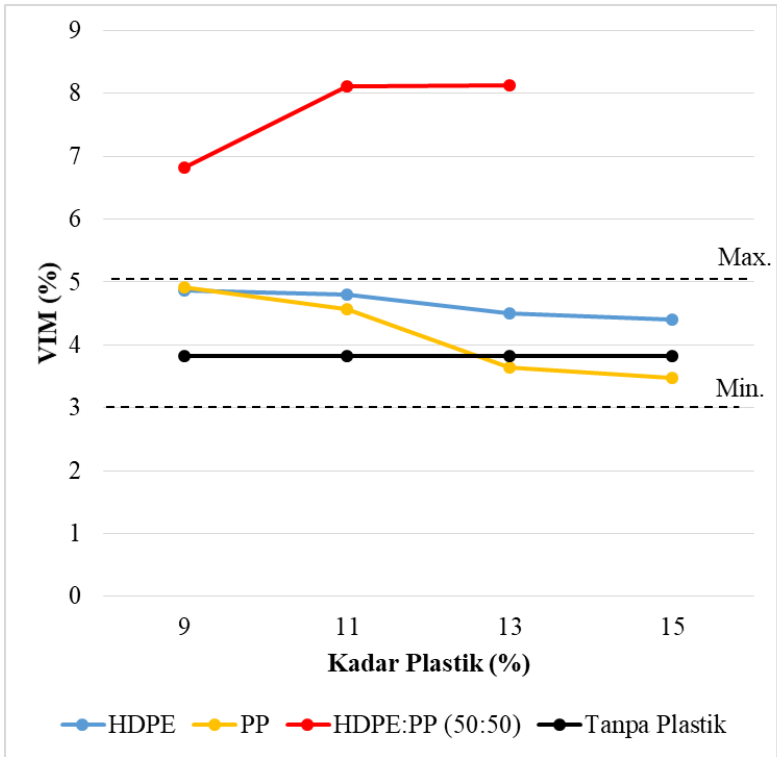
IV.1.1 Uji VIM (*Void in Mixed Aggregate*)

VIM adalah rongga yang berada diantara berbagai partikel agregat yang terselimuti aspal dan plastik dalam suatu campuran yang telah dipadatkan. VIM dinyatakan dalam persentase volume rongga terhadap volume aspal beton padat. Hasil uji VIM dapat dilihat pada Tabel IV.2 dan Gambar IV.3.

Tabel IV.2 Data hasil uji VIM Pencampuran Plastik pada Aspal Beton

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji VIM (%)
Tanpa plastik	-	3,83
HDPE 100 %	9	4,87
	11	4,8
	13	4,5
	15	4,4
PP 100 %	9	4,92

	11	4,57
	13	3,63
	15	3,48
HDPE 50 % + PP 50 %	9	6,82
	11	8,12
	13	8,13



Gambar IV.4 Plot hasil uji VIM terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

Gambar IV.3 menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik pada aspal dapat mempengaruhi nilai VIM suatu campuran. Hasil uji menunjukkan nilai VIM dari beberapa variabel campuran penambahan plastik telah memenuhi syarat VIM spesifikasi Bina

Marga, yaitu antara 3-5 %, kecuali pada variabel penambahan campuran HDPE dan PP. Spesifikasi untuk VIM merupakan suatu *range* presentase, dikarenakan VIM tidak memenuhi syarat bila nilainya terlalu besar ataupun terlalu kecil. Bila nilai VIM terlalu besar (diatas 5 %), rongga di dalam suatu aspal beton akan semakin banyak dan menyebabkan penurunan stabilitas aspal beton dan akan semakin mudah hancur, tetapi bila nilai VIM terlalu kecil (dibawah 3 %), rongga di dalam suatu aspal beton akan semakin sedikit dan menyebabkan penurunan kemampuan penyaluran air pada permukaan aspal beton ke dalam tanah.

Dari hasil uji yang diperoleh dari Tabel IV.2 dan ditunjukkan pada Gambar IV.3, didapatkan bahwa hasil uji VIM dari variabel plastik campuran HDPE dan PP diluar *range* presentase spesifikasi dan cenderung naik, berbeda dengan variabel lain yang masih didalam *range* dan cenderung menurun perlahan.

Plastik membantu aspal dalam proses pelekatan berbagai agregat dalam campuran aspal beton, sehingga rongga dalam campuran banyak yang terisi oleh aspal dan plastik. Ini dapat dilihat dari hasil VIM untuk variabel plastik HDPE 100 % maupun PP 100 % dimana semakin tinggi kadar plastik, rongga dalam campuran semakin terisi dan tetap pada *range* spesifikasi Bina Marga, bahkan pada variabel plastik PP 100 % dengan kadar plastik 13 % dan 15 % yang lebih banyak mengisi rongga dalam campuran dibandingkan aspal tanpa plastik. Terlebih lagi untuk metode PCA, plastik dicampurkan terlebih dahulu pada agregat, sehingga plastik dapat mengisi rongga dalam campurannya terlebih dahulu sebelum dicampurkan dengan bitumen cair. Untuk variabel campuran plastik HDPE dan PP, hasil VIM cukup besar dikarenakan HDPE dan PP memiliki bagiannya masing-masing dalam proses pelapisan agregat, karena HDPE dan PP tidak berada pada satu kesatuan pada saat proses pelapisan agregat. Hal ini menyebabkan kurang meratanya proses pelapisan campuran agregat, sehingga masih ada bagian rongga dalam campuran yang

belum terisi oleh aspal maupun plastik dalam jumlah yang jauh lebih besar dibandingkan dengan variabel lainnya.

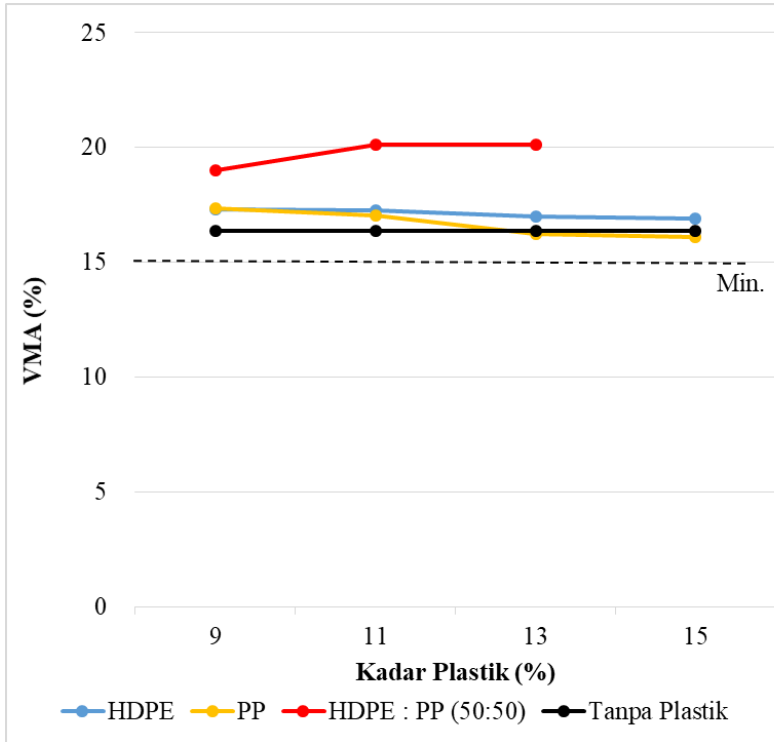
PP memiliki keunggulan dalam proses pencampuran plastik dengan agregat, yaitu lebih mudah dan cepat dalam mengisi rongga dalam campuran. PP memiliki karakteristik yang lebih lunak dan mudah meleleh jika dibandingkan dengan HDPE, dengan suhu *softening* PP juga yang lebih rendah. Untuk pengujian VIM didapatkan bahwa variabel pencampuran HDPE 100 % memiliki hasil yang optimal, dimana penurunan grafiknya lebih stabil dibandingkan dengan variabel PP 100 %, sehingga rongga dalam campuran yang diperoleh tidak terlalu kecil.

IV.1.2 Uji VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

VMA atau Rongga dalam Agregat adalah rongga diantara partikel agregat pada campuran aspal beton yang sudah dipadatkan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang terserap agregat). Hasil uji VMA dapat dilihat pada Tabel IV.4 dan Gambar IV.4.

Tabel IV.3 Data hasil uji VMA Pencampuran Plastik pada Aspal Beton

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji VMA (%)
Tanpa plastik	-	16,39
HDPE 100 %	9	17,30
	11	17,26
	13	17,01
	15	16,89
PP 100 %	9	17,34
	11	17,03
	13	16,22
	15	16,09
HDPE 50 % + PP 50 %	9	18,99
	11	20,12
	13	20,13



Gambar IV.5 Plot hasil uji VMA terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

Uji VMA memiliki syarat spesifikasi dengan presentase volume rongga minimal sebesar 15 % dari volume sampel. Besarnya nilai VMA yang dimiliki oleh aspal beton menunjukkan besarnya gradasi yang ada pada agregat, yang kemudian mendukung kualitas dari aspal beton tersebut. Apabila nilai VMA dibawah 15 %, maka ketahanan aspal beton terhadap tekanan luar akan semakin rendah dikarenakan terlalu banyaknya bitumen cair dan plastik yang menyelimuti agregat dan membuatnya semakin mudah memuai. Dari Gambar IV.4 ditunjukkan bahwa dengan penambahan plastik pada pencampuran aspal beton dapat mempengaruhi nilai VMA suatu campuran. Hasil uji menunjukkan

nilai VMA dari semua jenis variabel campuran penambahan plastik memenuhi syarat VMA spesifikasi Bina Marga, yaitu lebih dari 15 %. Variabel plastik campuran HDPE dan PP memiliki nilai yang lebih baik diantara variabel lain, bahkan grafiknya cenderung meningkat, sehingga diketahui bahwa pada variabel ini aspal beton memiliki gradasi agregat yang cukup baik dan ketahanan terhadap pemuaian aspal beton akan semakin rendah.

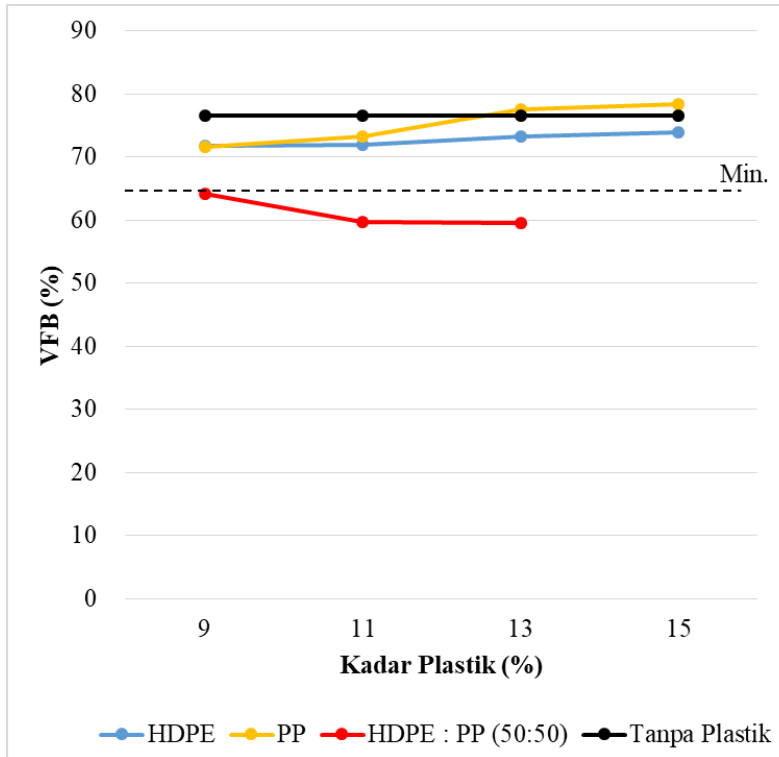
Penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik HDPE 100 % maupun PP 100 % mengalami penurunan, namun variabel plastik PP memiliki penurunan yang lebih besar. Sifat PP yang lebih lunak dan mudah meleleh seluruhnya jika dipanaskan sekitar pada suhu 180 °C mengakibatkan lelehan PP tersebut mampu mengisi banyak rongga dalam agregat.

IV.1.3 Uji VFB (*Void Filled with Bitumen*)

VFB merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang teradsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Hasil uji VFB dapat dilihat pada Tabel IV.4 dan Gambar IV.5.

Tabel IV.4 Data hasil uji VFB Pencampuran Plastik pada Aspal Beton

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji VFB (%)
Tanpa plastik	-	76,64
HDPE 100 %	9	71,84
	11	72,02
	13	73,28
	15	73,93
PP 100 %	9	71,62
	11	73,19
	13	77,60
	15	78,36
HDPE 50 % + PP 50 %	9	64,10
	11	59,64
	13	59,60



Gambar IV.6 Plot hasil uji VFB terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

VFB adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisi aspal efektif dinyatakan dalam persen. Uji VFB memiliki syarat spesifikasi dengan presentase volume rongga yang terisi minimal sebesar 65 %. Besarnya nilai VFB yang dimiliki oleh aspal beton menunjukkan baiknya proses terisinya bitumen cair pada aspal beton. Apabila nilai VFB dibawah 65 %, secara fisik maupun kualitas aspal beton semakin rendah, yang kemudian berbanding lurus dengan uji stabilitas dan *flow*. Hasil VFB yang didapatkan dari Tabel IV.4 dan Gambar IV.5 menunjukkan bahwa dengan penambahan plastik dapat

mempengaruhi nilai VFB dari aspal beton. Hasil uji menunjukkan harga VFB dari beberapa variabel campuran penambahan plastik memenuhi syarat VFB spesifikasi Bina Marga, kecuali pada variabel campuran plastik HDPE dan PP yang cenderung menurun.

Penambahan kadar aspal pada jenis pencampuran plastik HDPE 100 % maupun PP 100 % mengalami kenaikan. Sifat PP yang lebih lunak dan mudah meleleh seluruhnya jika dipanaskan sekitar pada suhu 180 °C mengakibatkan lelehan PP tersebut mampu mengisi seluruh rongga dalam agregat pada aspal beton. Ditambah lagi dengan metode PCA yang membuat plastik lebih mudah mengisi rongga dalam campuran maupun agregat. Hasil yang terbaik dari uji VFB adalah variabel pencampuran PP 100 % dimana grafiknya cenderung naik, sehingga diperoleh bahwa proses pelapisan rongga dalam agregat jauh lebih baik, tetapi variabel lain juga masih memenuhi standar (> 65 %).

Berhubungan dengan uji VMA, variabel plastik campuran HDPE dan PP yang tinggi menunjukkan bahwa hasil VFB akan menurun, bahkan untuk kasus ini dibawah dari spesifikasi Bina Marga. Dari segi ketahanan dan kualitas, uji VFB lebih dominan dibandingkan VMA sehingga variabel ini memiliki hasil yang kurang maksimal dari yang diharapkan.

IV.1.4 Uji Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan perkerasan jalan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur dan *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas sebanding dengan fungsi jalan dan beban lalu lintas yang dilewati. Bila jalan yang dilewati memiliki volume lalu lintas tinggi dan mayoritas kendaraan berat, akan membutuhkan perkerasan jalan dengan stabilitas tinggi. Uji stabilitas dapat dilakukan dengan menggunakan alat *Marshall Stabilitas Tester*. Hasil uji stabilitas dapat dilihat pada Tabel IV.5 dan Gambar IV.6.

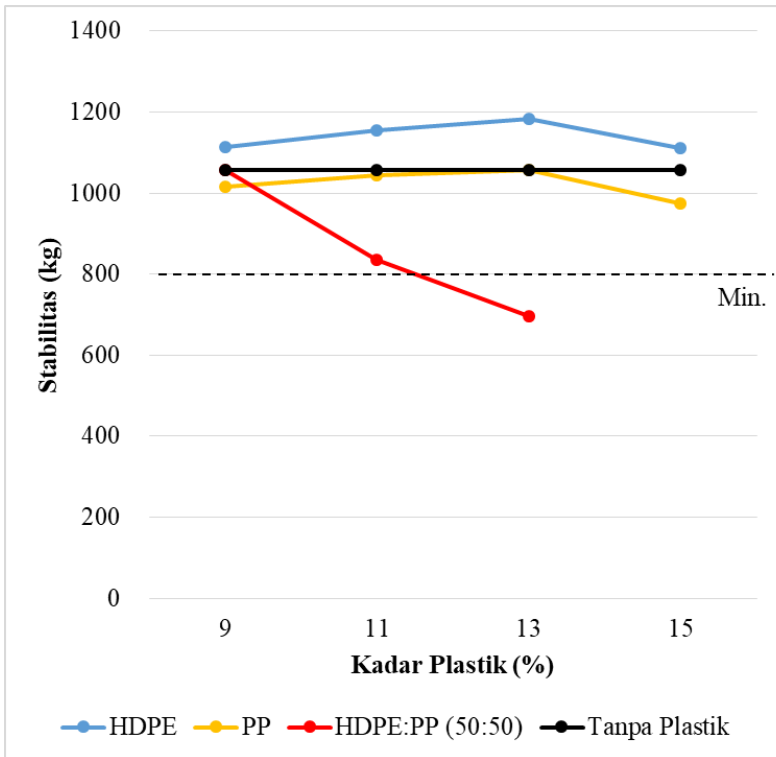
Tabel IV.5 Data hasil uji Stabilitas Pencampuran Plastik pada Aspal Beton

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji Stabilitas (kg)
Tanpa plastik	-	1056,0
HDPE 100 %	9	1112,2
	11	1153,9
	13	1181,7
	15	1112,2
PP 100 %	9	1014,9
	11	1042,7
	13	1056,6
	15	973,2
HDPE 50 % + PP 50 %	9	1056,6
	11	834,2
	13	695,1

Hasil pengujian diperoleh dari Tabel IV.5 dan Gambar IV.6 didapatkan bahwa dengan penambahan plastik pada substitusi aspal dapat meningkatkan stabilitas suatu campuran. Hasil pengujian menunjukkan harga stabilitas dari semua variabel campuran plastik memenuhi syarat stabilitas spesifikasi Bina Marga, yaitu minimal 800 kg, kecuali pada variabel plastik 13 % campuran HDPE dan PP memiliki stabilitas dibawah syarat spesifikasi.

Nilai stabilitas merupakan salah satu faktor penting untuk penentuan nilai *Marshall Quotient*, dimana semakin besar nilai stabilitas yang didapat maka akan semakin besar pula nilai *Marshall Quotient*. Kenaikan stabilitas pada hasil pencampuran penambahan plastik terjadi karena daya ikatan yang diberikan plastik lebih tinggi daripada campuran aspal beton normal (tanpa penambahan plastik). Ikatan ini sangat berpengaruh pada saat

perendaman selama 24 jam, aspal beton dengan pencampuran plastik akan menyerap lebih sedikit air karena permukaan dan rongga pada sampel terlapiasi oleh plastik. Sebaliknya, aspal beton normal akan menyerap lebih banyak air saat perendaman dilakukan. Akibat penyerapan yang tinggi ini stabilitas aspal beton normal lebih rendah dibandingkan dengan stabilitas aspal beton dengan penambahan plastik.



Gambar IV.7 Plot hasil uji Stabilitas terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

Pada hasil uji yang telah didapat, nilai stabilitas aspal dengan penambahan berbagai variabel plastik HDPE memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dari variabel penambahan plastik

lainnya, bahkan dari setiap variabel kadar plastik memiliki stabilitas yang lebih tinggi daripada aspal beton normal. Bila ditinjau dari segi karakteristik fisik, HDPE memiliki *specific gravity* yang lebih besar dibandingkan PP yang digunakan, dimana PP yang digunakan memiliki karakteristik yang tipis dibandingkan PP lain. HDPE dan PP yang mengalami *softening* tentunya memiliki tipe *coating* agregat yang berbeda berdasarkan pada bentuk molekul masing-masing plastik, dan didapatkan bahwa plastik HDPE memiliki karakteristik fisik yang hampir sama dengan bitumen cair.

Dalam teori disebutkan bahwa HDPE dan PP memiliki *Tensile Modulus* yang berbeda. *Tensile Modulus* adalah suatu tingkat kekakuan dari suatu bahan. HDPE memiliki *Tensile Modulus* sebesar 224.812 psi dan PP memiliki *Tensile Modulus* sebesar 190.240 psi^[11]. Dari data ini, dapat dilihat bahwa HDPE memiliki tingkat kekokohan yang tinggi, sehingga penambahan HDPE akan semakin meningkatkan stabilitas aspal beton dengan tingkat kekokohan yang lebih tinggi dibandingkan penambahan PP.

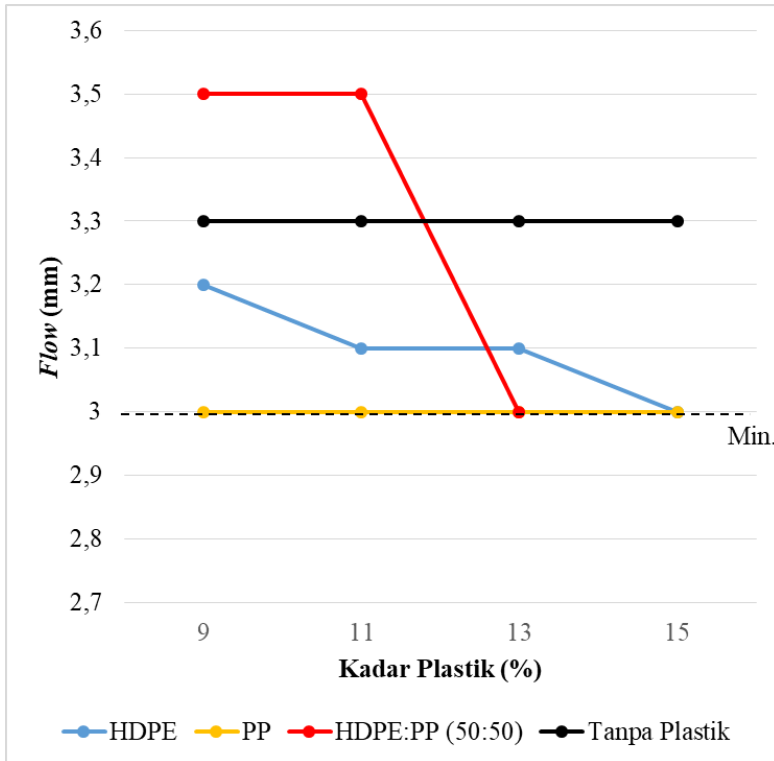
IV.1.5 Uji *Flow* (Kelelehan)

Uji *flow* (kelelehan) merupakan suatu pengujian kemampuan aspal beton menerima lendutan berulang akibat pemberian beban, sampai tepat terjadinya kelelehan berupa alur dan retak. Hasil uji *flow* dapat dilihat pada Tabel IV.6 dan Gambar IV.7.

Tabel IV.6 Data hasil uji *Flow* (Kelelehan) Pencampuran Plastik pada Aspal Beton

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji <i>Flow</i> (mm)
Tanpa plastik	-	3,3
HDPE 100 %	9	3,2
	11	3,1
	13	3,1
	15	3
PP 100 %	9	3

	11	3,1
	13	3
	15	3
HDPE 50 % + PP 50 %	9	3,5
	11	3,5
	13	3



Gambar IV.8 Plot hasil uji *Flow* (Kelelehan) terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

Dari hasil pengujian pada Tabel IV.6 dan Gambar IV.7 diperoleh bahwa dengan penambahan plastik pada pembuatan aspal beton dapat menurunkan nilai *flow* suatu campuran. Hasil penelitian menunjukkan harga *flow* dari semua variabel campuran

penambahan plastik memenuhi syarat *flow* spesifikasi Bina Marga, yaitu minimal 3 mm. Apabila nilai *flow* yang didapat menunjukkan angka dibawah 3 mm, maka aspal beton tersebut memiliki jarak tempuh yang terlalu singkat untuk meleleh atau bisa dikatakan bahwa aspal beton akan semakin mudah hancur. Nilai *flow* juga merupakan salah satu faktor penting untuk penentuan nilai *Marshall Quotient*, dimana *flow* merupakan nilai pembagi stabilitas, semakin kecil nilai *flow* yang didapat maka nilai *Marshall Quotient* akan semakin besar, dengan tetap berdasar pada spesifikasi bahwa nilai *flow* minimal 3 mm.

Dari data yang diperoleh, seluruh variabel pencampuran dengan plastik menghasilkan nilai *flow* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga. Bila dibandingkan dengan aspal beton tanpa plastik, beberapa variabel pencampuran plastik memiliki nilai *flow* yang lebih rendah, yaitu pada variabel pencampuran plastik HDPE 100 % dan PP 100 % pada setiap presentase penambahan plastik. Variabel pencampuran plastik PP 100 % memiliki nilai *flow* yang konsisten dan merupakan hasil terbaik untuk uji *flow*. Ini menunjukkan bahwa pencampuran dengan plastik akan mempengaruhi aspal beton untuk lebih tahan terhadap kelelahan.

Dari teori yang kami dapatkan, HDPE dan PP memiliki *Flexural Modulus* yang berbeda. *Flexural Modulus* adalah tingkat fleksibilitas (kelenturan) dari suatu bahan. HDPE memiliki *Flexural Modulus* sebesar 166.796 psi, sedangkan PP *Flexural Modulus* sebesar 212.245 psi^[11]. Dari data ini, dapat dilihat bahwa PP memiliki tingkat kelenturan yang tinggi, sehingga penambahan PP akan semakin meningkatkan kelenturan dari aspal beton dengan tingkat kelenturan yang lebih tinggi dibandingkan penambahan HDPE.

Untuk variabel pencampuran plastik HDPE dan PP memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi pada presentase plastik 9 % dan 11 %, dikarenakan pemerataan plastik pada proses *coating* yang belum merata, dan pada variabel 13 % nilai *flow* mengalami penurunan tepat pada minimum spesifikasi, ini dikarenakan semakin bertambahnya kadar plastik pada sampel yang membuat

fleksibilitas aspal beton semakin rendah. Perbedaan karakteristik aspal dan plastik, dimana dari segi fisik aspal yang lebih lentur dibandingkan dengan plastik, membuat aspal beton dengan plastik lebih mudah hancur dibandingkan dengan tanpa plastik. Disamping itu, kandungan bitumen cair yang terlalu besar akan membuat aspal beton semakin memiliki kelenturan yang besar, dimana akan membuat nilai *flow* semakin besar. Nilai *flow* yang terlalu besar menyebabkan kandungan pada aspal beton semakin mudah lepas dan rusak (*bleeding*).

Dari perbedaan karakteristik dan peran antara bitumen cair dan plastik, didapatkan bahwa plastik adalah bahan komplementer terhadap pembuatan aspal beton, yang menghambat terlalu besarnya kelelahan dari aspal beton namun tetap pada spesifikasi minimal *flow*, sehingga aspal beton tetap tidak mudah hancur.

IV.1.6. Uji *Marshall Quotient* (MQ)

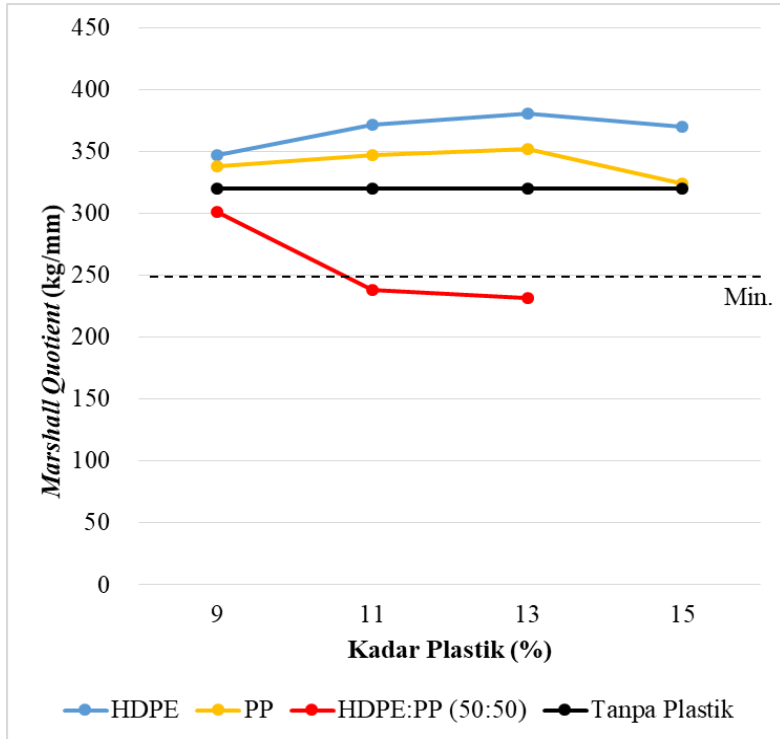
Marshall Quotient merupakan suatu nilai simpulan dari kualitas pada sudut pandang hubungan stabilitas dengan kelelahan dari aspal beton. Hasil uji MQ dapat dilihat pada Tabel IV.7 dan Gambar IV.8.

Nilai MQ menyatakan sifat kekakuan suatu campuran. Nilai MQ didapatkan dari rasio antara nilai stabilitas dan *flow* (kelelahan). Nilai MQ suatu sampel akan lebih besar jika nilai stabilitas semakin besar dan nilai *flow* semakin kecil.

Tabel IV.7 Data hasil uji *Marshall Quotient* (MQ) Pencampuran Plastik pada Aspal

Variabel Plastik	Kadar Plastik terhadap Aspal (%)	Hasil Uji MQ (kg/mm)
Tanpa plastik	-	320,0
HDPE 100 %	9	333,7
	11	357,3
	13	366,0
	15	355,9
PP 100 %	9	324,8
	11	333,7

	13	338,1
	15	311,4
HDPE 50 % + PP 50 %	9	289,8
	11	228,8
	13	222,4



Gambar IV.9 Plot hasil uji *Marshall Quotient* terhadap Kadar Plastik pada Aspal Beton

Dari Tabel IV.7 dan Gambar IV.8, hasil pengujian menunjukkan bahwa harga MQ dari semua variabel penambahan plastik memenuhi spesifikasi Binamarga, yaitu 250 kg/mm. Hasil terbaik diperoleh pada variabel pencampuran HDPE 100 %, khususnya pada presentase plastik 13 %. Variabel pencampuran

plastik HDPE dan PP dengan presentase 11 % dan 13 % memiliki nilai MQ yang tidak memenuhi spesifikasi. Bila nilai MQ dibandingkan antara aspal beton tanpa plastik dengan yang ditambahkan plastik, menunjukkan bahwa variabel penambahan plastik HDPE 100 % dan PP 100 % dengan semua variabel presentase plastik pada aspal beton memiliki nilai yang lebih tinggi. Ini menunjukkan bahwa plastik HDPE dan PP meningkatkan kualitas aspal beton secara keseluruhan, terlebih pada aspal beton dengan penambahan HDPE yang memiliki nilai MQ yang paling tinggi dibandingkan dengan variabel lain.

Pada variabel pencampuran plastik HDPE dan PP (50 : 50) memiliki hasil yang cenderung menurun. Ini disebabkan karena kurangnya pemerataan *softened* plastik campuran HDPE dan PP pada proses *coating* dengan agregat. Metode PCA, dimana plastik dicampurkan terlebih dahulu dengan agregat sebelum dengan bitumen cair, memiliki pengaruh yang berbeda antara satu jenis plastik saja dengan campuran plastik. Pada proses *coating*, pencampuran yang terjadi tidak merata karena berada dalam kondisi agregat panas (padatan). Untuk variabel pencampuran plastik HDPE dan PP lebih optimal jika dilakukan dengan metode *Hot Mix*, dimana beberapa jenis plastik dicampurkan dahulu pada bitumen cair panas sebelum dengan agregat sampai seluruhnya melebur, sehingga proses *softening* dan pencampuran dengan agregat menjadi lebih optimal.

Dari semua variabel yang telah diuji, hasilnya dapat dirangkum pada Tabel IV.8 sebagai berikut.


Tabel IV.8 Rangkuman hasil uji seluruh variabel Aspal Beton dengan metode PCA


No.	Variabel Plastik	Kadar Plastik*	VIM (%)	VMA (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Keterangan**
Standar Binamarga			3 – 5	Min. 15	Min. 65	Min. 800	Min. 3	Min. 250	
1.	HDPE 100 %	9 %	4,87	17,30	76,64	1112,2	3,2	333,7	Sesuai standar
		11 %	4,8	17,26	71,84	1153,9	3,1	357,3	Sesuai standar
		13 %	4,5	17,01	72,02	1181,7	3,1	366,0	Sesuai standar
		15 %	4,4	16,89	73,28	1112,2	3	355,9	Sesuai standar
2.	PP 100 %	9 %	4,92	17,34	73,93	1014,9	3	324,8	Sesuai standar
		11 %	4,57	17,03	71,62	1042,7	3,1	333,7	Sesuai standar
		13 %	3,63	16,22	73,19	1056,6	3	338,1	Sesuai standar
		15 %	3,48	16,09	77,60	973,2	3	311,4	Sesuai standar
3.	HDPE : PP (50 : 50)	9 %	6,82	18,99	78,36	1056,6	3,5	289,8	Sebagian sesuai
		11 %	8,12	20,12	64,10	834,2	3,5	228,8	Tidak sesuai
		13 %	8,13	20,13	59,64	695,1	3	222,4	Tidak sesuai

*terhadap bitumen cair

**simpulan hasil uji keseluruhan untuk satu variabel

Keterangan:

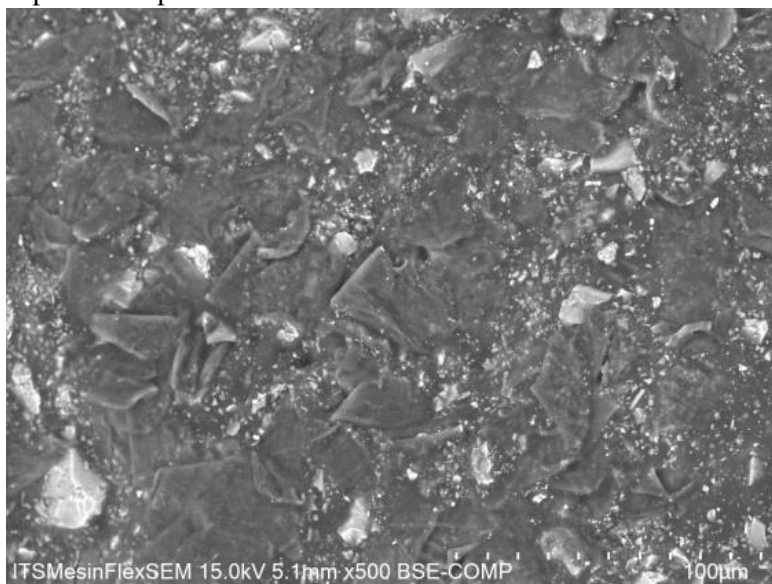
 = Standar Binamarga untuk setiap pengujian

 = Memenuhi

 = Tidak memenuhi

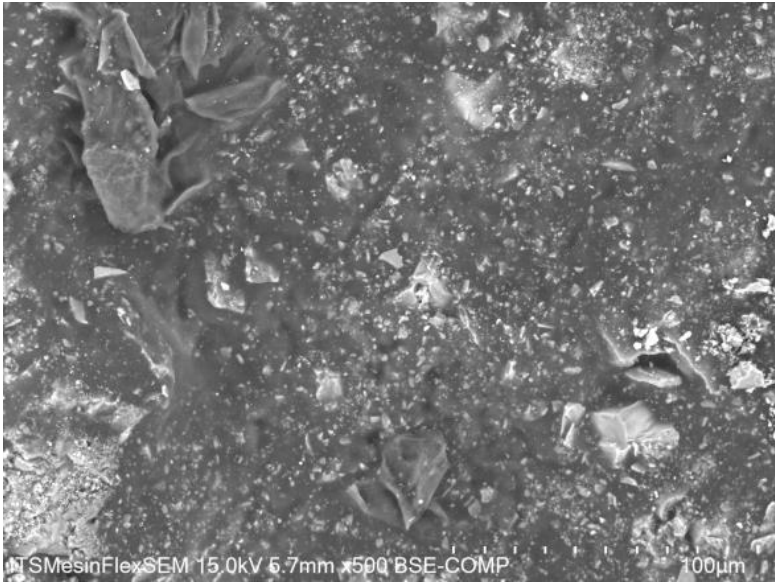
IV.2 Hasil Uji *Scanning Electron Microscope*

Pada hasil pengujian *Scanning Electron Microscope* (SEM) dilakukan pada benda uji yang belum ditambahkan dengan plastik dan yang sudah ditambahkan dengan HDPE 13% (sebagai variabel terbaik dari uji *Marshall*). Hal ini bertujuan untuk mengetahui perubahan fisik dari metode *Plastic Coated Aggregate* dan mengetahui apakah benar penambahan plastik berlangsung secara homogen pada campuran aspal beton. Hasil uji SEM BSE-COMP dengan perbesaran sebesar 500 kali pada variabel tersebut dapat dilihat pada Gambar IV.8 dan Gambar IV.9.



Gambar IV.10 Hasil Uji SEM pada Aspal Beton tanpa plastik

Pada Gambar IV.8 terlihat bahwa benda uji (aspal) yang belum ditambahkan plastik terdapat rongga rongga dan masih banyak terdapat bagian agregat yang belum tercampur dengan aspal. Pada Gambar IV.9 terlihat plastik menyelimuti bagian permukaan aspal dan menutupi rongga rongga yang ada di agregat.



Gambar IV.11 Hasil uji SEM pada Aspal Beton dengan penambahan HDPE 13 %

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

V.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian ini, dapat disimpulkan beberapa hal mengenai pengaruh penambahan limbah plastik jenis HDPE dan PP terhadap aspal beton sebagai berikut:

1. Aspal beton dengan penambahan limbah plastik HDPE 13 % memiliki ketahanan paling baik dengan nilai *Marshall Quotient* (MQ) sebesar 366 kg/mm, sedangkan aspal beton tanpa penambahan limbah plastik memiliki nilai *Marshall Quotient* sebesar 320 kg/mm, maka diperoleh peningkatan nilai *Marshall Quotient* aspal beton setelah penambahan HDPE 13% sebesar 14,4 %.
2. Pada variabel penambahan HDPE 13 % ini memiliki hasil uji rongga dalam agregat sebesar 17,01 %, uji rongga agregat yang terisi aspal sebesar 73,28 %, dan uji rongga dalam campuran 4,5 %.
3. Uji *Marshall* untuk aspal beton dengan variabel penambahan plastik HDPE 13 % telah memenuhi standar Binamarga tahun 2010.

V.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan penelitian ini, penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Plastik HDPE dan PP (untuk variabel pencampuran) dicampurkan terlebih dahulu menggunakan mesin *extruder* agar campuran plastik lebih homogen.

2. Untuk mendapatkan hasil uji yang lebih baik lagi, jumlah variabel penambahan plastik ditingkatkan lagi agar mendapatkan hasil yang lebih presisi.

DAFTAR PUSTAKA

- Badan Pusat Statistik. 2016. *Statistik Lingkungan Hidup Indonesia*. Jakarta: BPS Indonesia.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2010. *Departemen Pekerjaan Umum, Pekerjaan Lapis Pondasi Jalan, Buku 1 Umum, Manual Konstruksi dan Bangunan*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Karian, H. 2009. *Handbook of Polypropylene and Polypropylene Composites*, Michigan, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Maier, C., Calafut, T. 1998. *Polypropylene: the definitive user's guide and databook*. William Andrew. hlm. 14.
- Peacock, A. J. 2000. *Handbook of Polyethylene (Structures, Properties, and Applications)*. New York, USA: Marcel Dekker, Inc.
- Purnamasari, E. P., Suryaman, F. 2010. *Pengaruh Penggunaan Limbah Botol Plastik Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston)*. Yogyakarta: Universitas Jaya Yogyakarta.

Simanjuntak, S., Saragi, Y. 2012. *Analisa Perbandingan Kualitas Aspal Beton Dengan Filler Bentonite*. Medan: Lembaga Penelitian Universitas HKBP Nommensen.

Tripathi, D. 2001. *Practical guide to polypropylene*. Shrewsbury: RAPRA Technology.

Vasudevan, R., Ramalinga, A., Sundarakanna, B., Velkennedy R. 2011. *A Technique to Dispose Waste Plastics in an Ecofriendly Way – Application in Construction of Flexible Pavements*. Tamil Nadu: Elsevier Ltd.

www.plasticsintl.com/sortable_materials.php diakses pada 1 Juni 2018 Pukul 12.45 WIB.

APPENDIKS A

PERHITUNGAN PENGUJIAN BENDA UJI ASPAL BETON

A.1 Perhitungan fraksi berat agregat

Untuk mengetahui jumlah bobot agregat yang dibutuhkan setiap saringan, didapatkan dari data agregat tertahan saringan sebagai berikut.

Tabel A.1 Persentase agregat tiap saringan

No. Saringan	Agregat lolos (%)	Agregat tertahan (%)	Selisih antara saringan (%)
3/4"	100	0	0
1/2"	91,2	8,8	8,8
3/8"	88,2	11,8	3
No.4	62,9	37,1	25,4
No.8	37,1	62,9	25,8
No.16	21,2	78,8	15,9
No.30	15,9	84,1	5,3
No.50	10,2	89,8	5,7
No.100	6,2	93,8	4,0
No.200	4,9	95,1	1,3
Bottom	-	-	4,9

a. Perhitungan selisih antara saringan

Agregat tertahan pada saringan 1/2" = 8,8 %

Agregat tertahan pada saringan 3/8" = 11,8 %

Maka selisih antara saringan 3/8 dan 1/2 adalah

$$= 11,8 \% - 8,8 \% = 3 \%$$

b. Perhitungan bobot yang harus ditimbang pada saringan 1/2".

Total bobot agregat = 1131,6 gram

$$\text{Jumlah agregat pada saringan} = \frac{8,8}{100} \times 1131,6 = 99,3 \text{ gram}$$

Maka, didapatkan hasil bobot per saringan sebagai berikut:

Tabel A.2 Bobot agregat per saringan

Saringan	Bobor persaringan (gram)
1/2"	99,3
3/8"	34
No.4	286,9
No.8	291,7
No.16	179,4
No.30	60,1
No.50	64,7
No.100	45,1
No.200	14,5
Bottom	33,6

A.2 Perhitungan jumlah plastik yang ditambahkan

Perhitungan jumlah plastik yang ditambahkan merupakan substitusi dari aspal hasil komposisi kadar aspal optimum. Menurut *Luqman dan Ferry* (2017), data kadar aspal optimum untuk Aspal Beton jenis AC/WC adalah sebagai berikut:

Kadar aspal optimum	:	5,70	%
Berat sampel	:	1200	gr
Berat kadar aspal	:	68,40	gr
Berat Filler	2%	:	430,01 gr
Berat Agr. Halus	38%	:	543,16 gr
Berat Agr. Sedang	48%	:	135,79 gr
Berat Agr. Kasar	12%	:	22,63 gr
Total			1200,00 gr

Kadar aspal optimum sebesar 68,4 gram

- Penambahan plastik 9%

$$\begin{aligned} &= \frac{9}{100} \times 68,4 \\ &= 6,156 \text{ gram} \\ \text{Aspal} &= 68,4 - 6,156 \\ &= 62,24 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Penambahan plastik 11%

$$\begin{aligned} &= \frac{11}{100} \times 68,4 \\ &= 7,524 \text{ gram} \\ \text{Aspal} &= 68,4 - 7,524 \\ &= 60,87 \text{ gram} \end{aligned}$$

- Penambahan plastik 13%

$$\begin{aligned}
 &= \frac{13}{100} \times 68,4 \\
 &= 8,892 \text{ gram} \\
 \text{Aspal} &= 68,4 - 8,892 \\
 &= 59,51 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

- Penambahan plastik 15%

$$\begin{aligned}
 &= \frac{15}{100} \times 68,4 \\
 &= 10,26 \text{ gram} \\
 \text{Aspal} &= 68,4 - 10,26 \\
 &= 58,14 \text{ gram}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan data bobot plastik yang ditimbang untuk setiap jenis plastik.

Tabel A.3 Bobot Plastik yang ditimbang

Variabel pencampuran plastik		Bobot Plastik yang ditimbang (gram)
Jenis	Persentase	
HDPE 100 %	9 %	6,156
	11 %	7,524
	13 %	8,892
	15 %	10,26
PP 100 %	9 %	6,156
	11 %	7,524
	13 %	8,892
	15 %	10,26

HDPE : PP (50:50)	9 %	6,156
	11 %	7,524
	13 %	8,892

A.3 Perhitungan hasil uji analisa Aspal Beton

A.3.1 Stabilitas

Nilai uji stabilitas didapatkan dari hasil pembacaan di alat dikalikan dengan hasil kalibrasi alat.

Perhitungan nilai stabilitas HDPE 9 %

$$\begin{aligned}
 \text{Nilai stabilitas} &= \text{pembacaan} \times \text{nilai kalibrasi} \\
 &= 80 \times 13,90 \\
 &= 1112,2 \text{ kg}
 \end{aligned}$$

Dari perhitungan diatas didapatkan data stabilitas setiap variabel pencampuran plastik pada aspal beton.

Tabel A.4 Nilai Stabilitas

Variabel pencampuran plastik		Hasil pembacaan alat	Nilai Stabilitas (kg)
Jenis	Persentase		
HDPE 100 %	9 %	80	1112,2
	11 %	83	1153,3
	13 %	85	1181,7
	15 %	80	1112,2
PP 100 %	9 %	73	1014,9

	11 %	75	1042,9
	13 %	76	1056,6
	15 %	70	973,2
HDPE : PP (50:50)	9 %	76	1056,6
	11 %	60	834,2
	13 %	50	695,1

A.3.2 Flow

Nilai *flow* didapatkan dari hasil pembacaan alat flowmeter secara manual. Dari proses pengujian didapatkan data *flow* setiap variabel pencampuran plastik pada aspal beton.

Tabel A.5 Hasil pembacaan *flow*

Variabel pencampuran plastik		Nilai <i>Flow</i> (mm)
Jenis	Persentase	
HDPE 100 %	9 %	3,2
	11 %	3,1
	13 %	3,1
	15 %	3
PP 100 %	9 %	3
	11 %	3,1
	13 %	3
	15 %	3

HDPE : PP (50:50)	9 %	3,5
	11 %	3,5
	13 %	3

A.3.3 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient merupakan rasio perbandingan antara *flow* dan stabilitas. Dengan perhitungan sebagai berikut.

$$MQ = \frac{\text{Stabilitas} \times 0,96}{\text{Flow}}$$

Contoh perhitungan pada variabel HDPE 9 % :

$$MQ = \frac{1112,2 \times 0,96}{3,2} = 333,7 \text{ kg/mm}$$

Tabel A.6 Nilai Marshall Quotient

Variabel pencampuran plastik		<i>Flow</i> (mm)	Stabilitas (Kg)	<i>Marshall Quotient</i> (Kg/mm)
Jenis	Persentase			
HDPE 100 %	9 %	3,2	1112,2	333,7
	11 %	3,1	1153,3	357,3
	13 %	3,1	1181,7	366,0
	15 %	3	1112,2	355,9
PP 100 %	9 %	3	1014,9	324,8
	11 %	3,1	1042,7	333,7

	13 %	3	1056,6	338,1
	15 %	3	973,2	311,4
HDPE : PP (50:50)	9 %	3,5	1056,6	289,8
	11 %	3	834,2	228,8
	13 %	3	695,1	222,4

A.3.4 Uji Rongga

Uji rongga adalah suatu pengujian terhadap berbagai rongga pada aspal beton, seperti rongga dalam campuran, rongga dalam agregat, dan rongga terisi aspal dan plastik. Pengujian dilakukan dengan merendam sampel di dalam air selama 24 jam. Berikut ini adalah notasi pada perhitungan dalam uji rongga sampel.

- a = % Aspal terhadap batuan
 - bi = ~~Vol Aspal Terhadap~~ Campuran
 - c = ~~B_{asp}~~ Berat kering (gram)
 - d = Berat dalam keadaan jenuh (gram)
 - e = Berat dalam air (gram)
 - f = Isi benda uji = d - e
 - g = BD Bulk Campuran = $\frac{c}{f}$
 - h = Berat Maksimum (teoritis) $\frac{100}{((100 - b)/B_j \text{ agg}) + (b/B_j \text{ asp})}$
- B_j agg = 2,56
B_j asp = 1,03

j = volume total agregat

$$j = \frac{(100-b) \times g}{Bj \text{ agg}}$$

A.3.4.1 Rongga dalam Campuran

Contoh perhitungan menggunakan data sampel HDPE 9 %.

Rongga dalam campuran = $100 - (100 \times \frac{g}{h})$

$$g = \frac{1172}{522} = 2,25$$

$$h = \frac{100}{((100 - 5,7) / 2,56) + (5,7 / 1,03)} = 2,36$$

$$\begin{aligned} \text{Rongga dalam campuran} &= 100 - (100 \times \frac{g}{h}) \\ &= 100 - (100 \times \frac{2,25}{2,36}) \\ &= 4,87 \end{aligned}$$

Perhitungan Rongga dalam Campuran untuk setiap sampel kemudian didapatkan pada tabel berikut.

Tabel A.7 Hasil perhitungan Rongga dalam Campuran

Variabel Pencampuran Plastik		Rongga Dalam Campuran (%)
Jenis Plastik	Persentase	
HDPE 100 %	9 %	4,87
	11 %	4,8
	13 %	4,5
	15 %	4,4
PP 100 %	9 %	4,92
	11 %	4,57
	13 %	3,63
	15 %	3,48
HDPE :	9 %	6,82

PP (50:50)	11 %	8,12
	13 %	8,13

A.3.4.2 Rongga Terisi Aspal dan Plastik

Contoh perhitungan menggunakan data sampel HDPE 9 %.

$$i = \frac{5,7 \times 2,25}{1,03} = 12,42$$

$$j = \frac{(100 - 5,7) \times 2,25}{1,03} = 83,70$$

$$l = 100 - j = 100 - 83,70 = 17,30 \%$$

$$\text{Rongga terisi} = i / l * 100 = 12,42 / 17,3 \times 100 = 71,84 \%$$

Perhitungan Rongga Terisi Aspal dan Plastik untuk setiap sampel kemudian didapatkan pada tabel berikut.

Tabel A.8 Hasil perhitungan Rongga Terisi Aspal dan Plastik

Variabel Pencampuran Plastik		i	j	l	Rongga Terisi aspal (%)
Jenis Plastik	Persentase				
HDPE 100 %	9 %	12,42	82,70	17,30	71,84
	11 %	12,43	82,74	17,26	72,02
	13 %	12,47	82,99	17,01	73,28
	15 %	12,49	83,11	16,89	73,93
PP 100 %	9 %	12,42	82,66	17,34	71,62
	11 %	12,46	82,97	17,03	73,19
	13 %	12,59	83,78	16,22	77,60
	15 %	12,61	83,91	16,09	78,36
HDPE : PP (50:50)	9 %	12,17	81,01	18,99	64,10
	11 %	12,00	79,88	20,12	59,64
	13 %	12,00	79,87	20,13	59,60

A.3.4.3 Rongga dalam Agregat

Contoh perhitungan menggunakan data sampel HDPE 9 %.

$$l = 100 - j = 100 - 82,70 = 17,30 \%$$

Tabel A.9 Hasil perhitungan Rongga dalam Agregat

Variabel Pencampuran Plastik		j	Rongga Dalam Agregat (%)
Jenis Plastik	Persentase		
HDPE 100 %	9 %	82,70	17,30
	11 %	82,74	17,26
	13 %	82,99	17,01
	15 %	83,11	16,89
PP 100 %	9 %	82,66	17,34
	11 %	82,97	17,03
	13 %	83,78	16,22
	15 %	83,91	16,09
HDPE : PP (50:50)	9 %	81,01	18,99
	11 %	79,88	20,12
	13 %	79,87	20,13

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Sri Wisnu Purwonugroho, dilahirkan di Bogor 7 Juli 1996 merupakan anak pertama dari 3 bersaudara. Penulis telah melakukan pendidikan formal mulai dari sekolah dasar Bina Insani Bogor, SMP Negeri 1 Bogor, SMK-Sekolah Menengah Analis Kimia Bogor dan sedang menempuh program S-1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Selama studi program strata 1 penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri yang berjudul “Pengolahan Limbah Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polypropylene* (PP) dengan metode *Mixed Plastic Coated Aggregate* untuk meningkatkan kualitas Aspal Beton” yang merupakan tahapan penulis dalam menempuh pendidikan tahap sarjananya. Penulis pernah melakukan kerja praktek di PT Inti Karya Persada Tehnik, selama kegiatan kerja praktek penulis belajar mengenai desain pabrik dan tahap *commisioning* dalam mendesain sebuah pabrik. Selama berkuliah penulis aktif di Organisasi internal jurusan Teknik Kimia, pernah menjadi ketua dalam suatu acara dan pernah menjadi asisten laboratorium Mikrobiologi Industri di Teknik Kimia.

RIWAYAT PENULIS



Penulis bernama lengkap Hardi Parulian, dilahirkan di Jakarta, 26 Januari 1995, merupakan anak ketiga dari empat bersaudara. Penulis telah melakukan pendidikan formal mulai dari SD Katholik Ignatius Slamet Riyadi II, SMP Negeri 103 Jakarta, SMA Negeri 14 Jakarta, dan sedang menempuh program S-1 Teknik Kimia di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Selama studi program Strata-1, penulis melakukan penelitian di Laboratorium Pengolahan Limbah Industri dengan judul “Pengolahan Limbah Plastik Jenis *High Density Polyethylene* (HDPE) dan *Polypropylene* (PP) dengan metode *Mixed Plastic Coated Aggregate* untuk meningkatkan kualitas Aspal Beton” yang merupakan tahapan penulis dalam menempuh pendidikan tahap sarjananya. Penulis juga pernah melakukan kegiatan Kerja Praktek di PT. Inti Karya Persada Tehnik dan mempelajari tentang desain pabrik, juga tahap *commisioning* dalam suatu *power plant*. Selama masa perkuliahan, penulis aktif dalam organisasi intra kampus Himpunan Mahasiswa Teknik Kimia di bidang *big event*, dan juga menjadi asisten Laboratorium Operasi Teknik Kimia di Departemen Teknik Kimia FTI-ITS.