



TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA
CAMPURAN AC-BC (ASPHALT CONCRETE -
BINDER COURSE) SEBAGAI INOVASI ECO-
MATERIAL**

**AHMAD FAQIHUL MUQODDAM
NRP. 10111715000019**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS., S.T., M.T
NIP. 19730914 200501 1 002**

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



ITS
Institut
Teknologi
Sepuluh Nopember

TUGAS AKHIR TERAPAN - RC 145501

**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA
CAMPURAN AC-BC (ASPHALT CONCRETE -
BINDER COURSE) SEBAGAI INOVASI ECO-
MATERIAL**

AHMAD FAQIHUL MUQODDAM
NRP. 10111715000019

DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS., S.T., M.T
NIP. 19730914 200501 1 002

**PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
FAKULTAS VOKASI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**



FINAL PROJECT - RC 145501

**UTILIZATION OF PLASTIC WASTE PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) ON AC-
BC (ASPHALT CONCRETE - BINDER COURSE)
MIXES AS ECO-MATERIAL INNOVATION**

**AHMAD FAQIHUL MUQODDAM
NRP. 10111715000019**

**DOSEN PEMBIMBING
Dr. MACHSUS., S.T., M.T
NIP. 19730914 200501 1 002**

**DIPLOMA IV OF CIVIL ENGINEERING BACHELOR PROGRAM
FACULTY OF VOCATIONS
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA 2018**

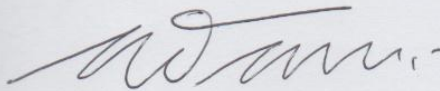
**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA
CAMPURAN AC-BC (ASPHALT CONCRETE – BINDER
COURSE) SEBAGAI ECO-MATERIAL**

Disusun untuk mengusulkan gagasan tugas akhir terapan sebagai
salah satu syarat kelulusan pada
Diploma IV Lanjut Jenjang
Departemen Teknik Infrastruktur Sipil
Fakultas Vokasi
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Surabaya, 12 Juli 2018

Disusun oleh :

Mahasiswa



Ahmad Faqihul Muqoddam

NRP. 1011171500019



**Mengetahui,
Dosen Pembimbing**

13 JUL 2018

Dr. Machsus., S.T., M.T
NIP. 19730914 200501 1 002



BERITA ACARA
TUGAS AKHIR TERAPAN
 PROGRAM STUDI DIPLOMA EMPAT LANJUT JENJANG
 TEKNIK SIPIL
 DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 FAKULTAS VOKASI ITS

No. Agenda :
041523/IT2.VI.8.1/PP.05.02/2018

Tanggal : 06/07/2018

Judul Tugas Akhir Terapan	Pemanfaatan Limbah Plastik PET (Polyethylene Terephthalate Pada Campuran AC-BC (Asphalt Concrete - Binder Course) Sebagai Inovasi Eco-Material		
Nama Mahasiswa	Ahmad Faqihul Muqoddam	NRP	1011150000019
Dosen Pembimbing 1	Dr. Machsus, ST.MT NIP 19730914 200501 1 002	Tanda tangan	
Dosen Pembimbing 2	NIP -	Tanda tangan	

URAIAN REVISI	Dosen Penguji
<i>untuk RAB & ditambahkan skenario biaya s.d. ke dari harga persegul.</i>	 Ir. Sulchan Arifin, M.Eng NIP 19571119 198503 1 001
<i>2. penulisan latar belakang, varian campuran</i>	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19641114 198903 1 001
<i>2. tambahkan pokok proses penulisan di lampiran sesuai bab 4 dll.</i>	 M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001
	NIP -

PERSETUJUAN HASIL REVISI

Dosen Penguji 1	Dosen Penguji 2	Dosen Penguji 3	Dosen Penguji 4
			-
Ir. Sulchan Arifin, M.Eng NIP 19571119 198503 1 001	Ir. Rachmad Basuki, MS NIP 19641114 198903 1 001	M. Khoiri, ST. MT. PhD NIP 19740626 200312 1 001	NIP -

Persetujuan Dosen Pembimbing Untuk Penjilidan Buku Laporan Tugas Akhir Terapan	Dosen Pembimbing 1	Dosen Pembimbing 2
	 Dr. Machsus, ST.MT NIP 19730914 200501 1 002	- NIP -



KEMENTERIAN RISET, TEKNOLOGI, DAN PENDIDIKAN TINGGI
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
FAKULTAS VOKASI

DEPARTEMEN TEKNIK INFRASTRUKTUR SIPIL
 Kampus ITS, Jl. Menur 127 Surabaya 60116
 Telp. 031-5947837 Fax. 031-5938025
<http://www.diplomasipil-its.ac.id>

ASISTENSI TUGAS AKHIR TERAPAN

Nama : 1 AHMAD FAQIHUL M 2
NRP : 1 10111715000019 2
Judul Tugas Akhir : PEMANFAATAN LIMBAH PIASTIR PET (POLYETHYLENE TEREPHTHALATE PADA CAMPURAN AC-BC (ASPALTH CONCRETE BINDER COURSE) SEBAGAI INOVASI ECO-MATERIAL
Dosen Pembimbing : Dr. MACHSUS. S.T., M.T

No	Tanggal	Tugas / Materi yang dibahas	Tanda tangan	Keterangan		
1.	12/2/2018	→ judul, tanggal tugas, variasi minimal 3 (tiga) → Cari info mesin pemecah plastik → atung kebutuhan volume & material (certains) bahan per-d ³		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
2	5/4/2018	→ Hasil pengujian KAD → Pembuatan grafik. → Lanjutan.		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
3	22/4 2018	→ Hasil Pengujian Aspal Plastik → Cek hasil analisa → Pembuatan laporan.		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
4	16/105 2018	→ laporan tugas Akhir the maps! → hasil paper		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>
5.	4/06 2018	→ PPTX		B	C	K
				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>

Ket. :
 B = Lebih cepat dari jadwal
 C = Sesuai dengan jadwal
 K = Terlambat dari jadwal

**PEMANFAATAN LIMBAH PLASTIK PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) PADA
CAMPURAN AC-BC (ASPHALT CONCRETE – BINDER
COURSE) SEBAGAI ECO-MATERIAL**

Disusun Oleh :

Nama Mahasiswa : Ahmad Faqihul Muqoddam
NRP : 10111715000019
Jurusan : Departemen Teknik Infrastruktur
Sipil – Fakultas Vokasi – ITS

Dosen Pembimbing : Dr. Machsus., S.T., M.T
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRAK

Indonesia memiliki jumlah penduduk sebesar 250 juta jiwa. Luas daratan Indonesia sebesar 1,905 Juta km². Sedangkan luas jalan raya hanya memiliki 600 ribu km. Indonesia hanya memiliki luas jalan raya 6,35% dari total luas daratan. Pada negara maju, luas jalan raya rata-rata sebesar >10% dari total luas daratan. Hal ini mendorong pemerintah terus meningkatkan infrastruktur khususnya jalan raya. Disisi lain, Indonesia berada diposisi ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik di laut yang mencapai 1,29 juta ton per tahun. (Hoegh-Guldberg et al., 2015).

Limbah plastik berdampak besar bagi lingkungan. Plastik memiliki sifat sulit terdegradasi (*non-biodegradable*) dan bahan pembuat plastik umumnya terbuat dari *Polychlorinated Biphenyl* (PCB). Plastik diperkirakan membutuhkan waktu 1000 tahun agar dapat terdekomposisi dengan sempurna. Sampah kantong plastik yang ditimbun di tempat pembuangan akhir dapat mencemari tanah dan air tanah sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia (Karuniastuti, 2014).

Berdasarkan penelitian terdahulu dan latar belakang diatas, pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal beton menjadi

solusi strategis untuk dilakukan penelitian berkelanjutan. Pada penelitian ini, lapisan aspal beton yang menjadi fokus penelitian adalah pada lapisan aspal perantara atau AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*). Spesifikasi yang digunakan adalah spesifikasi umum Binamarga revisi 3 tahun 2010.

Material penyusun aspal beton ialah agregat dan aspal. Agregat yang digunakan terdiri dari 4 jenis yaitu agregat ukuran 10-20, 10-10, 5-10 dan 0-5 (abu batu). Aspal yang digunakan adalah aspal *shell* dengan penetrasi 60/70. Tahapan dalam penelitian ini yaitu : uji material, cek spesifikasi, pengujian KOA (Kadar Optimal Aspal), pengujian penambahan PET dan analisa hasil pengujian *marshall* dan parameterinya. Proses pencampuran PET menggunakan metode basah dengan menambahkan PET sewaktu pemanasan aspal serta pastikan PET dan aspal melebur dengan homogen. Pengujian KOA dengan variasi kadar aspal 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Variasi kadar PET yang digunakan yaitu 1%-8% dengan interval 1%. Setiap variasi kadar PET dilakukan pembuatan benda uji sebanyak 3 buah. Pada penelitian ini analisa hasil meliputi pengujian *density*, *Void in Mix* (VIM), *Void in Mineral Agregat* (VMA), *Void in Filled With Aspalth* (VFA), Stabilitas *Marshall*, *flow*, *Marshall Quotient*.

Hasil dari pengujian kadar aspal optimum (KAO), persentase yang memenuhi spesifikasi binamarga,2010 adalah kadar aspal 5,5% dan 6,0%. Maka nilai KAO yang digunakan ialah nilai tengah dari 5,5% dan 6,0 % ialah sebesar 5,8%. Hasil pengujian *marshall* serta parameterinya pada kadar aspal 5,8% adalah *density* =2,44 gr/cc, VIM= 4,17%, VMA= 14,24%, VFA= 70,73%, stabilitas= 1632,7 Kg, *flow*= 2,37 mm dan *marshall quotient*= .697,91 Kg/mm.

Pengujian aspal plastik dengan kadar PET 1%-8%, menghasilkan kadar PET optimum sebesar 3%. Hasil pengujian *marshall* serta parameterinya pada kadar PET optimum 3% adalah *density* =2,42 gr/cc, VIM= 4,87%, VMA= 14,87%, VFA= 67,34%, stabilitas= 2286,6 Kg, *flow*= 2,20 mm dan *marshall quotient*= .1037,8 Kg/mm. Rencana anggaran biaya dengan kadar

PET 3% ialah sebesar Rp. 930.478,- per m³. Sedangkan campuran dengan non PET ialah sebesar Rp. 955.678,- per m³. Maka dengan penambahan PET dapat menghemat Rp. 29.400,- per m³ atau 3% dari aspal non PET.

Penambahan limbah plastik PET sebesar 3% dengan kadar aspal optimum 5,8% menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi daripada tanpa plastik serta memenuhi persyaratan binamarga,2010. Selain itu, dapat membantu pemerintah dalam mencetus pencemaran lingkungan akibat limbah plastik serta membantu masyarakat menjadikan limbah plastik menjadi barang yang ber-ekonomis.

Kata kunci : limbah plastik, Aspal, Uji *marshall*

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

**UTILIZATION OF PLASTIC WASTE PET
(POLYETHYLENE TEREPHTHALATE) ON AC-BC
(ASPHALT CONCRETE – BINDER COURSE) MIXES AS
ECO-MATERIAL INNOVATION**

Composed By :

Name Student : Ahmad Faqihul Muqoddam
NRP : 1011171500019
Study Program : Infrastructure Civil Engineering
Departments – Faculty of Vocational
– ITS

Counselor Lecture : Dr. Machsus., S.T., M.T
NIP : 19730914 200501 1 002

ABSTRACT

Indonesia has a population of 250 million people. Land area of Indonesia amounted to 1.905 million km². While the wide roadways have only 600 thousand km. Indonesia only has highways 6.35% of the total land area. In developed countries, the broad highway on average more than 10% of the total land area. This prompted the Government of continuing to improve infrastructure especially the road. On the other hand, Indonesia is placed second in the world with the number of plastic waste in the ocean to reach 1.29 million tonnes per year. (Hoegh-Guldberg et al., 2015).

Plastic waste have a major impact for the environment. Plastic has properties hard degraded (non-biodegradable) materials and plastics makers are generally made of Polychlorinated Biphenyl (PCB). Plastic is estimated to take 1000 years to be decomposes completely. Garbage plastic bags are piled up in landfills could contaminate the soil and groundwater that can harm human health (Karuniastuti, 2014).

Based on previous research and the background above, the utilization of waste plastics as a mixture of asphalt concrete into a strategic solution to do ongoing research. In this study, a layer of asphalt concrete that became the focus of research is on the asphalt layer of intermediaries or AC-BC (Asphalt – Concrete Binder Course). The specifications used are general specifications Binamarga revision 3 year 2010.

Constituent materials of asphalt concrete is aggregate and asphalt. The aggregate used consists of 4 types of aggregate size, namely 10-20, 10-10, 5-10 and 0-5 (stone grey). Asphalt asphalt is used with shell penetration 60/70. The stages in this study i.e., test materials, check specifications, testing KOA (levels of Optimal Asphalt), testing the addition of PET and marshall test results and analysis of its parameters. Mixing PET using a wet method by adding a PET during the heating of asphalt as well as make sure the PET and asphalt with homogenous. Testing KOA with the variation of levels of asphalt 5.5%, 6%, 7% and 6.5%. Variations in the levels of PET that is used that is 1%-8% with intervals of 1%. Any variation of the rate of PET conducted a test of making as many as 3 pieces. In this research analysis results include testing density, Void in Mix (VIM), Voids in Mineral Aggregate (VMA), Void in Filled With Asphalt (VFA), Marshall Stability, flow, Marshall Quotient.

Results from testing the levels of optimum asphalt (KAO), a percentage that meets the specifications of the binamarga,2010 is the rate of 5.5% asphalt and 6.0%. The value used is the KAO middle value of 5.5% and 6.0% 5.8% of is. Marshall test results as well as its parameters on the level of 5.8% is asphalt density = 2.44 grams/cc = 4.17%, VIM, VMA = 14.24%, VFA = 70.73% = 1632.7 Kg, stability, flow = 2.37 mm and marshall quotient = 697.91 Kg/mm.

Testing of asphalt plastic PET with 1%-8%, menghasilkan PET optimum levels of 3%. Marshall test results as well as its parameters at the rate of 3% is the optimum PET density = 2.42 gr/cc, VIM = 4.87% 14.87% =, VMA, VFA = 67.34% =

2286.6 Kg, stability, flow = 2.20 mm and marshall quotient = 1037.8 Kg/mm. Budget plan biaya with PET 3% is Rp. 930,478 (nett) per m³. While the mixture with a non PET is Rp. 955,678 (nett) per m³. Then with the addition of a PET can save us \$29,400 per m³ or 3% of the asphalt a non PET.

The addition of PET plastic waste of 3% with optimum asphalt 5.8% menghasilkan value stability higher than without the plastic as well as meet the requirements of binamarga,2010. In addition, it can help the Government in mencetah environmental pollution resulting from waste plastic as well as help the community make the plastic waste into items with economical.

Keyword : Keywords: plastic waste, asphalt, marshall test

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

KATA PENGANTAR

Bismillahirrohmanirrohim.

Dengan mengucapkan syukur Alhamdulillah kepada Allah SWT atas segala Rahmat dan Ridho-Nya yang diberikan kepada umat-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan Proposal Tugas Akhir yang berjudul “Pemanfaatan Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada Campuran AC-BC (*Asphalt Concrete-Binder Course*) sebagai Inovasi Eco-material”.

Tugas Akhir Terapan merupakan salah satu syarat akademik yang harus ditempuh mahasiswa untuk menyelesaikan pendidikan di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Tugas Akhir Terapan ini dapat tersusun dan terselesaikan berkat bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, untuk itu pada kesempatan ini kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu dalam penyusunan Tugas Akhir Terapan ini. Ucapan terima kasih kami sampaikan kepada yang terhormat:

1. Bapak Dr. Machsus., S.T., M.T selaku dosen pembimbing dalam Tugas Akhir Terapan ini.
2. Segenap Dosen dan Staf Pengajar pada program studi Diploma IV khususnya Tim Dosen Penelitian aspal plastik.
3. Orangtua dan keluarga kami yang telah memberi dorongan baik moral maupun materil yang tak terhingga, sehingga kami dapat menyelesaikan Tugas Akhir Terapan ini.
4. Rekan – rekan mahasiswa jurusan Departemen Teknik Infrastruktur Sipil ITS Surabaya khususnya kelas D-IV Lanjut Jenjang yang telah banyak membantu penyelesaian Tugas Akhir Terapan ini.

Surabaya, 20 Syawal 1439

Penulis

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
ABSTRACT	v
KATA PENGANTAR.....	ix
DAFTAR ISI.....	xi
DAFTAR TABEL.....	xv
DAFTAR GAMBAR	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Batasan Masalah.....	3
1.4 Tujuan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian.....	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	5
2.1 Pengertian LASTON (<i>Aspalth Concrete</i>).....	5
2.1.1 Pengertian Umum LASTON	5
2.1.2 Spesifikasi LASTON.....	5
2.2 Material Penyusun Campuran LASTON (<i>Aspalth Concrete</i>).....	6
2.2.1 Agregat Kasar.....	7
2.2.2 Agregat Kasar.....	7
2.2.3 Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	8
2.2.4 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan.....	8
2.2.5 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal.....	9
2.3 Perencanaan Kadar Aspal.....	10
2.4 Pengujian <i>Marshall</i>	11
2.5 Parameter Pengujian <i>Marshall</i>	11
2.5.1 <i>Density</i>	11
2.5.2 Rongga dalam Campuran / <i>Void In Mix</i> (VIM)...	12
2.5.3 Rongga dalam Agregat / <i>Void In Mineral Aggregate</i>	13
2.5.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal / <i>Void In Filled With Aspalth</i> (VFA).....	14
2.5.5 Stabilitas <i>Marshall</i>	15

2.5.6	Kelelahan (<i>Flow</i>)	15
2.5.7	<i>Marshall Quotient</i>	15
2.6	Penelitian Terdahulu.....	16
2.7	Hubungan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan.....	33
BAB III METODOLOGI PELAKSANAAN		35
3.1	Diagram Alur Penelitian.....	35
3.2	Tempat Penelitian	37
3.3	Persiapan Alat dan Bahan.....	37
3.4	Pengujian Material.....	38
3.5	Pencampuran Limbah Plastik.....	38
3.6	Pembuatan Benda Uji.....	38
3.7	Pengujian dengan Marshall	40
3.8	Pengelolaan dan Pembahasan Hasil	40
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN.....		41
4.1	Hasil Pegujian Material	41
4.1.1	Pengujian Aspal.....	41
4.1.2	Pengujian Agregat	41
4.2	<i>Blending</i> Agregat.....	48
4.3	Kadar Aspal Rencana	50
4.4	Variasi Kadar Aspal Rencana.....	53
4.5	Hasil Pengujian Aspal Rencana.....	56
4.6	Hasil Analisa Parameter Pengujian Marshall	58
4.6.1.	<i>Density</i>	58
4.6.2.	<i>Void In Mix</i> (VIM).....	59
4.6.3.	<i>Void In Material Agregat</i> (VMA).....	61
4.6.4.	<i>Void Filled Asphalt</i> (VFA)	62
4.6.5.	Stabilitas	64
4.6.6.	<i>Flow</i> (Kelelahan).....	65
4.6.7.	<i>Marshall Quotient</i> (MQ)	67
4.6.8.	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	68
4.7	Menghitung Variari Kadar Plastik.....	69
4.8	Hasil Pengujian Aspal Plastik.....	74
4.9	Hasil Analisa Parameter Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Plastik	77

4.9.1.	<i>Density</i>	77
4.9.2.	<i>Void In Mix (VIM)</i>	78
4.9.3.	<i>Void In Material Agregat (VMA)</i>	83
4.9.4.	<i>Void Filled Asphalt (VFA)</i>	84
4.9.5.	<i>Stabilitas</i>	86
4.9.6.	<i>Flow (Kelelahan)</i>	88
4.9.7.	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	90
4.9.8.	Menentukan Kadar Plastik Optimum	93
4.10	Rencana Anggaran Biaya (RAB)	95
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN		101
5.1	Kesimpulan.....	101
5.2	Saran.....	101
DAFTAR PUSTAKA		103
LAMPIRAN		105

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) Pasal 6.3.3. (1c)	6
Tabel 2. 3. Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Kasar Pasal 6.3.2.....	7
Tabel 2. 4. Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Halus Pasal 6.3.2.....	8
Tabel 2. 5. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2. ...	9
Tabel 2. 6. Spesifikasi bahan aspal pasal 6.3.2.	10
Tabel 3. 1. Variasi Campuran Pengujian KAO	39
Tabel 3. 2. Variasi Campuran Pengujian Aspal Plastik.....	39
Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	41
Tabel 4. 2 Hasil Analisa Saringan Agregat 10-20.....	42
Tabel 4. 3 Hasil Analisa Saringan Agregat 10-10.....	43
Tabel 4. 4 Hasil Analisa Saringan Agregat 5-10.....	44
Tabel 4. 5 Hasil Analisa Saringan Agregat 0-5.....	45
Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Fisik Agregat.....	46
Tabel 4. 7. Lanjutan Hasil Pengujian Fisik Agregat	47
Tabel 4. 8. Rekapitulasi Pengujian Fisik Agregat	47
Tabel 4. 9. Hasil Analisa Saringan Agregat	48
Tabel 4. 10. Lanjutan Hasil Analisa Saringan Agregat	49
Tabel 4. 11. Hasil <i>Blending</i> Agregat	49
Tabel 4. 12. Variasi 1 Proporsi KAO	54
Tabel 4. 13. Variasi 2 Proporsi KAO	54
Tabel 4. 14. Variasi 3 Proporsi KAO	55
Tabel 4. 15. Variasi 4 Proporsi KAO	55
Tabel 4. 16. Variasi 5 Proporsi KAO	56
Tabel 4. 17. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> KAO	56
Tabel 4. 18. Lanjutan Hasil Pengujian <i>Marshall</i> KAO	57
Tabel 4. 19. Berat Jenis Maksimum Agregat Gabungan.....	57
Tabel 4. 20. Hasil <i>Density</i> KAO.....	58
Tabel 4. 21. Hasil VIM KAO	60
Tabel 4. 22. Hasil VMA KAO	61
Tabel 4. 23. Hasil VFA KAO.....	63

Tabel 4. 24. Hasil Stabilitas KAO	64
Tabel 4. 25. Hasil <i>Flow</i> KAO.....	66
Tabel 4. 26. Hasil MQ KAO.....	67
Tabel 4. 27. Rekapitulasi Hasil Analisa Parameter <i>Marshall</i> KAO	68
Tabel 4. 28. Cek Rekapitulasi Hasil Analisa Perameter Marshall KAO	68
Tabel 4. 29. Penentuan Kadar Aspal Optimum	69
Tabel 4. 30. Variasi 1 Proporsi Aspal Plastik.....	70
Tabel 4. 31. Variasi 2 Proporsi Aspal Plastik.....	71
Tabel 4. 32. Variasi 3 Proporsi Aspal Plastik.....	71
Tabel 4. 33. Variasi 4 Proporsi Aspal Plastik.....	72
Tabel 4. 34. Variasi 5 Proporsi Aspal Plastik.....	72
Tabel 4. 35. Variasi 6 Proporsi Aspal Plastik.....	73
Tabel 4. 36. Variasi 7 Proporsi Aspal Plastik.....	73
Tabel 4. 37. Variasi 8 Proporsi Aspal Plastik.....	74
Tabel 4. 38. Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall.....	74
Tabel 4. 39. Lanjutan Pertama Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall.....	75
Tabel 4. 40. Lanjutan Kedua Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall	76
Tabel 4. 41. Berat Jenis Teori Maksimum Aspal Plastik	76
Tabel 4. 42. Hasil <i>Density</i> Aspal Plastik	77
Tabel 4. 43. Hasil VIM Aspal Plastik.....	79
Tabel 4. 44. <i>Density</i> SSD Aspal Plastik	81
Tabel 4. 45. Hasil VIM Aspal Plastik dengan <i>Density</i> SSD.....	82
Tabel 4. 46. Hasil VMA Aspal Plastik	83
Tabel 4. 47. Hasil VFA Aspal Plastik	85
Tabel 4. 48. Hasil Stabilitas Aspal Plastik.....	87
Tabel 4. 49. Hasil <i>Flow</i> Aspal Plastik	89
Tabel 4. 50. Hasil MQ Aspal Plastik.....	91
Tabel 4. 51. Rekapitulasi Analisa Parameter Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Plastik.....	93
Tabel 4. 52. Cek Rekapitulasi Analisa Parameter Pengujian <i>Marshall</i> Aspal Plastik	94

Tabel 4. 53. Berat Campuran per m ³ Non Plastik.....	95
Tabel 4. 54. RAB per m ³ Aspal Non Plastik	95
Tabel 4. 55. Lanjutan RAB per m ³ Aspal Non Plastik.....	96
Tabel 4. 56. Berat Campuran per m ³ Non Plastik.....	96
Tabel 4. 57. RAB per m ³ Aspal Plastik	96
Tabel 4. 58. RAB per m ³ Aspal Plastik limbah.....	97
Tabel 4. 59. RAB per m ³ Aspal Plastik (50% limbah, 50% biaya oprasional).....	98
Tabel 4. 60. RAB 1 benda Uji Non Plastik	99
Tabel 4. 61. RAB 1 benda Uji Aspal Plastik.....	99

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1. Negara dengan Limbah Plastik Terbesar di Laut	1
Gambar 2. 1. Hubungan antara <i>Density</i> dan kadar aspal.....	17
Gambar 2. 2. berat jenis campuran aspal dengan kadar plastik...	18
Gambar 2. 3. Grafik Hubungan Nilai <i>Density</i> dengan Kadar Aspal	18
Gambar 2. 4. Hubungan penggunaan variasi <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) terhadap nilai VIM ditinjau berdasarkan nilai KAO	19
Gambar 2. 5. Grafik Nilai VIM akibat penambahan PET	20
Gambar 2. 6. Hubungan antara VIM terhadap kao 6,25 % dengan penambahan PET.....	21
Gambar 2. 7. Hubungan antara variasi <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) terhadap VMA ditinjau berdasarkan nilai KAO.....	22
Gambar 2. 8. Grafik Nilai VMA Akibat Penambahan PET	23
Gambar 2. 9. Hubungan Rongga dalam Agregat dengan Kadar Aspal.....	23
Gambar 2. 10. Hubungan antara variasi <i>Poly Etylene Terephthalate</i> (PET) terhadap VFA ditinjau berdasarkan nilai KAO	25
Gambar 2. 11. Grafik Nilai VFA Akibat Penambahan PET.	26
Gambar 2. 13. Grafik Nilai stabilitas akibat penambahan PET...28	28
Gambar 2. 15. Hubungan Antara Stabilitas Dan Kadar Aspal	28
Gambar 2. 16. Hubungan penggunaan variasi <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) terhadap nilai flow ditinjau berdasarkan nilai KAO	30
Gambar 2. 17. Grafik Nilai Flow Akibat Penambahan PET	31
Gambar 2. 18. Hubungan antara variasi <i>Polyethylene Terephthalate</i> (PET) terhadap <i>Marshall Quoetient</i> ditinjau berdasarkan nilai KAO	32
Gambar 2. 19. Grafik Nilai MQ akibat penambahan PET	33
Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian.....	37
Gambar 4. 1. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10-20 ...	42
Gambar 4. 2. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10-10 ...	43
Gambar 4. 3. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 5-10	44

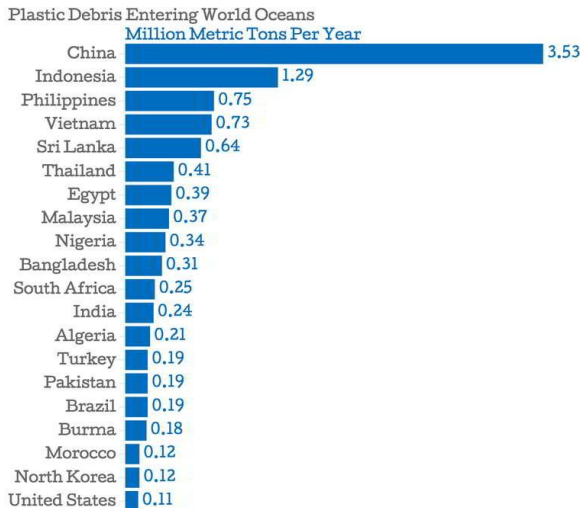
Gambar 4. 4. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 0-5	45
Gambar 4. 5 Hasil Grafik <i>Blending</i> Agregat	50
Gambar 4. 6. Grafik <i>Density</i> KAO	59
Gambar 4. 7. Grafik VIM KAO	60
Gambar 4. 8. Gambar VMA KAO	62
Gambar 4. 9. Grafik VFA KAO	63
Gambar 4. 10. Grafik Stabilitas KAO	65
Gambar 4. 11. Grafik <i>Flow</i> KAO	66
Gambar 4. 12. Grafik MQ KAO	67
Gambar 4. 13. Grafik <i>Density</i> Aspal Plastik.....	78
Gambar 4. 14. Grafik VIM Aspal Plastik.....	80
Gambar 4. 15. Grafik VIM Aspal Plastik dengan <i>Density</i> SSD..	82
Gambar 4. 16. Gambar VMA Aspal Plastik.....	84
Gambar 4. 17. Grafik VFA Aspal Plastik.....	86
Gambar 4. 18. Grafik Stabilitas Aspal Plastik.....	87
Gambar 4. 19. Grafik <i>Flow</i> Aspal Plastik	89
Gambar 4. 20. Grafik MQ Aspal Plastik	91

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Indonesia memiliki luas darat sebesar 1,905 Juta km² dengan luas jalan raya sebesar 600 ribu km (BPS,2016). Artinya indonesia hanya memiliki 6,35% jalan raya dari total luas daratan. Negara-negara maju rata-rata memiliki luas jalan lebih besar dari 10% dibanding dengan total luas daratan. Hal ini mendorong pemerintah terus melakukan pembangunan infrastruktur jalan. Disisi lain, Indonesia berada diposisi ke-2 di dunia dengan jumlah sampah plastik di laut yang mencapai 1,29 juta ton per tahun. (Hoegh-Guldberg et al., 2015).



Gambar 1. 1. Negara dengan Limbah Plastik Terbesar di Laut

Plastik memiliki sifat sulit terdegradasi (*non-biodegradable*) dan bahan pembuat plastik umumnya terbuat dari *Polychlorinated Biphenyl* (PCB). Plastik diperkirakan membutuhkan waktu 1000 tahun agar dapat terdekomposisi dengan sempurna. Sampah kantong plastik yang ditimbun di tempat pembuangan akhir dapat

mencemari tanah dan air tanah sehingga dapat membahayakan kesehatan manusia (Karuniastuti, 2014).

Dampak limbah plastik menjadi permasalahan serius dalam pencemaran lingkungan. Hal ini mendorong kementerian PUPR melalui badan penelitian dan pengembangan (Balitbang) melakukan penelitian pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal. Hasil penelitian tersebut telah dilakukan uji coba dengan mencoba aspal dengan campuran plastik sepanjang 700 meter di Universitas Udayana Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran aspal merupakan inovasi teknologi *eco-material* sebagai solusi pencemaran lingkungan.

Jenis-jenis plastik berdasarkan kandungannya yaitu PET (*Polyethylene Terephthalate*), HDPE (*High Density Polyethylene*), PVC (*Polyvinyl Chloride*), LDPE (*Low Density Polyethylen*), PP (*Polypropylene*), PS (*Polystyrene*). Perbedaan jenis mempengaruhi karakteristik plastik seperti titik leleh plastik, ketahanan plastik dan komposisi kimia pada plastik (Karuniastuti, 2014).

Salah satu jenis lapis perkerasan lentur yang digunakan di Indonesia adalah LASTON (Lapis Aspal Beton). Berdasarkan fungsinya Lapisan Aspal Beton (*Aspalth Concrete*) terdiri dari AC-Base (*Aspalth Concrete - Base*), AC-BC (*Aspalth Concrete - Binder Course*), AC-WC (*Aspalth Concrete - Wearing Course*) (Purnamasari & Suryaman, 2010). Lapis Aspal Beton (LASTON) merupakan suatu lapisan pada konstruksi perkerasan lentur yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar, dan dipampatkan dalam keadaan panas dengan suhu tertentu. Kekuatan mekanik campuran ini didapat dari *internal friction* (gesekan) yang dipengaruhi oleh sifat fisik agregat, baik bentuk butirannya maupun tekstur permukaan (kekasaran batuan) sehingga nilai stabilitasnya tinggi (Purnamasari & Suryaman, 2010).

Berdasarkan uraian diatas, pertumbuhan infrastruktur jalan yang terus meningkat, maka suplai kebutuhan campuran aspal terus meningkat. Disisi lain, limbah plastik terus mengalami peningkatan setiap tahunnya. Oleh karena itu, dibutuhkan

penelitian berkelanjutan terhadap inovasi *eco-material* penyusul lapisan aspal beton. Adapun judul penelitian yang direncanakan adalah **“Pemanfaatan Limbah Plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada Campuran AC-BC (*Asphalt Concrete – Binder Course*) Sebagai Inovasi *Eco-material*”**.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun perumusan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Bagaimana rancangan proporsi campuran AC-BC dengan tambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) ?
2. Bagaimana menganalisa dan mengevaluasi hasil proporsi campuran AC- BC dengan tambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*)?
3. Bagaimana perbandingan harga AC-BC dengan campuran plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan AC – BC normal ?

1.3 Batasan Masalah

Adapun batasan masalah dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Jenis perkerasan berupa Lapisan Aspal Beton (LASTON) tipe AC-BC.
2. Jenis botol plastik yang digunakan tipe 1 (*Polyethylene Terephthalate*)
3. Jenis aspal dengan penetrasi 60/70.
4. Gradasi agregat campuran yang digunakan adalah tipe IV
5. Kadar penambahan plastik dengan variasi 1% - 8% (interval 1) dari berat kadar optimal aspal (KOA).
6. Variasi kadar optimal aspal (KOA) sebesar 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% dari berat agregat.
7. Tidak membahas kandungan unsur kimia yang terkandung dalam bahan-bahan penelitian dan reaksi kimia yang terjadi pada campuran akibat penggunaan plastik dan aspal.

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dalam penelitian ini sebagai berikut:

1. Mengetahui proporsi optimum campuran AC-BC dengan tambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
2. Mengetahui hasil analisa dan evaluasi campuran AC- BC dengan tambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
3. Mengetahui perbandingan harga campuran AC –BC dengan campuran plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan AC – WC normal.

1.5 Manfaat Penelitian

Adapun manfaat dalam penelitian sebagai berikut :

1. Memperoleh proporsi optimum penggunaan kadar plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*) pada campuran AC – BC.
2. Memperoleh hasil analisa dan evaluasi campuran AC –BC dengan tambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
3. Memperoleh hasil perbandingan harga campuran AC – BC dengan tanpa penambahan dan penambahan plastik PET (*Polyethylene Terephthalate*).
4. Membantu pemerintah dalam memberi solusi permasalahan pencemaran lingkungan akibat limbah plastik.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Pengertian LASTON (*Asphalt Concrete*)

2.1.1 Pengertian Umum LASTON

Lapis aspal beton (LASTON) adalah lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus (*well graded*) dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Jenis agregat yang digunakan terdiri dari agregat kasar, agregat halus dan filler, sedangkan aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat untuk lapis aspal beton harus terdiri dari salah satu aspal keras penetrasi 40/50, 60/70 dan 80/100 yang seragam, tidak mengandung air bila dipanaskan sampai suhu 175°C tidak berbusa dan memenuhi persyaratan sesuai dengan yang ditetapkan.

Berdasarkan fungsinya LASTON (*Asphalt Concrete*) dapat di klasifikasikan sebagai berikut (kimpraswil, 2002):

- a. Sebagai lapisan permukaan (Lapisan aus) yang tahan terhadap cuaca, gaya geser dan tekanan roda serta memberikan lapisan kedap air yang dapat melindungi lapisan dibawahnya dari rembesan air dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)*.
- b. Sebagai lapisan pengikat atau lapisan antara dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)*.
- c. Sebagai lapisan pondasi, jika dipergunakan pada pekerjaan peningkatan atau pemeliharaan jalan, dikenal dengan nama *Asphalt Concrete – Base (AC-Base)*.

2.1.2 Spesifikasi LASTON

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), Divisi 6 Tabel 6.3.3. (1c), adapun ketentuan sifat-sifat campuran laston sebagai berikut :

Tabel 2. 1. Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston (AC) Pasal 6.3.3. (1c)

Sifat – sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3.0		
	Maks.	5.0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas Marshall (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas Marshall Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 ⁰ C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada Kepadatan membal (refusal)	Min.	2		

2.2 Material Penyusun Campuran LASTON (*Asphalt Concrete*)

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 1, adapun ketentuan-ketentuan pemilihan agregat sebagai berikut :

- Agregat yang akan digunakan dalam pekerjaan harus sedemikian rupa agar campuran beraspal sesuai dengan syarat-syarat spesifikasi campuran LASTON.
- Penyerapan air oleh agregat maksimal 3%.
- Berat jenis (Specific Gravity) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda lebih dari 0,2.

2.2.1 Agregat Kasar

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 2, adapun syarat-syarat penerimaan agregat kasar sebagai berikut :

Tabel 2. 2. Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Kasar Pasal 6.3.2.

Pengujian		Standar	Nilai	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%	
	Magnesium sulfat		Maks. 18%	
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i> ¹⁾	Campuran AC Modifikasi	100 Putaran	Maks. 6%	
		500 Putaran	Maks. 30%	
	Semua Jenis Campuran Aspal Bergradasi Lainnya	100 Putaran	SNI 2417:2008	Maks. 8%
		500 Putaran		Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90 [*])	
Partikel pipih dan lonjong		ASTM D4791 Perbandingan 1:5	Maks. 10%	
Material lolos ayakan No. 200		SNI 03-4142-1996	Maks. 2%	

2.2.2 Agregat Kasar

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 3, adapun syarat-syarat penerimaan agregat halus sebagai berikut :

Tabel 2. 3. Ketentuan Spesifikasi Penerimaan Agregat Halus Pasal 6.3.2.

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	ASTM C117:2012	Maks. 10%

2.2.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 4, adapun syarat-syarat penerimaan bahan pengisi (*Filler*) sebagai berikut :

- a. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) terdiri atas debu batu kapur (limestone dust, *Calcium Carbonate*, CaCO₃), atau debu kapur padam yang sesuai dengan AASHTO M303-89 (2006).
- b. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai ASTM C136:2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
- c. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) min.1% dari berat total agregat.

2.2.4 Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 5, Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam table 2.5 rancangan dan perbandingan

campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam table 2.5.

Tabel 2. 4. Spesifikasi Gradasi Agregat Gabungan Pasal 6.3.2.

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat dalam Campuran						
	Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang				
	WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base
37,5							100
25						100	90-100
19	100	100	100	100	100	90-100	76-90
12,5	90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78
9,5	75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71
4,75					53-69	46-64	35-54
2,36	50-72	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41
1,18					21-40	18-38	13-30
0,600	35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22
0,300			15-35	5-35	9-22	7-20	6-15
0,150					6-15	5-13	4-10
0,075	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7

2.2.5 Bahan Aspal untuk Campuran Beraspal

Berdasarkan (PU Bina Marga, 2010), spesifikasi umum (Revisi 3), pasal 6.3.2 ayat 6, spesifikasi bahan aspal yang dapat digunakan sebagai berikut:

Tabel 2. 5. Spesifikasi bahan aspal pasal 6.3.2.

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal yang Dimodifikasi	
				A	C
				Asbuton yg diproses	Elastomer Sintetis
1.	Penetrasi pada 25 ⁰ C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70	Min. 50	Min. 40
2.	Viskositas Dinamis 60°C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160-240	240-360	320-480
3.	Viskositas 135 ⁰ C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥ 300	385-2000	≤3000
4.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	≥53	≥54
5.	Daktalitas pada 25 ⁰ C, (cm)	SNI 2434:2011	≥100	≥100	≥100
6.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232	≥232	≥232
7.	Kelarutan dlm Toluene (%)	AASTHO T44-03	≥99	≥90	≥99
8.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1.0	≥1.0	≥1.0
9.	Stabilitas Penyimpanan (°C)	ASTM D 5976 part 6.1		≤2.2	≤2.2
10	Partikel yang lebih halus dari 140 micron (µm) (%)			Min. 95	

2.3 Perencanaan Kadar Aspal

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) (kimpraswil, 2002), berdasarkan rumus empiris pada pers. 2.1. berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\% FF) + \text{Konstanta}$$

Pers. 2. 1.

Dimana ,

P_b : Kadar aspal tengah atau ideal, (persen terhadap berat campuran)

CA : Persen agregat tertahan saringan No.8

FA : Persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

FF : (*filler*), Persen agregat minimal 75% lolos saringan No.200

K : Nilai konstanta
(untuk nilai konstanta digunakan ± 0.5 untuk Laston)

2.4 Pengujian *Marshall*

Rancangan campuran berdasarkan metode *Marshall* ditemukan oleh Bruce Marshall. Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur daya tahan (stabilitas) campuran gregat dan aspal terhadap kelelahan plastis (*flow*). *Flow* didefinisikan sebagai perubahan deformasi atau regangan suatu campuran mulai dari tanpa beban, sampai beban maksimum. Alat *marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan *Proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flowmeter*. *Proving ring* digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flow meter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *marshall* standar berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,16 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm).

2.5 Parameter Pengujian *Marshall*

2.5.1 *Density*

Menurut Roberts, F.L. (1991) bahwa, jika nilai kadar aspal naik maka *density* ikut naik sampai mencapai puncak kemudian akan turun. Puncak kemampatan biasanya bersamaan dengan kadar aspal optimum dan stabilitas puncak. Sebenarnya kemampatan yang didapat selama pemadatan di laboratorium tidak begitu penting. Hal yang utama adalah kedekatan antara kemampatan yang diperoleh di laboratorium dengan

kemampatan yang diperoleh di lapangan setelah beberapa tahun dibebani oleh lalu lintas. Kemampatan yang tinggi akan menghasilkan kemampuan untuk menahan beban yang tinggi pula serta kekedapan terhadap air dan udara yang tinggi.

Kepadatan adalah tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Kepadatan (*density*) adalah berat campuran pada setiap satuan volume. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai kepadatan yaitu kadar aspal, gradasi agregat, berat jenis agregat, dan proses pemadatan yang meliputi suhu dan jumlah tumbukan. Campuran yang mempunyai nilai kepadatan baik mampu menahan beban yang lebih besar jika dibandingkan dengan campuran yang memiliki kepadatan rendah.

2.5.2 Rongga dalam Campuran / *Void In Mix* (VIM)

Pengertian *Void In Mix* (VIM) adalah volume total udara yang berada di antara partikel agregat yang terselimuti aspal dalam suatu campuran yang telah dipadatkan, dan dinyatakan dalam persen volume *bulk* (Puslit bang,2000). *Void In Mix* atau disebut juga rongga dalam campuran digunakan untuk mengetahui besarnya rongga campuran dalam persen. Rongga udara yang dihasilkan ditentukan oleh susunan partikel agregat dalam campuran serta ketidak seragaman bentuk agregat. Rongga udara merupakan indikator durabilitasnya campuran beraspal sedemikian sehingga rongga tidak terlalu kecil atau terlalu besar. Rongga udara dalam campuran yang terlalu kecil dapat menimbulkan *bleeding*. Semakin kecil rongga udara maka campuran beraspal akan maki kedap terhadap air, tetapi udara tidak dapat masuk kedalam lapisan beraspal sehingga aspal menjadi rapuh dan getas. Semakin besar rongga udara dan kadar aspal yang rendah akan mengakibatkan kelelahan lebih cepat.

Persamaan VIM :

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{\text{Gmm} - \text{Gmb}}{\text{Gmm}}$$

Pers. 2. 2.

Keterangan :

VIM	:Rongga udara dalam campuran, persen total campuran.(%)
Gmm	:Berat jenis maksimum campuran, rongga udara 0. (gr/cm ³)
Gmb	:Berat jenis <i>bulk</i> campuran padat (gr/cm ³)

Untuk nilai syarat persen VIM ditentukan berdasarkan jenis lapisan permukaan yang dipilih misalnya untuk lapisan *Asphalt Concrete* (AC) atau biasa dikenal dengan aspal beton nilainya antara 3,5-5 % persyaratan ini berdasarkan Bina Marga tahun, 2010.

2.5.3 Rongga dalam Agregat / *Void In Mineral Aggregate*

Pengertian rongga dalam mineral / *void in mineral aggregate* (VMA) adalah rongga antar butiran agregat dalam campuran aspal yang sudah dipadatkan serta aspal efektif yang dinyatakan dalam presentase volume total campuran. Agregat bergradasi menerus memberikan rongga antar butiran VMA yang kecil dan menghasilkan stabilitas yang tinggi tetapi membutuhkan kadar aspal yang rendah untuk mengikat agregat. VMA yang kecil menyebabkan aspal menyelimuti agregat terbatas, sehingga menyebabkan terjadinya kerusakan. Nilai VMA akan meningkat seiring dengan bertambahnya selimut aspal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka.

Pengetian VMA berdasarkan Puslitbang, 2000 adalah volume rongga yang terdapat di anatara partikel agregat suatu campuran yang telah dipadatkan, yang dinyatakan dalam persen terhadap volume total benda uji.

Persamaan VMA :

$$VMA = 100 - \frac{Gmb}{Gsb} \times \frac{100}{(100+pb)} \times 100 \quad \text{Pers. 2. 3.}$$

Keterangan :

VMA : Rongga diantara mineral agregat, persen volume *bulk*

Gsb : Berat jenis *bulk* agregat (gr/cm³)

Gmb : Berat jenis *bulk* campuran padat (gr/cm³)

Pb : Kadar aspal persen terhadap berat total campuran (%)

Untuk nilai VMA ini dapat divisualkan dengan kondisi bejana tabung transparan yang diisi dengan agregat dengan ukuran 12,5 mm sampai dengan 4,75 mm, kemudian dilanjutkan dengan pengisian agregat halus saringan dibawah 4,75 mm sampai dengan saringan 0,0075 mm berupa agregat halus dan abu batu dan juga *filler*. Dari pencampuran tersebut akan terciptanya rongga-rongga antar mineral yang tidak terisi. Rongga tersebutlah yang disebut dengan rongga antara butiran agregat dalam campuran. Untuk mengetahui VMA dalam campuran secara visual sulit dilakukan karena telah terjadinya proses pencampuran, sehingga hanya bisa dihitung dengan menggunakan persamaan mencari nilai VMA. Untuk syarat spesifikasi yang di syaratkan Bina Marga 2010 nilai VMA minimal adalah 15%.

2.5.4 Rongga Terisi Campuran Beraspal / *Void In Filled With Aspalth* (VFA)

Menurut Puslitbang, 2000 pengertian VFA adalah bagian dari rongga yang berada diantara mineral agregat (VMA) yang terisis aspal efektif dinyatakan dalam persen.

Dan secara umum menurut Silvia Sukirman, 1999 Rongga terisis campuran aspal adalah persen rongga yang terdapat diantara partikel agregat VMA yang terisi oleh aspal, tetapi tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk mendapatkan nilai VFA ditentukan persamaan berikut :

Persamaan VFA :

$$\text{VFA} = \frac{100(\text{VMA}-\text{VIM})}{\text{Gmm}}$$

Pers. 2. 4.

Keterangan :

- VFA : Rongga terisi aspal (%)
 VMA : Rongga diantara mineral (%)
 VIM : Rongga udara campuran, persen total campuran (%)
 Gmm : Berat jenis maksimum campuran.

Untuk nilai VFA yang disyaratkan oleh Bina Marga tahun 2010 minimum adalah 65%.

2.5.5 Stabilitas *Marshall*

Menurut *The Asphalt Institute*, Mudianto (2004), Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal untuk menahan deformasi akibat beban yang bekerja tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang, alur ataupun *bleeding* yang dinyatakan dalam satuan kg atau lb. Nilai stabilitas diperoleh dari hasil pembacaan langsung pada alat *Marshall Test* sewaktu melakukan pengujian *Marshall*. Nilai stabilitas yang terlalu tinggi akan menghasilkan perkerasan yang terlalu kaku sehingga tingkat keawetannya berkurang.

2.5.6 Kelelahan (*Flow*)

Seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas, nilai *flow* merupakan nilai dari masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial (dalam satuan mm) pada saat melakukan pengujian *Marshall*. Suatu campuran yang memiliki kelelahan yang rendah akan lebih kaku dan cenderung untuk mengalami retak dini pada usia pelayanannya, sedangkan nilai kelelahan yang tinggi mengindikasikan campuran bersifat plastis.

2.5.7 *Marshall Quotient*

Marshall Quotient merupakan hasil perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Semakin tinggi MQ, maka akan semakin tinggi kekakuan suatu campuran dan semakin

rentan campuran tersebut terhadap keretakan. Berikut ini persamaan untuk nilai MQ :

Persamaan *Marshall Quotient* :

$$MQ = \frac{S}{F} \qquad \text{Pers. 2. 5.}$$

Keterangan:

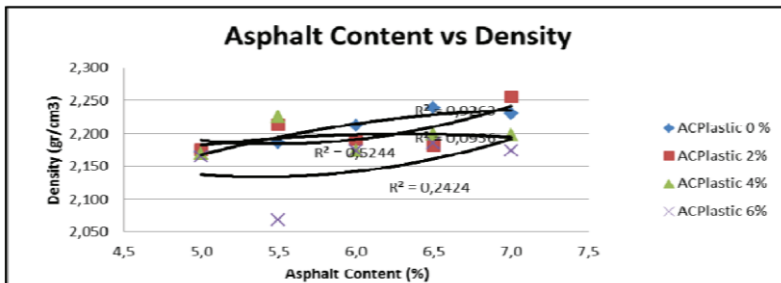
MQ	: Marshall Quotient (kg/mm).
S	: Nilai stabilitas terkoreksi (kg).
F	: Nilai flow (mm).

2.6 Penelitian Terdahulu

Penelitian pemanfaatan limbah plastik PET sebagai material pengganti aspal telah banyak di lakukan sebelumnya. Adapun hasil penelitian-penelitian tersebut akan di bahas berdasarkan parameter analisa pengujian marsahall.

1. *Density* (Kerapatan)

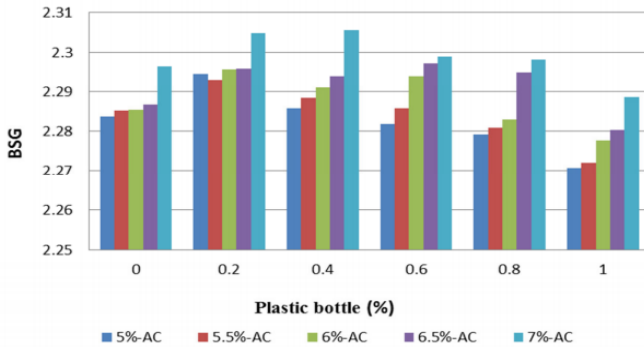
- Berdasrkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Widojoko & Purnamasari, 2012), menunjukkan kepadatan campuran aspal beton tanpa adiktif lebih tinggi daripada campuran aspal beton dengan tambahan adiktif yaitu limbah plastik PET. Hal ini disebabkan ketika plastik dicampur dengan agregat panas pada suhu 170 ° C, plastik tidak sempurna meleleh, plastik menjadi kriting atau seperti serat melengkung halus. Penambahan plastik yang masih berbentuk serat halus menyebabkan peningkatan rongga pada campuran. Penambahan kandungan aspal, nilai kerapatan meningkat, Hal ini disebabkan aspal bebas dalam campuran bertambah, sehingga rongga antar agregat dapat terisi aspal akin bertambah dan mengakibatkan campuran menjadi lebih pampat.



Gambar 2. 1. Hubungan antara *Density* dan kadar aspal

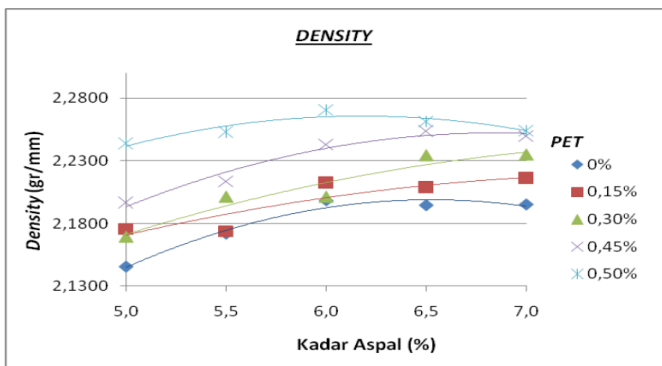
menunjukkan garis grafik dari nilai kerapatan 2% dan penambahan plastik 4% yang memiliki hasil hampir sama, namun lebih rendah daripada tanpa plastik, sedangkan penambahan plastik 6%, kerapatannya mengalami penurunan yang signifikan. Nilai densitas tertinggi campuran adalah 2,25 gr / cm³ dengan kadar aspal 7% tanpa penambahan plastik, sedangkan nilai kerapatan terendah menghasilkan 2,06 gr / cm³ pada kadar aspal 5,5% dan kadar plastik aspal 6%.

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Moghaddam, Karim, & Soltani, 2013), berat jenis campuran aspal mengalami peningkatan saat penambahan plastik. Kadar plastik 0,4% merupakan kadar optimal. Nilai kepadatan tertinggi pada kadar plastik 0,4% dan 7% kadar aspal.



Gambar 2. 2. berat jenis campuran aspal dengan kadar plastik

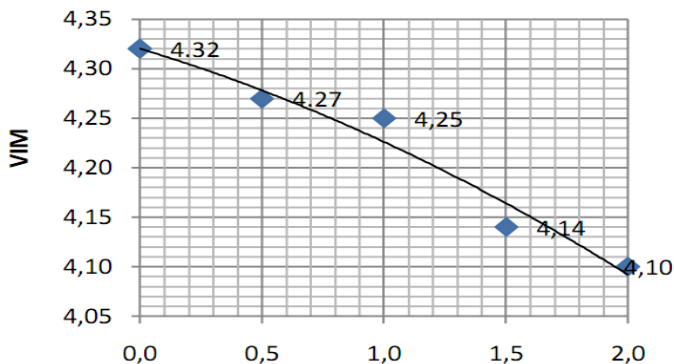
- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Soandrijanie, Leo, & Triantoro, 2014), Nilai density campuran Lapis Tipis Aspal Beton (Lataston) dengan *Polyethylene Perekphthalate* (PET) cenderung mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini menunjukkan bahwa *Polyethylene Perekphthalate* (PET) dapat bercampur aspal dengan baik. Penambahan *Polyethylene Perekphthalate* (PET) juga memudahkan bahan susun mengisi rongga dalam campuran sehingga campuran semakin pampat yang berakibat tingkat kepadatan/density semakin meningkat.



Gambar 2. 3. Grafik Hubungan Nilai Density dengan Kadar Aspal

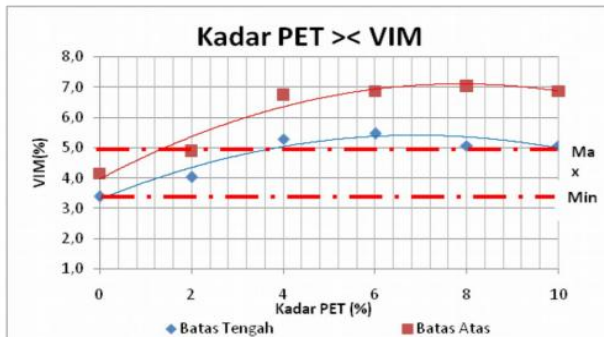
2. Rongga dalam Campuran / *Void In Mix* (VIM)

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti, Nasrul, & Balaka, 2015), ketika belum dilakukan penambahan polimer dalam campuran AC – BC nilai VIM Sebesar 4,23 namun setelah ada variasi penambahan Polyetylene Terephalate (PET) ke dalam campuran AC – BC, nilai VIM menurun. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan Poly Etylene Terephalate (PET) dalam campuran AC – BC maka nilai Rongga Dalam Campuran (VIM) menjadi lebih kecil. Bertambah-kecilnya nilai VIM ini bersifat baik bagi campuran namun tetap ada batasan minimal penurunannya. Semakin banyak penambahan *Polyethylene Terephalate* (PET) dan aspal dalam campuran juga dapat menurunkan nilai VIM. Hal ini disebabkan karena Terephalate (PET) dan aspal dapat tercampur dengan baik dan turut mengisi rongga – rongga dalam campuran yang mengakibatkan rongga dalam campuran berkurang.



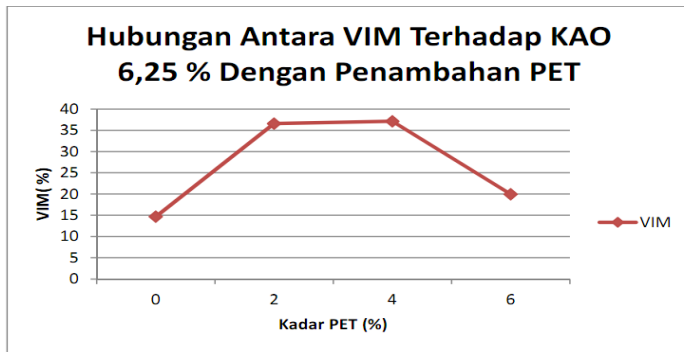
Gambar 2. 4. Hubungan penggunaan variasi *Polyethylene Terephalate* (PET) terhadap nilai VIM ditinjau berdasarkan nilai KAO

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari, Pratomo, & Herianto, 2016), Nilai VIM yang memenuhi standar adalah pada penambahan kadar PET 2% untuk kelompok benda uji batas tengah dan batas atas. Semakin besar persen kadar VIM menunjukkan semakin rendah kekuatan campuran aspal tersebut. Hal ini dikarenakan rongga udara tersebut membuat lapisan aspal melemah karena rongga yang tercipta akan terisi udara ataupun air, kedua hal tersebut membuat daya rekat antar partikel agregat melemah. Sehingga semakin besar rongga pada campuran akan memperpendek umur campuran beraspal.



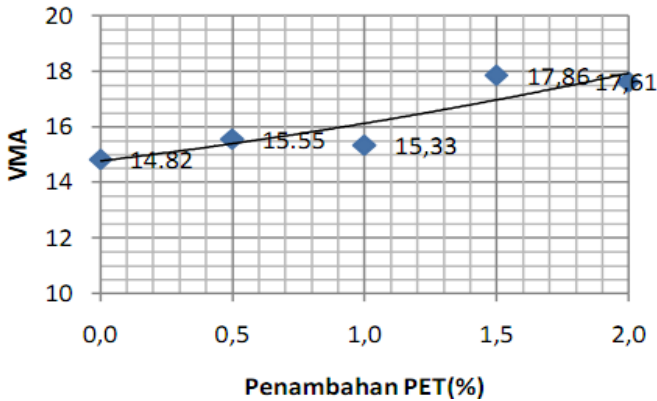
Gambar 2. 5. Grafik Nilai VIM akibat penambahan PET

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Widodo et al., 2014), Nilai VIM tertinggi pada Laston-WC campuran PET 4 % dengan kadar aspal optimum 6,25 % sebesar 37,107 % dan nilai terendah terdapat pada Laston WC campuran PET 0 % dengan kadar aspal optimum 6,25 % sebesar 14,652 %. Dari perhitungan di atas, nilai VIM pada campuran laston yang tidak menggunakan PET akan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan campuran laston yang menggunakan PET.



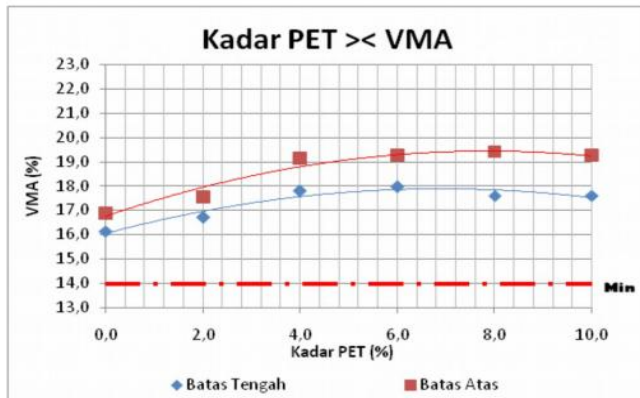
Gambar 2. 6. Hubungan antara VIM terhadap kao 6,25 % dengan penambahan PET

3. Rongga dalam Agregat / *Void In Mineral Aggregate (VMA)*
 - Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti et al., 2015), ketika belum dilakukan penambahan *Polyethylene Terephalate (PET)* dalam campuran AC – BC, nilai VMA yang diperoleh sebesar 15,36, namun setelah ada variasi penambahan *Polyethylene Terephalate (PET)*, nilai VMA mengalami peningkatan. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan *Polyethylene Terephalate (PET)* dalam campuran AC – BC maka nilai rongga diantara agregat (VMA) menjadi semakin besar. Dengan bertambahnya kadar aspal maupun kadar *Polyethylene Terephalate (PET)*, nilai VMA semakin meningkat.



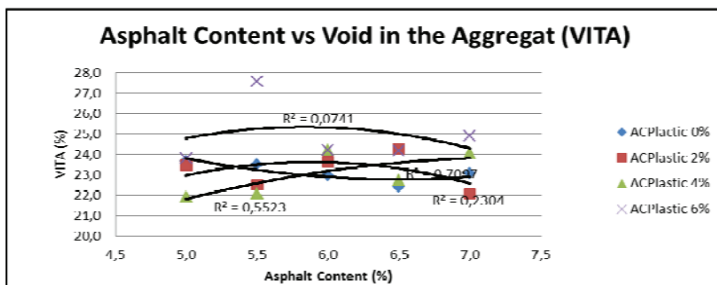
Gambar 2. 7. Hubungan antara variasi *Polyethylene Terephalate* (PET) terhadap VMA ditinjau berdasarkan nilai KAO

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), kelompok benda uji batas tengah maupun kelompok benda uji batas atas telah memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu nilai VMA minimum sebesar 14%. Dan terlihat dari garis grafik semakin bertambah kadar PET maka semakin meningkat nilai VMA nya. Nilai VMA ini juga sama menentukannya seperti nilai VIM faktor yang mempengaruhinya pun sama seperti nilai VIM.



Gambar 2. 8. Grafik Nilai VMA Akibat Penambahan PET

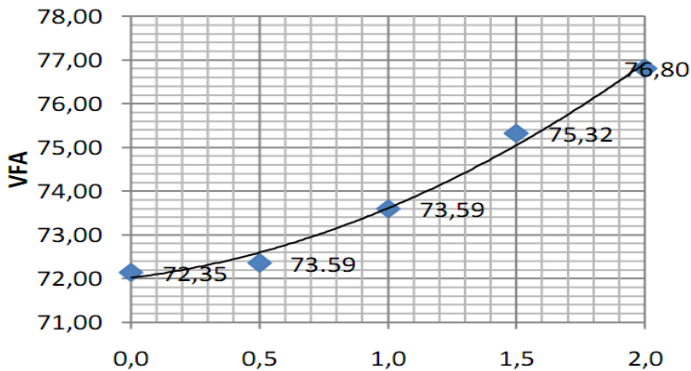
- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Widojoko & Purnamasari, 2012), campuran tanpa plastik mengalami naik turun, dengan penambahan kadar aspal, antara butir agregat kerapatannya mengalami peningkatan. Jika aspal ditambahkan setelah mencapai kandungan aspal optimum, maka kelebihan aspal menyebabkan jarak antar agregat meningkat. Ini telah meningkatkan kekosongan secara keseluruhan. Akibatnya, VITA juga meningkat.



Gambar 2. 9. Hubungan Rongga dalam Agregat dengan Kadar Aspal

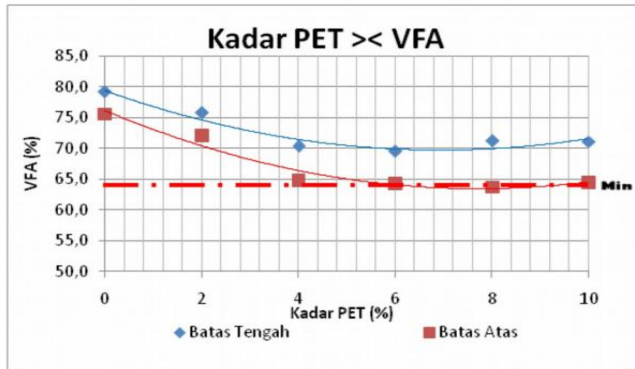
Dengan penambahan plastik, grafik mengalami perubahan. Hal ini disebabkan adanya serat halus plastik dan sifat aspal yang ditingkatkan pada campuran. Akibatnya tingkat plastis yang lebih tinggi, semakin tinggi juga nilai VITA. Penambahan plastik pada 2% dan 4%, nilai VITA hampir sama, namun lebih tinggi dari pada tanpa plastik. Sedangkan penambahan plastik sebesar 6%, ternyata secara signifikan meningkatkan VITA. Uji laboratorium menunjukkan nilai tertinggi VITA dalam campuran dengan kadar aspal 5,5% dan kadar plastik 6% sebesar 27,6%. Sedangkan nilai VITA terendah adalah 21,9% pada campuran dengan kadar aspal 5% dan penambahan plastik 4%.

4. Rongga Terisi Campuran Beraspal / *Void In Filled With Aspalth* (VFA)
 - Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti et al., 2015), dijelaskan bahwa ketika belum dilakukan penambahan *Polyetylene Terephalate* (PET) dalam campuran AC – BC nilai VFA Sebesar 73,33 namun setelah ada variasi Poly Etylene Terephalate (PET) ke dalam campuran AC – BC, nilai VFA meningkat sampai pada nilai 76,80. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan Poly Etylene Terephalate (PET) dalam campuran AC – BC maka akan semakin memperbesar nilai VFA didalam campuran yang membuat campuran semakin padat sehingga bersifat baik bagi campuran.



Gambar 2. 10. Hubungan antara variasi *Poly Etylene Terephalate* (PET) terhadap VFA ditinjau berdasarkan nilai KAO

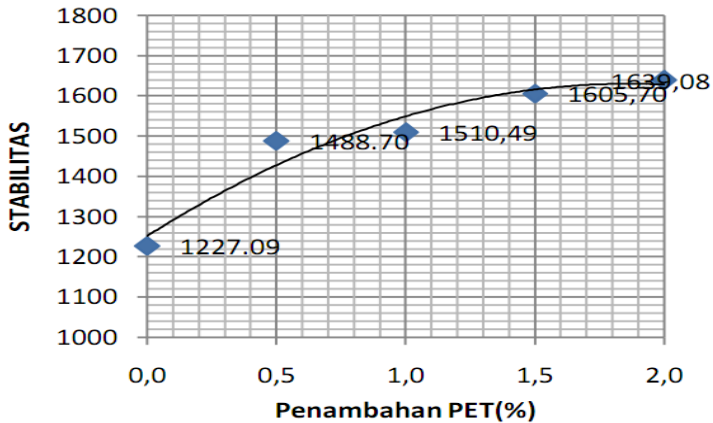
- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), bahwa nilai VFA untuk kelompok benda uji batas tengah dan kelompok benda uji batas atas nilainya cenderung terus menurun seiring bertambahnya kadar PET. Sedangkan untuk syarat yang ditentukan Bina Marga tahun 2010 nilai VFA nya minimum 63%, dengan begitu batas minimum tidak memenuhi syarat yang telah ditentukan. Nilai VFA akibat penambahan PET ada yang tidak memenuhi syarat spesifikasi. Nilai VFA yang semakin kecil bisa disebabkan karena plastik (PET) kurang tercampur dengan baik sehingga kurang mengisi rongga-rongga yang ada.



Gambar 2. 11. Grafik Nilai VFA Akibat Penambahan PET.

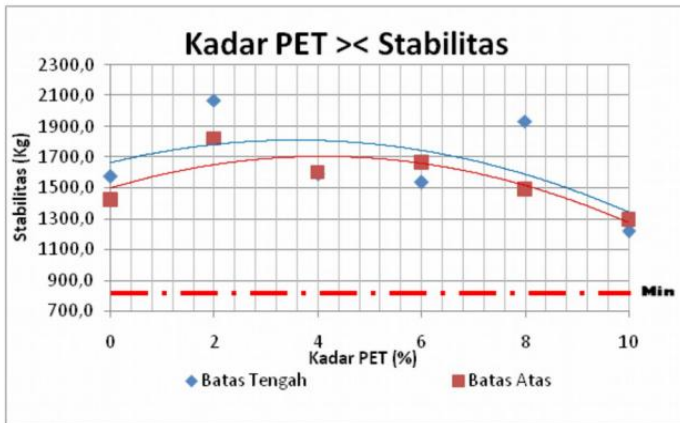
5. Stabilitas *Marshall*

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti et al., 2015), menjelaskan bahwa ketika belum dilakukan penembahan *Polyethylene Terephalate* (PET) dalam campuran AC – BC, nilai stabilitas sebesar 1509,1 kg namun setelah ada variasi penambahan Poly Etylene Terephalate (PET) ke dalam campuran AC – BC, nilai stabilitas meningkat secara berturut-turut, yaitu 1349,2 kg, 1510,49 kg dan 1605 kg. Seiring dengan penggunaan polimer dalam hal ini *Polyethylene Terephalate* (PET) dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran. Nilai stabilitas memenuhi persyaratan semua variasi campuran >800 kg.



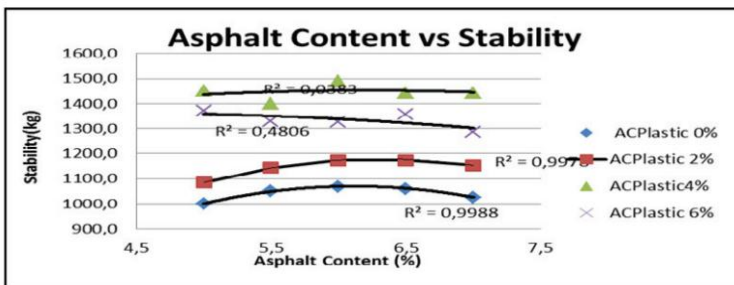
Gambar 2. 12. Hubungan penggunaan variasi *Polyethylene Terephalate* (PET) terhadap nilai stabilitas ditinjau berdasarkan nilai KAO

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), grafik menyerupai parabola dengan adanya titik maksimum sebagai puncaknya. Secara keseluruhan bila dibandingkan dengan benda uji tanpa penambahan PET, sampel benda uji yang diberi tambahan PET dari persen kadar 2 sampai dengan 10 nilai stabilitasnya bertambah. Nilai stabilitas yang paling maksimum terdapat pada penambahan PET 2%.



Gambar 2.12. Grafik Nilai stabilitas akibat penambahan PET.

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Widojoko & Purnamasari, 2012), grafik kenaikan kadar aspal menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara agregat, aspal dan plastik. Akibatnya, stabilitas meningkat. Namun, saat kandungan aspal melebihi kadar optimum maka mengalami penebalan pada selaput aspal. Hal tersebut mengakibatkan aspal mudah bergeser dan menyebabkan deformasi campuran dan stabilitas campuran menurun.

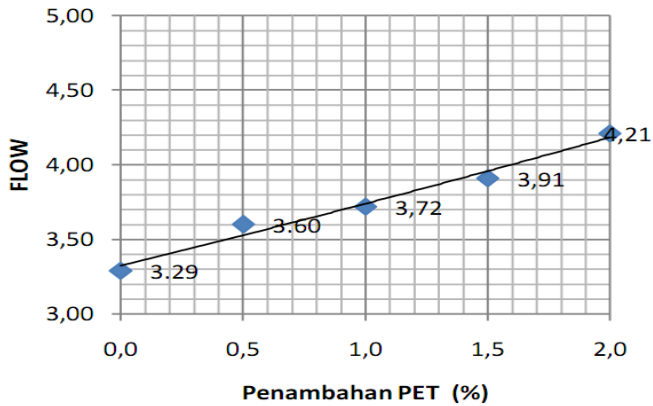


Gambar 2.13. Hubungan Antara Stabilitas Dan Kadar Aspal

Dengan penambahan kadar plastik 0%; 2% sampai 4% nilai stabilitas cenderung meningkat. Hal ini disebabkan adanya penambahan serat plastik dan agregat berbentuk sudut yang dilapisi aspal dengan baik. Posisi agregat tidak mudah bergeser dari tempatnya bila terdapat beban. Akibatnya, kestabilan campuran meningkat. Selain itu, pencampuran plastik cair dengan aspal telah meningkatkan kekuatan kohesi dan adhesi aspal. Oleh karena itu, ikatan menjadi meningkat. Namun dalam kandungan plastik 6%, ada penurunan garis kestabilan, karena tingkat rongga pada campuran menjadi lebih tinggi dari sebelumnya. Nilai puncak tertinggi stabilitas adalah 1491 kg pada campuran dengan kadar aspal 6% dan kandungan plastik 4% sedangkan nilai puncak stabilitas terendah adalah 1069 kg pada campuran dengan kadar aspal 5% tanpa penambahan plastik. Semua variasi kestabilan campuran memenuhi syarat minimal stabilitas 800 kg.

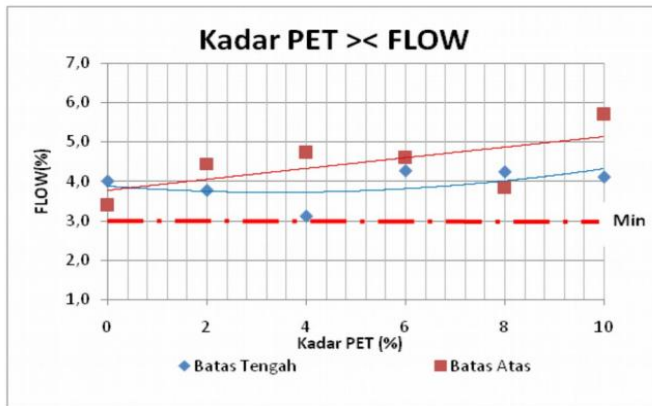
6. Kelelahan (*Flow*)

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti et al., 2015), menjelaskan bahwa ketika belum dilakukan penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran AC-BC, nilai *flow* sebesar 3,54 namun setelah ada variasi penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) ke dalam campuran AC-BC, nilai *flow* mengalami peningkatan secara berurutan – turut. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan polimer dalam campuran AC-BC maka akan meningkatkan *flow*. Sehingga dapat diketahui seiring dengan penambahan polimer akan mengalami peningkatan, namun secara keseluruhan nilai tersebut masih memenuhi standar yang ditetapkan.



Gambar 2. 14. Hubungan penggunaan variasi *Polyethylene Terephthalate* (PET) terhadap nilai flow ditinjau berdasarkan nilai KAO

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), bahwa nilai flow ada yang mengalami peningkatan dan penurunan. Besar nilai flow dipengaruhi oleh besar kadar rongga dalam campuran, semakin banyak rongga yang tercipta menciptakan rongga-rongga yang nantinya bisa terisi oleh udara karena tidak terisi filler ataupun aspal, sehingga ketika di uji dengan pembebanan benda uji cenderung cepat retak.

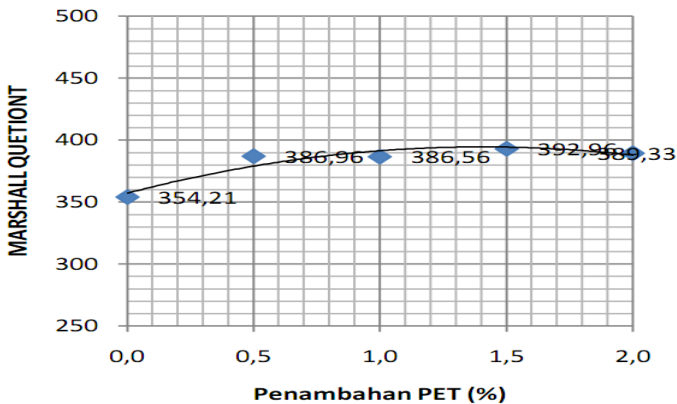


Gambar 2. 15. Grafik Nilai Flow Akibat Penambahan PET

7. *Marshall Quotient*

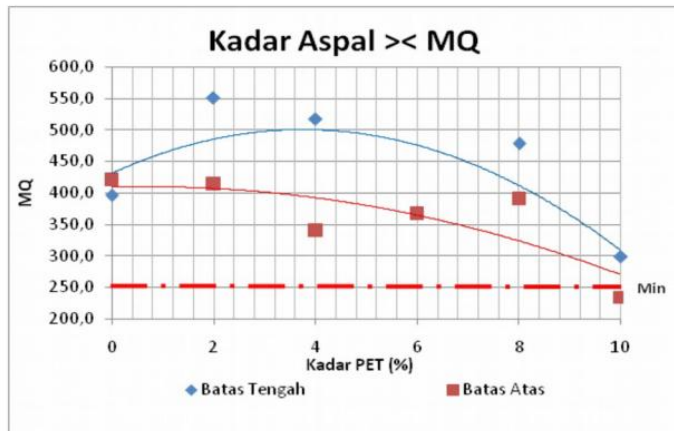
- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Arianti et al., 2015), ketika belum dilakukan penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran AC–BC, nilai MQ sebesar 354,21 kg/mm. Namun setelah ada variasi penambahan polimer (PET) ke dalam campuran AC–BC, nilai MQ pada campuran semakin meningkat secara berurut – turut. Dari penjelasan tersebut dapat diketahui bahwa semakin meningkatnya penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) dalam campuran AC–BC, maka akan semakin memperbesar nilai MQ pada campuran tersebut. Hal tersebut menjadikan nilai MQ pada campuran menjadi meningkat dan nilai MQ memenuhi syarat yang ditetapkan. Marshall Quotient (QM) mengalami kenaikan. Bertambahnya kadar aspal membuat viskositas campuran semakin rendah, sehingga berakibat menurunnya nilai *Marshall Quotient* (QM). Penambahan *Polyethylene Terephthalate* (PET) pada campuran membuat *Marshall Quotient* (MQ)

meningkat, hal ini disebabkan *Polyethylene Terephalate* (PET) yang sudah dingin tingkat kekakuannya lebih besar daripada aspal yang dingin. Berdasarkan hasil analisis pengaruh penambahan kadar *Polyethylene Terephalate* (PET) terhadap karakteristik Marshall AC-BC menunjukkan bahwa kinerja campuran aspal meningkat. Hal ini ditunjukkan oleh karakteristik *Marshall* berupa VMA, VIM, VFA, *flow*, *stability*, dan



Gambar 2. 16. Hubungan antara variasi *Polyethylene Terephalate* (PET) terhadap *Marshall Quoetient* ditinjau berdasarkan nilai KAO

- Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), Nilai *marshall question* didapat dari hasil pembagian antara nilai stabilitas dan juga *flow*. MQ merupakan angka yang menyatakan tingkat kelenturan (*flexibility*) suatu campuran. Semakin besar nilai MQ menunjukkan bahwa campuran aspal tersebut kurang baik karena menunjukkan campuran aspal semakin getas. Nilai MQ pada kelompok gradasi batas tengah cenderung berbentuk parabola dengan satu nilai maksimum yaitu pada kadar penambahan PET 2 %.



Gambar 2. 17. Grafik Nilai MQ akibat penambahan PET

2.7 Hubungan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang akan Dilakukan

Penelitian tentang pemanfaatan limbah plastik sebagai inovasi material pada campuran aspal telah banyak dilakukan. Hal tersebut, dapat di tinjau dari banyaknya *paper* atau jurnal ilmiah yang membahas hal tersebut.. Adapaun yang dapat saya simpulkan berdasarkan penelitian dengan topik “Pemanfaatan limbah plastik sebagai campuran AC-BC” sebagai berikut :

1. Metode pencampuran plastik pada campuran aspal menggunakan metode kering, yaitu dengan mencampurkan plastik pada saat pencampuran agregat dengan aspal.
2. Terdapat dua metode dalam penentuan Kadar Optimum Aspal (KOA) yaitu variasi yaitu :
 - a. KOA dilakukan sebelum plastik di campurkan. Setelah di lakukan tes fisik agregat maka dilakukan pengujian gradasi agregat gabungan dan penentuan KOA dengan tanpa plastik. Setelah didapat hasil KOA

maka nilai tersebut sebagai acuan penambahan plastik dengan beberapa variasi kadar plastik.

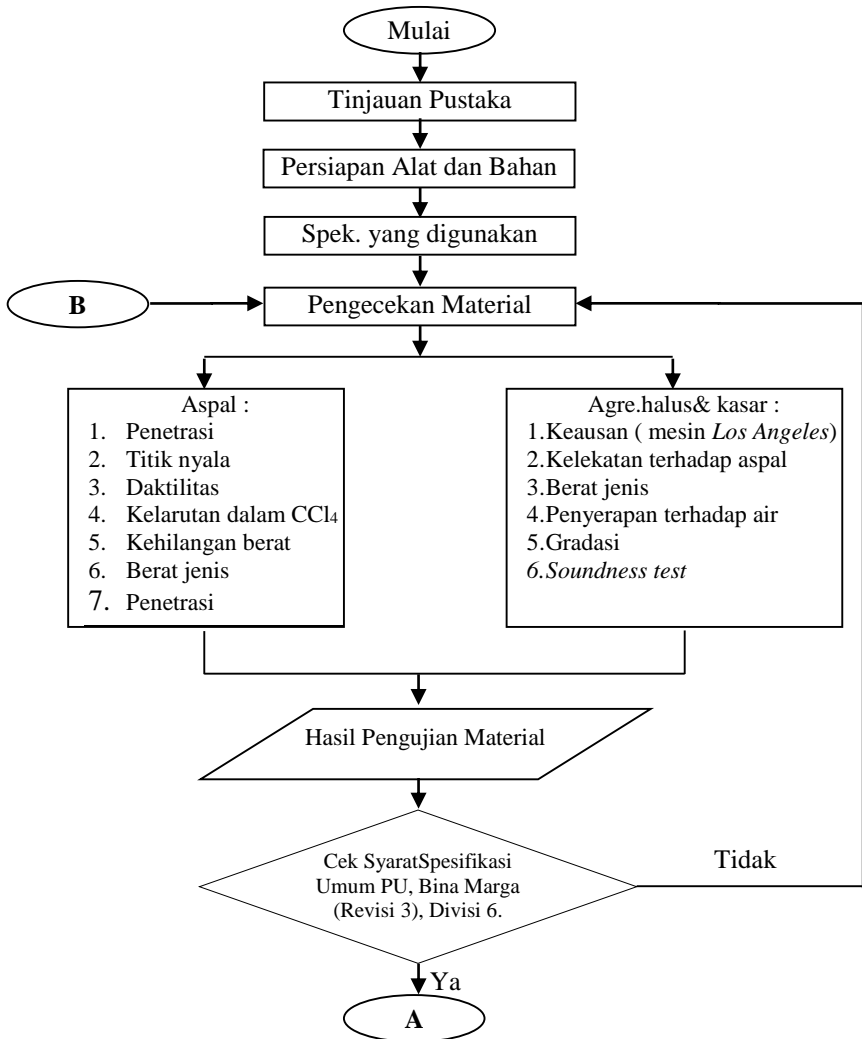
- b. Penentuan KOA sekaligus penentuan kadar plastik optimum. Setelah pengujian fisik, maka langsung dilakukan pengujian KOA serta penambahan kadar plastik. Semakin tinggi penambahan plastik maka semakin tinggi kadar aspal.
3. Kadar plastik yang digunakan yaitu antara 0,5% - 10%
4. Hasil *stabilitas marshall* kadar plastik optimum berada pada 2%.

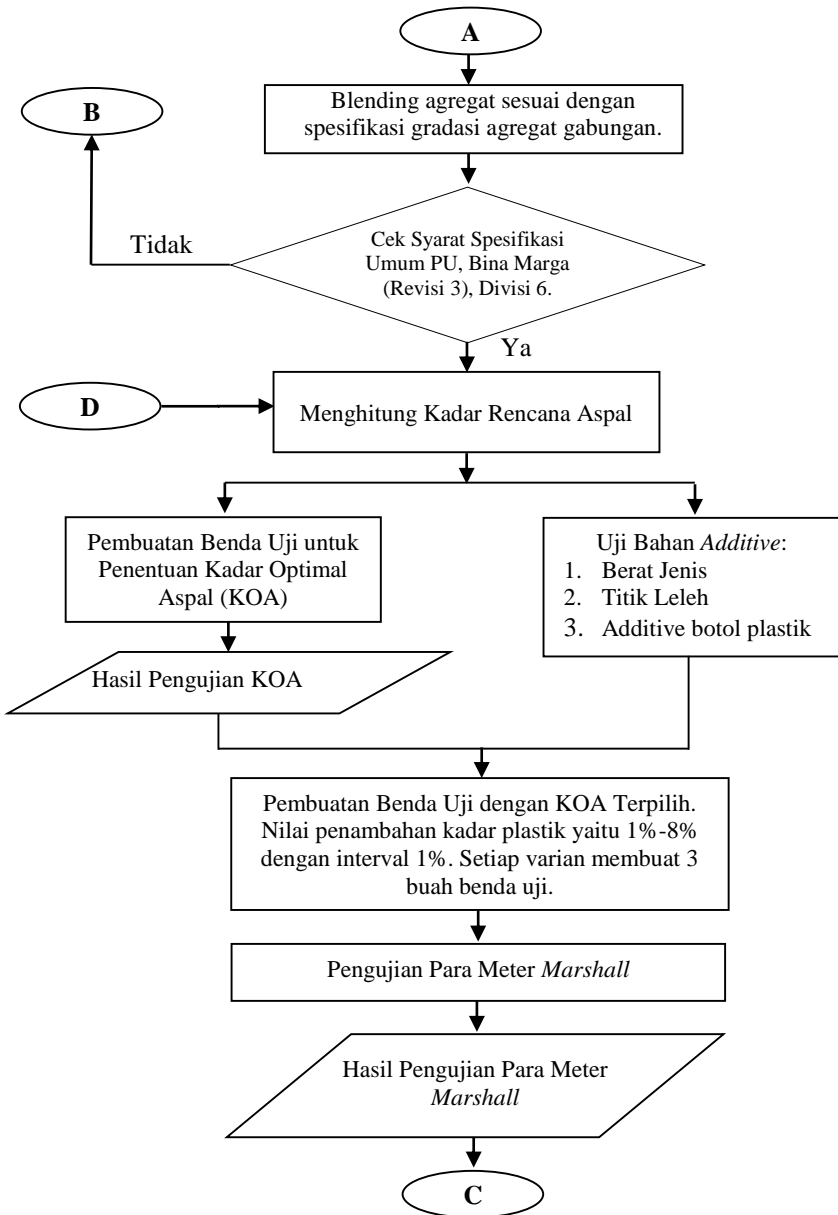
Berdasarkan uraian diatas, adapun fokus penelitian ini mengacu pada hasil penelitin terdahulu yaitu sebagai berikut :

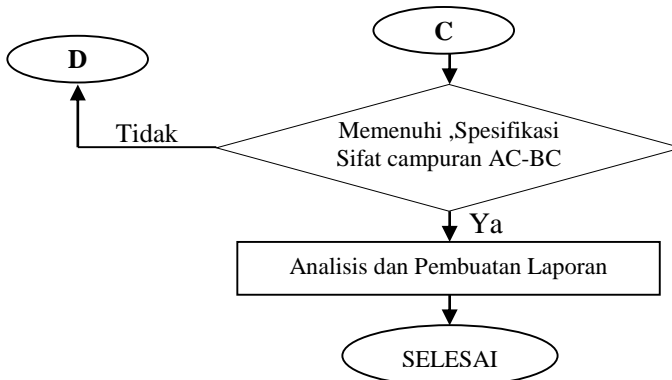
1. Metode yang dilakukan dengan metode basah, yaitu dengan mencampurkan plastik kepada aspal. Metode yang dilakukan yaitu saat pemanasan aspal, plastik dimasukkan sehingga plastik mengalami pelelehan sempurna.
2. Metode penentuan KOA dilakuakn sebelum penambahan plastik. Sehingga dengan kadar KOA yang kosan dapat mengetahui pengaruh penambahan plastik pada campuran aspal.
3. Kadar plastik yang digunakan yaitu 1% - 8% dengan interval 1. Hal ini untuk menambah ketelitian pengaruh plastik pada campuran aspal.
4. Harapan penelitian ini dapat mengembangkan hasil penelitian-penelitian terdahulu, sehingga aspal plastik dapat di komersialkan sebagai inovasi *eco-material* pada campuran aspal.

BAB III METODOLOGI PELAKSANAAN

3.1 Diagram Alur Penelitian







Gambar 3.1. Diagram Alir Penelitian

3.2 Tempat Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Pengujian Bahan Jalan, Departemen Teknik Infrastruktur Sipil, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

3.3 Persiapan Alat dan Bahan

Adapun alat dan bahan yang digunakan dalam penelitian sebagai berikut :

1. Peralatan

Dalam penelitian ini peralatan pengujian yang akan digunakan meliputi satu set saringan (*Sieve*), alat uji aspal berupa uji penetrasi, uji kehilangan berat, dan uji daktilitas. Selain itu juga sangat dibutuhkan peralatan uji aggregate meliputi *Los Angeles Machine*, *Marshall*, alat pengering, dan kelengkapan penimbangan serta peralatan penunjang penelitian seperti wajan penggorengan, kompor pemanas, thermometer, sendok/pengaduk, sarung tangan, kain lap, timbangan, ember.

2. Bahan

Untuk penelitian ini dibutuhkan material uji berupa limbah plastik *Polypropylene* serta material utama pembuatan

lapisan aspal beton yang meliputi agregat kasar, agregat halus, aspal 60/70.

3. *Threatment* Plastik PET

Plastik yang digunakan berasal dari betok plastik tipe I yaitu PET. Adapun langkah-langkah pengolahan plastik tersebut sebelum di masukkan dalam campuran aspal sebagai berikut :

1. Plastik di siapkan.
2. Bersihkan plastik dari lumpur atau zat-zat yang menempel pada plastik, plastikan plastik dalam keadaan bersih.
3. Potong plastik kecil-kecil dengan dimensi 10 mm x 10 mm.

3.4 Pengujian Material

A. Aspal pen. 60/70

Dilakukan uji penetrasi, titik lembek, daktilitas, berat jenis, serta kehilangan berat sesuai peraturan yang telah ada yaitu standar nasional Indonesia dan bina marga.

B. Agregat dan *filler*

Agregat dan *filler* sangat diperlukan sebagai bahan pengisi, meliputi agregat kasar dan agregat halus. Untuk memenuhi spesifikasi yang telah ditentukan maka perlu dilakukan pengujian analisa saringan, berat jenis, dan penyerapan.

3.5 Pencampuran Limbah Plastik

Pencampuran limbah plastik menggunakan metode *wet process* (metode basah). Cara pencampurannya ialah aspal yang telah dipanaskan hingga suhu 200°C, plastik dicampurkan pada aspal dan aduk-aduk hingga homogen.

3.6 Pembuatan Benda Uji

Berdasarkan alur pada penelitian ini, benda uji yang pertama di buat yaitu untuk pengujian kadar aspal optimum (KAO). Adapun variasi campuran yang akan dibuat sebagai berikut :

Tabel 3. 1. Variasi Campuran Pengujian KAO

Kode Variasi	Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji
V.1	5,0%	3 Buah
V.2	5,5%	3 Buah
V.3	6,0%	3 Buah
V.4	6,5%	3 Buah
V.5	7,0%	3 Buah

Setelah di lakukan pembuatan benda uji untuk pengujian KAO dan dilakuakn analisa uji *marshall* dan parameternya, maka diperoleh nilai KAO. Setelah itu, pembuatan aspal plastik. Kadar plastik dihitung dari berat aspal optimum. Adapun variasi penambahan kadar plastik pada aspal sebagai berikut :

Tabel 3. 2. Variasi Campuran Pengujian Aspal Plastik

Kode Variasi	Kadar Plastik	Jumlah Benda Uji
AP.1	1,0%	3 Buah
AP.2	2,0%	3 Buah
AP.3	3,0%	3 Buah
AP.4	4,0%	3 Buah
AP.5	5,0%	3 Buah
AP.6	6,0%	3 Buah
AP.7	7,0%	3 Buah
AP.8	8,0%	3 Buah

Adapun langkah-langkah dalam pembuatan benda uji sebagai berikut :

- a. Menimbang agregat sesuai dengan berat persentase agregat campuran yang telah dihitung, kemudian benda uji dibuat sebanyak yang dibutuhkan dengan masing-masing variasi kadar aspal.
- b. Memanaskan aspal untuk pencampuran menggunakan kompos pemanas, agar temperatur pencampuran agregat dan aspal tetap terjaga (konstan) maka pencampuran dilakukan diatas pemanas dan diaduk hingga rata. Suhu pencampuran agregat dengan aspal pada suhu 155⁰C dan pemadatan suhunya berkisar antara 145⁰C.
- c. Kemudian melakukan pemadatan standar dengan alat *Marshall Automatic Compactor* dengan jumlah tumbukan 75 kali.

- d. Benda uji didiamkan supaya suhunya turun, setelah itu benda uji dikeluarkan dengan ejektor dan diberi kode dengan menggunakan tipe-ex atau penanda lain.
- e. Benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel kemudian ditimbang beratnya untuk mendapatkan berat benda uji kering.
- f. Benda uji direndam dalam air selama 16 – 24 jam supaya jenuh.
- g. Ditimbang dalam air untuk mendapatkan berat benda uji dalam air.
- h. Kemudian benda uji dikeluarkan dari bak perendam dan dikeringkan dengan kain lap sampai permukaankering dan didapatkan berat benda uji kering permukaan jenuh (*saturated surface dry, SSD*) kemudian ditimbang.

3.7 Pengujian dengan Marshall

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan (*flow*) dari campuran aspal sesuai dengan SNI 06-2489-1991 dengan dilakukan pembebanan dengan kecepatan tetap (2 *inch*) per menit, dibaca pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali berputar menurun, pada saat itu pula dibaca arloji kelelahan. Titik pembacaan pada saat arloji pembebanan berhenti dan mulai kembali menurun, itu merupakan nilai stabilitas *Marshall*.

3.8 Pengelolaan dan Pembahasan Hasil

Hasil pengolahan akan diuraikan dalam bentuk grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, yaitu gambar grafik hubungan antara:

- Kadar aspal terhadap kepadatan
- Kadar aspal terhadap VIM
- Kadar aspal terhadap VMA
- Kadar aspal terhadap VFA
- Kadar aspal terhadap stabilitas
- Kadar aspal terhadap *flow*
- Kadar aspal terhadap *Marshall Quotient* (MQ)

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Pegujian Material

Pengujian material dilakukan di laboratorium Uji Material Jalan Departemen Teknik Infrastuktur Sipil. Pengujian material mengacu pada modul Petunjuk Praktikum Departemen Infrastruktural Sipil yang berdasarkan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan *American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO)*.

4.1.1 Pengujian Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini menggunakan aspal AC penetrasi 60/70. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal sebagai berikut :

Tabel 4. 1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Pengujian	Metode	Syarat		Hasil	Ket.
			Min.	Max.		
1	Pentrasi	SNI 06-2456-1991	60	79	75,4	OK
2	Titik Lembek	SNI 06-2434-1991	48	58	55,3	OK
3	Titik Nyala	SNI 06-2434-1991	200	-	268	OK
4	Daktalitas	SNI 06-2434-1991	100	-	173	OK
5	Kehilangan Berat	SNI 06-2440-1991	-	0,8	0,26	OK
6	Berat Jenis	SNI 06-2432-1991	1	-	1,03	OK

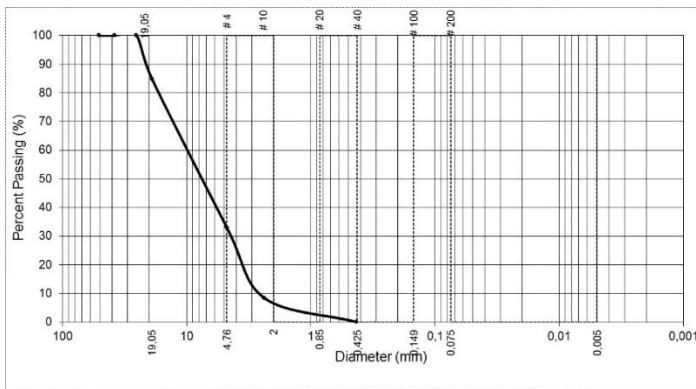
4.1.2 Pengujian Agregat

Pada penelitian ini, agegat yang digunakan ialah tiga jenis ukuran yaitu ukuran 10-20, 10-10, 5-10, 0-5. Adapun hasil analisa saringan sebagai berikut :

A. Analisa Saringan Agregat

Tabel 4. 2 Hasil Analisa Saringan Agregat 10-20

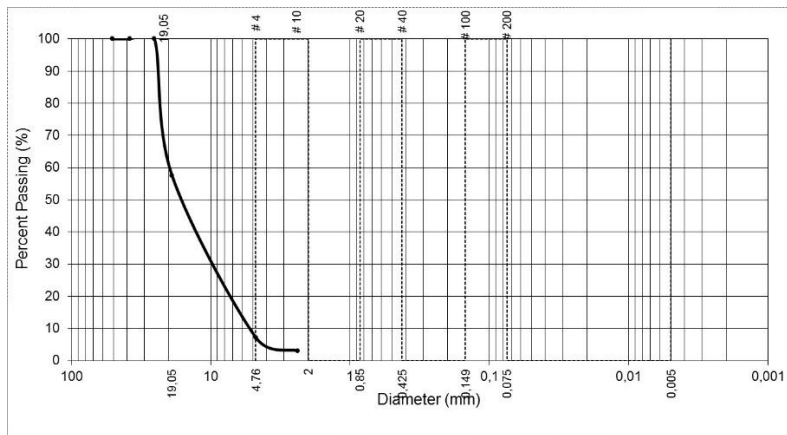
AGREGAT 10-20					Berat sampel 2500		
Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Presntase	
	CB.1	CB.2	CB.3	RT		Tertahan (%)	Lewat (%)
1"	0	0	0	0	0	0	100,00
3/4"	378	384	363	375	375	15,00	85,00
1/2"	1342	1225	1285	1284	1659	66,36	33,64
3/8"	595	626	598	606	2265	90,62	9,38
No. 4	164	237	224	208	2474	98,95	1,05
No.8	-	-	-	-	-		
No. 30	-	-	-	-	-		
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 100	-	-	-	-	-		
No. 200	-	-	-	-	-		
PAN	-	-	-	-	-		
Jumlah	2479	2472	2470	2474			



Gambar 4. 1. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10-20

Tabel 4. 3 Hasil Analisa Saringan Agregat 10-10

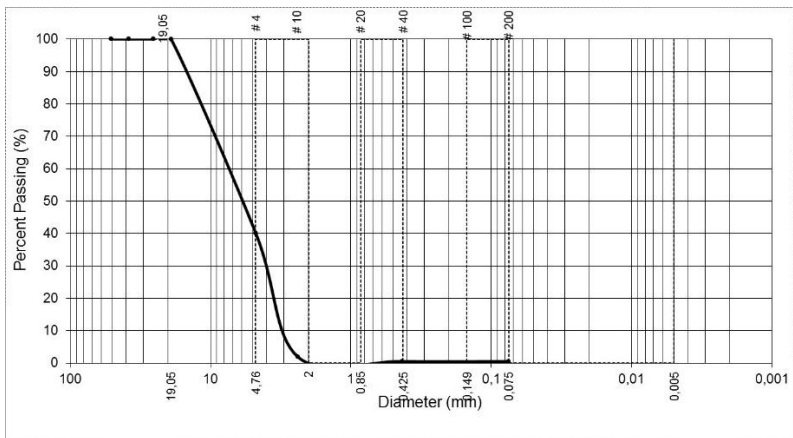
AGREGAT 10-10					Berat sampel 2500		
Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Presntase	
	CB.1	CB.2	CB.3	RT		Tertahan (%)	Lewat (%)
1"	0	0	0	0	0	0	100,00
3/4"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
1/2"	70	80	79	76	76	3,06	96,94
3/8"	950	1107	1090	1049	1125	45,02	54,98
No. 4	1330	1206	1221	1252	2378	95,11	4,89
No.8	123	89	90	101	2478	99,14	0,86
No. 30	-	-	-	-	-		
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 100	-	-	-	-	-		
No. 200	-	-	-	-	-		
PAN	-	-	-	-	-		
Jumlah	2473	2482	2480	2478			



Gambar 4. 2. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 10-10

Tabel 4. 4 Hasil Analisa Saringan Agregat 5-10

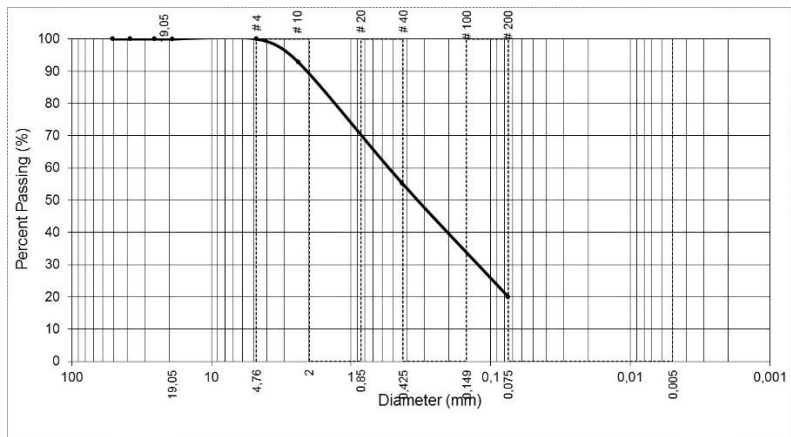
AGREGAT 5-10					Berat sampel 2500		
Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Presntase	
	CB.1	CB.2	CB.3	RT		Tertahan (%)	Lewat (%)
1"	0	0	0	0	0	0	100,00
3/4"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
1/2"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
3/8"	55	46	46	49	49	1,96	98,04
No. 4	1433	1363	1367	1388	1437	57,47	42,53
No.8	947	1036	1029	1004	2441	97,63	2,37
No. 30	34	44	46	41	2482	99,28	0,72
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 50	-	-	-	-	-		
No. 100	-	-	-	-	-		
No. 200	-	-	-	-	-		
PAN	-	-	-	-	-		
Jumlah	2469	2489	2488	2482			



Gambar 4. 3. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 5-10

Tabel 4. 5 Hasil Analisa Saringan Agregat 0-5

AGREGAT 0-5					Berat sampel 2500		
Saringan	Berat Tertahan (gram)				Jumlah Berat Tertahan (gram)	Presntase	
	CB.1	CB.2	CB.3	RT		Tertahan (%)	Lewat (%)
1"	0	0	0	0	0	0	100,00
3/4"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
1/2"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
3/8"	0	0	0	0	0	0,00	100,00
No. 4	0	0	0	0	0	0,00	100,00
No.8	208	215	221	215	215	14,32	85,68
No. 30	413	421	430	421	636	42,40	57,60
No. 50	246	244	243	244	880	58,70	41,30
No. 50	222	217	213	217	1098	73,18	26,82
No. 100	139	137	132	136	1234	82,24	17,76
No. 200	84	82	81	82	1316	87,73	12,27
PAN	179	174	170	174	1490	99,36	0,64
Jumlah	1491	1490	1490	1490			



Gambar 4. 4. Grafik Analisa Saringan Agregat Ukuran 0-5

B. Hasil Pengujian Fisik Agregat

Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Fisik Agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
Agregat Kasar (10-20)					
1.	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,66%	OK
2.	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,71%	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,79%	OK
4	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,73%	OK
5	Keasusan	SNI 03-2417-1991	$\leq 40\%$	20,12%	OK
Agregat Kasar (10-10)					
1.	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,68%	OK
2.	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,73%	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,81%	OK
4	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,67%	OK
Agregat Medium (5-10)					
1.	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,76%	OK
2.	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,80%	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,87%	OK
4	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	1,42%	OK

Tabel 4. 7. Lanjutan Hasil Pengujian Fisik Agregat

No.	Pengujian	Metode	Batas	Hasil	Ket.
Agregat Halus (0-5)					
1.	Berat Jenis Curah	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,66%	OK
2.	Berat Jenis SSD	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,73%	OK
3	Berat Jenis Semu	SNI 03-1970-1990	$\geq 2,5$	2,85%	OK
4	Penyerapan air	SNI 03-1969-1990	$\leq 3\%$	2,53%	OK

Adapun rekapitulasi hasil pengujian agregat kasar sebagai berikut:

Tabel 4. 8. Rekapitulasi Pengujian Fisik Agregat

Fraksi	% agregat	Berat Jenis			% Penyerapan	BJ. Terpakai	[2] / [7]
		Bulk	SSD	Semu			
1	2	3	4	5	6	7	8
Agg. 10-20	20	2,66	2,71	2,79	1,73	2,73	7,333
Agg. 10-10	20	2,68	2,73	2,81	1,67	2,75	7,28
Agg. 5-10	15	2,76	2,80	2,87	1,42	2,82	5,324
Agg. 0-5	45	2,66	2,73	2,85	2,53	2,85	15,78
TOTAL							35,72

Menghitung Berat Jenis Bulk Agregat Gabungan (Gsb)

$$Gsb = \frac{100}{\frac{\%agg.1}{Bj\ agg\ 1} + \frac{\%agg.2}{Bj\ agg\ 2} + \dots + \frac{\%agg.n}{Bj\ agg\ n}}$$

$$Gsb = \frac{100}{\frac{20}{2,66} + \frac{20}{2,68} + \frac{15}{2,76} + \frac{45}{2,66}}$$

$$Gsb = 2,68$$

Menghitung Berat Jenis Efektif Agregat Gabungan (Gsb)

$$Gsb = \frac{100}{\frac{\%agg.1}{Bj\ agg\ 1} + \frac{\%agg.2}{Bj\ agg\ 2} \dots \frac{\%agg.n}{Bj\ agg\ n}}$$

$$Gsb = \frac{100}{\frac{20}{2,73} + \frac{20}{2,75} + \frac{15}{2,82} + \frac{45}{2,85}}$$

$$Gsb = 2,80$$

4.2 Blending Agregat

Berikut cara dan tahapan *blending* gradasi dengan cara analitis:

$$P = a.A + b.B + c.C + d.D$$

dimana ,

- P = Persen lolos saringan dengan ukuran (mm) yang diinginkan
- A = Persen lolos saringan fraksi agregat kasar ukuran d = ... mm
- B = Persen lolos saringan fraksi agregat medium ukuran d = ... mm
- C = Persen lolos saringan fraksi agregat halus ukuran d = ... mm
- D = Persen lolos saringan fraksi agregat *filler* ukuran d = ... mm

Untuk prosentase nilai *a* , *b* , *c* diperoleh dari perhitungan grafis sesuai dengan spesifikasi yang diatur pada peraturan Bina Marga 2010 mengenai batas agregat campuran AC-BC.

Tabel 4. 9. Hasil Analisa Saringan Agregat

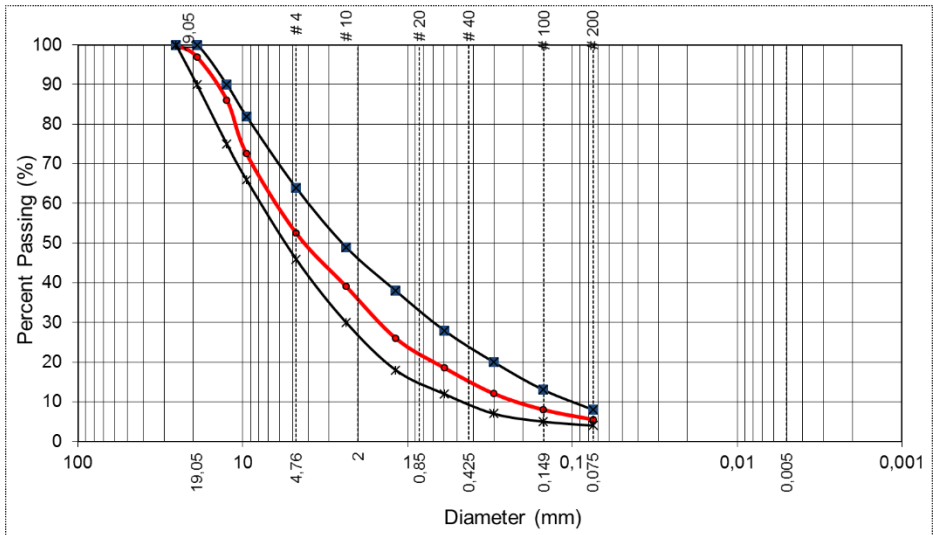
Ukuran Saringan	Ag. 10-20	Ag. 10-10	Ag. 5-10	Ag. 0-5
	Lolos %	Lolos %	Lolos %	Lolos %
1"	100,00	100,00	100,00	100,00
3/4"	85,00	100,00	100,00	100,00
1/2"	33,64	96,94	100,00	100,00

Tabel 4. 10. Lanjutan Hasil Analisa Saringan Agregat

Ukuran Saringan	Ag. 10-20	Ag. 10-10	Ag. 5-10	Ag. 0-5
	Lolos %	Lolos %	Lolos %	Lolos %
3/8"	9,38	54,98	98,04	100,00
No. 4	1,05	4,89	42,53	100,00
No.8	0,00	0,86	2,37	85,68
No. 30	0,00	0,00	0,72	57,60
No. 50	0,00	0,00	0,00	41,30
No. 50	0,00	0,00	0,00	26,82
No. 100	0,00	0,00	0,00	17,76
No. 200	0,00	0,00	0,00	12,27

Tabel 4. 11. Hasil *Blending* Agregat

Ukuran Saringan	Ag. 10-20	Ag. 10-10	Ag. 5-10	Ag. 0-5	<i>Total</i>	Spesifikasi		
	20 %	20 %	15 %	45 %		BB	-	BA
1"	20,00	20,00	15,00	45,00	100,00	100		
3/4"	17,00	20,00	15,00	45,00	97,00	90	-	100
1/2"	6,73	19,39	15,00	45,00	86,12	75	-	90
3/8"	1,88	11,00	14,71	45,00	72,58	66	-	82
No. 4	0,21	0,98	6,38	45,00	52,57	46	-	64
No.8	0,00	0,17	0,36	38,56	39,08	30	-	49
No. 30	0,00	0,00	0,11	25,92	26,03	18	-	38
No. 50	0,00	0,00	0,00	18,59	18,59	12	-	28
No. 50	0,00	0,00	0,00	12,07	12,07	7	-	20
No. 100	0,00	0,00	0,00	7,99	7,99	5	-	13
No. 200	0,00	0,00	0,00	5,52	5,52	4	-	8



Gambar 4. 5 Hasil Grafik *Blending* Agregat

4.3 Kadar Aspal Rencana

Menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (P_b) telah diatur pada peraturan Bina Marga 2010 sebagai berikut :

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + \text{Konstanta}$$

a. Fraksi desain butiran agregat

Penentuan fraksi butiran agregat ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan agregat yang digunakan, meliputi agregat kasar, agregat sedang, dan agregat halus. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat

1. Variasi komposisi gradasi agregat gabungan (no. 8)

$$FA = \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

dimana ,
 % CA = prosentase agregat yang telah ditentukan sesuai perhitungan *Blending agregat*

$$\begin{aligned} \text{Agg. 10-10} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\ &= 0,86 \times \frac{20}{100} \\ &= 0,176 \\ \text{Agg. 5-10} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\ &= 2,37 \times \frac{15}{100} \\ &= 0,355 \\ \text{Agg. 0-5} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 8} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\ &= 85,68 \times \frac{45}{100} \\ &= 38,556 \end{aligned}$$

maka ,
 $FA = (0,176 + 0,355 + 38,556)$
 $= 39,087 \%$

2. Variasi komposisi gradasi agr. gabungan (no. 200)

$$FA = \sum \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% CA}{100} \right)$$

$$\begin{aligned} \text{Agg. 0-5} &= \left(\% \text{ lolos ayakan no. 200} \times \frac{\% CA}{100} \right) \\ &= 12,27 \times \frac{45}{100} \\ &= 5,521 \end{aligned}$$

maka ,
 $FA = 5,521\%$

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\begin{aligned} \text{CA} &= 100 - 39,087 \% \\ &= 60,913 \% \\ \text{FA} &= 39,087 - 5,521 \% \\ &= 33,566 \% \\ \text{FF} &= 5,521 \% \end{aligned}$$

$$\text{total} = 60,913 + 33,566 + 5,521 = 100 \%$$

Perkiraan aspal terpakai secara gradasi :

$$\begin{aligned} \text{Pb} &= 0,035 (\% \text{CA}) + 0,045 (\% \text{FA}) + 0,18 (\% \text{FF}) + \text{Konstanta} \\ &= (0,035 \times 60,913) + (0,045 \times 33,566) + (0,18 \times 5,521) + 0,5 \\ &= 5,14 \% \end{aligned}$$

b. Fraksi desain butiran campuran

Penentuan fraksi butiran campuran ditentukan sebagai rencana akan kebutuhan campuran agregat yang digunakan. Berikut penjelasan perhitungan mengenai fraksi desain butiran agregat

Nilai fraksi butiran didapat :

$$\begin{aligned} \text{CA} &= 60,913 \times \left(\frac{100-5,14}{100} \right) \% \\ &= 57,79 \% \\ \text{FA} &= 33,566 \times \left(\frac{100-5,14}{100} \right) \% \\ &= 31,84 \% \\ \text{FF} &= 5,521 \times \left(\frac{100-5,14}{100} \right) \% \\ &= 5,24 \% \end{aligned}$$

$$\text{total} = 57,79 + 31,84 + 5,24 = 94,87 \%$$

Maka nilai fraksi desain butiran campuran didapat sebesar

$$\text{total} = 94,87 + 5,14 = 100 \%$$

c. Perkiraan awal penyerapan aspal

Untuk menentukan nilai awal penyerapan aspal, dilakukan perhitungan nilai penyerapan air untuk setiap jenis agregat

$$\begin{aligned} \text{Agg. 10-20} &= 0,20 \times 1,7333 = 0,3467 \\ \text{Agg. 10-10} &= 0,20 \times 1,6667 = 0,3333 \\ \text{Agg. 5-10} &= 0,15 \times 1,4167 = 0,2125 \\ \text{Agg. 0-5} &= 0,45 \times 2,5290 = 1,1381 \\ \text{total} &= 2,0306 \end{aligned}$$

Maka, nilai penyerapan aspal didapat sebesar

$$\begin{aligned}
 \text{Penyerapan} &= \textit{kons} \times 1,561 \\
 \text{Aspal} &= 0,45 \times 2,0306 \\
 &= 0,9136 \\
 \text{Kadar} &= \mathbf{0,9138} + \mathbf{5,14} = \mathbf{6,05 \%} \sim \mathbf{6,00 \%} \\
 \text{aspal} &
 \end{aligned}$$

4.4 Variasi Kadar Aspal Rencana

Berdasarkan hasil penghitungan kadar aspal rencana yaitu sebesar 6,00 %. Maka variasi kadar aspal rencana untuk mengetahui kadar optimum aspal dibuat beberapa variasi yaitu 5,00%, 5,50%, 6,00%, 6,50% dan 7,00%. Adapun contoh penghitungan kadar aspal rencana sebaagi berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Berat kadar aspal} &: \frac{\%KAO}{100\%} \times \textit{berat sample} \\
 &\quad \frac{5,00}{100} \times 1200 = 60,00 \textit{ gram} \\
 \text{Berat Agg. 10-20} &: \frac{20}{100\%} \times 1140,00 = 228,00 \textit{ gram} \\
 \text{Berat Agg. 10-10} &: \frac{20}{100\%} \times 1140,00 = 228,00 \textit{ gram} \\
 \text{Berat Agg. 5-10} &: \frac{15}{100\%} \times 1140,00 = 171,00 \textit{ gram} \\
 \text{Berat Agg. 5-10} &: \frac{45}{100\%} \times 1140,00 = 513,00 \textit{ gram}
 \end{aligned}$$

Tabel 4. 12. Variasi 1 Proporsi KAO

VARIASI 1 (V.1)			
Material			Kadar
Kadar Aspal Optimum			5,00 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			60 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	228 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	228 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	171 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	513 gram
TOTAL =			1200 gram

Tabel 4. 13. Variasi 2 Proporsi KAO

VARIASI 2 (V.2)			
Material			Kadar
Kadar Aspal Optimum			5,50 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			66 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	227 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	227 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	170 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	510 gram
TOTAL =			1200 gram

Tabel 4. 14. Variasi 3 Proporsi KAO

VARIASI 3 (V.3)			
Material			Kadar
Kadar Aspal Optimum			6,00 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			72 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508 gram
TOTAL =			1200 gram

Tabel 4. 15. Variasi 4 Proporsi KAO

VARIASI 4 (V.4)			
Material			Kadar
Kadar Aspal Optimum			6,50 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			78 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	224 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	224 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	168 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	505 gram
TOTAL =			1200 gram

Tabel 4. 16. Variasi 5 Proporsi KAO

VARIASI 5 (V.5)			
Material			Kadar
Kadar Aspal Optimum			7,00 %
Berat Sampel			1200 gram
Berat Kadar Aspal			84 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	223 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	223 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	167 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	502 gram
TOTAL =			1200 gram

4.5 Hasil Pengujian Aspal Rencana

Setelah dilakukan penghitungan variasi kadar aspal rencana maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji di buat 3 buah setiap variasi. Adapun hasil pengujian berat jenis dan marshall sebagai berikut :

Tabel 4. 17. Hasil Pengujian *Marshall* KAO

Kode	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat dalam air (gr)	Bacaan	
				Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
V.1.1	1173,0	1187,0	684,0	105	297
V.1.2	1184,5	1189,0	707,0	71	255
V.1.3	1186,5	1190,0	700,5	100	261
Rata-Rata	1181,3	1188,7	699,0	92	271
V.2.1	1186,5	1192,0	706,5	100	275
V.2.2	1182,0	1185,5	702,5	116	257
V.2.3	1179,0	1184,5	694,0	74	304
Rata-Rata	1182,5	1187,3	701,0	97	279

Tabel 4. 18. Lanjutan Hasil Pengujian *Marshall* KAO

Kode	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat dalam air (gr)	Bacaan	
				Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
V.3.1	1177,5	1182,0	703,0	118	327
V.3.2	1179,5	1183,5	702,0	103	296
V.3.3	1182,0	1187,0	698,0	102	311
Rata-Rata	1179,7	1184,2	701,0	108	311
V.4.1	1178,5	1181,0	699,5	91	267
V.4.2	1177,5	1181,0	702,5	81	293
V.4.3	1175,0	1176,5	700,5	113	277
Rata-Rata	1177,0	1179,5	700,8	95	279
V.5.1	1176,0	1179,0	696,5	81	319
V.5.2	1179,5	1181,0	698,5	88	315
V.5.3	1167,5	1170,0	695,0	83	321
Rata-Rata	1174,3	1176,7	696,7	84	318

Menghitung Berat Jenis Teori Maksimum

Tabel 4. 19. Berat Jenis Maksimum Agregat Gabungan

\sum (% agregat/ B _j Terpakai)	Kadar Aspal %	B _J . Aspal	[9] / [10]	[8] x {(100-[9])/100}	[11] + [12]	B _J . Teori Max 100/[13]
8	9	10	11	12	13	14
35,72	5,00	1,0301	4,85	33,93	38,78	2,58
35,72	5,50	1,0301	5,34	33,75	39,09	2,56
35,72	6,00	1,0301	5,82	33,57	39,40	2,54
35,72	6,50	1,0301	6,31	33,39	39,70	2,52
35,72	7,00	1,0301	6,80	33,22	40,01	2,50

4.6 Hasil Analisa Parameter Pengujian Marshall

4.6.1. Density

Adapun hasil analisa kepadatan (*density*) dari campuran aspal rencana yaitu dengan kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% sebagai berikut :

Contoh penghitungan :

Kadar Aspal 5%

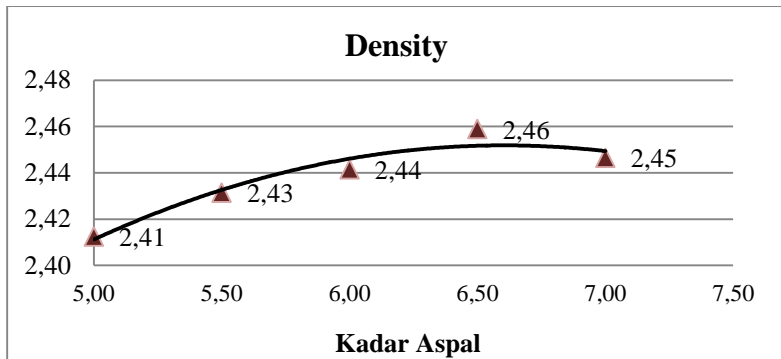
Rumus :

$$Density = \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} + \text{Berat dalam Air}}$$

$$Density = \frac{1181,3}{1188,7 + 699,0}$$

Tabel 4. 20. Hasil *Density* KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Berat Kering (gram)	Berat Jenuh (gram)	Berat Dalam Air (gram)	Isi Benda Uji (gram)	Density (gr/cc)
V.1	5,00	1181,3	1188,67	699,0	489,7	2,41
V.2	5,50	1182,5	1187,33	701,0	486,3	2,43
V.3	6,00	1179,7	1184,17	701,0	483,2	2,44
V.4	6,50	1177,0	1179,5	700,8	478,7	2,46
V.5	7,00	1174,3	1176,67	696,7	480,0	2,45



Gambar 4. 6. Grafik *Density* KAO

Berdasarkan hasil grafik di atas, nilai kepadatan (*density*) tertinggi terdapat pada kadar aspal 6,5% sebesar 2,46 gr/cc. Sedangkan nilai terendah pada kadar aspal 5,0% sebesar 2,41 gr/cc. Penambahan kadar aspal juga mengakibatkan nilai kepadatan meningkat, akan tetapi akan mengalami penurunan hingga kepadatan maksimum. Berdasarkan grafik tersebut pada kadar aspal 6,50% mengalami kepadatan maksimum dan pada kadar 7% mengalami penurunan sebesar 1% yaitu sebesar 2,45 gr/cc.

4.6.2. *Void In Mix* (VIM)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam campuran pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan :

Kadar Aspal 5%

Rumus :

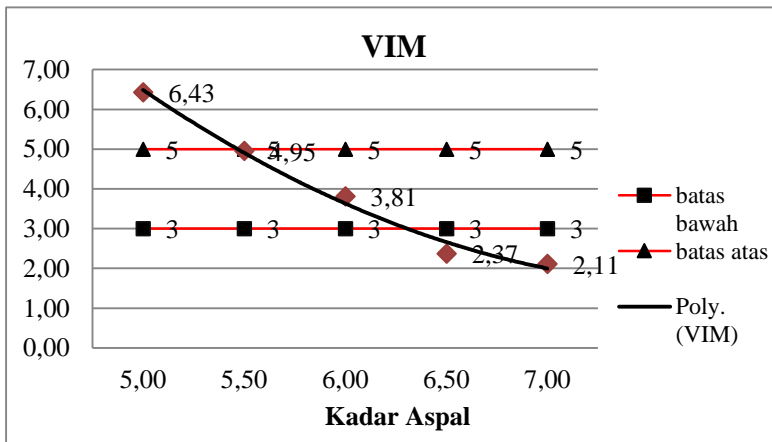
$$\text{VIM} = 100 \times \frac{\text{Density}}{\text{BJ. Teoritis Max.}}$$

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{2,41}{2,58}$$

$$\text{VIM} = 6,43\%$$

Tabel 4. 21. Hasil VIM KAO

Kode Benda Uji	%		BJ. Teori Max. (gr/cc)	VIM (%)	Syarat (%)	Ket
	Aspal	Density (gr/cc)				
V.1	5,00	2,41	2,58	6,43	3,0-5,0	NO
V.2	5,50	2,43	2,56	4,95		OK
V.3	6,00	2,44	2,54	3,81		OK
V.4	6,50	2,46	2,52	2,37		NO
V.5	7,00	2,45	2,50	2,11		NO



Gambar 4. 7. Grafik VIM KAO

Nilai rongga pada campuran berbanding lurus dengan penambahan kadar aspal serta berbanding lurus dengan kepadatan. Maka semakin tinggi kadar aspal, semakin rapat campuran maka kadar rongga dalam campuran (VIM) semakin kecil. Berdasarkan grafik diatas mengalami penurunan dengan nilai VIM tertinggi pada kadar aspal 5,0% yaitu sebesar 6,43% dan yang terendah pada kadar aspal 7% yaitu sebesar 2,11%. Persentase kadar aspal yang

masuk dalam spesifikasi binamarga, 2010 pada kadar aspal 5,5% dan 6,0% masing-masing sebesar 4,91% dan 3,81%.

4.6.3. Void In Material Agregat (VMA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam agregat pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan :

Kadar Aspal 5%

Rumus :

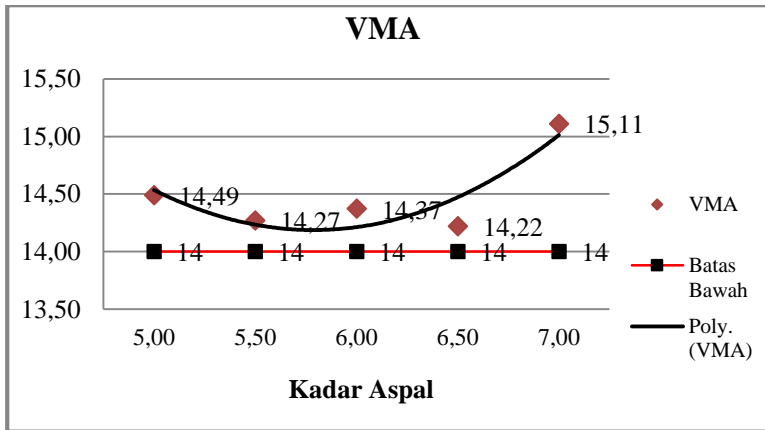
$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{Kadar Aspal}) \times \text{Density}}{\text{BJ. Bulk Agregat}}$$

$$VMA = 100 - \frac{(100 - 5,00) \times 2,41}{2,68}$$

$$VMA = 14,49 \%$$

Tabel 4. 22. Hasil VMA KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Density (gr/cc)	BJ. Bulk Agg. (gr/cc)	VMA (%)	Syarat (%)	Ket
V.1	5,00	2,41	2,68	14,49	14	OK
V.2	5,50	2,43	2,68	14,27		OK
V.3	6,00	2,44	2,68	14,37		OK
V.4	6,50	2,46	2,68	14,22		OK
V.5	7,00	2,45	2,68	15,11		OK



Gambar 4. 8. Gambar VMA KAO

Nilai rongga dalam agregat tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu sebesar 15,11%, sedangkan nilai terendah pada kadar aspal 5,50% yaitu sebesar 14,27%. Nilai VMA cenderung meningkat dengan penambahan kadar aspal. Seluruh variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi binamarga,2010.

4.6.4. Void Filled Asphalt (VFA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara yang diisi aspal pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 5%

Rumus :

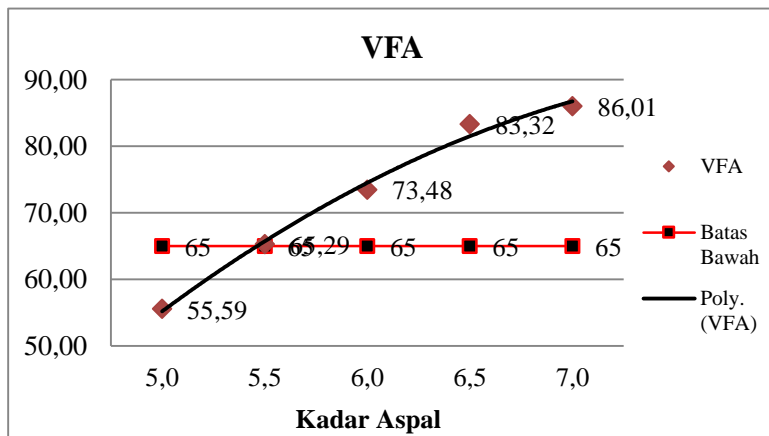
$$VFA = 100 \times \frac{VMA - VIM}{VMA}$$

$$VFA = 100 \times \frac{14,49 - 6,43}{14,49}$$

$$VFA = 55,60 \%$$

Tabel 4. 23. Hasil VFA KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Density (gr/cc)	VMA (gr/cc)	VIM (%)	VFA (%)	Syarat (%)	Ket
V.1	5,00	2,41	14,49	6,43	55,59	65	NO
V.2	5,50	2,43	14,27	4,95	65,29		OK
V.3	6,00	2,44	14,37	3,81	73,48		OK
V.4	6,50	2,46	14,22	2,37	83,32		OK
V.5	7,00	2,45	15,11	2,11	86,01		OK



Gambar 4. 9. Grafik VFA KAO

Nilai rongga yang terisi aspal (VFA) mengalami peningkatan seiring penambahan kadar aspal. Nilai VFA tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu sebesar 86% dan terendah pada kadar aspal 5,0% yaitu sebesar 55,09%. Berdasarkan grafik diatas nilai VFA memenuhi spesifikasi binamarga,2010 kecuali pada kadar aspal 5,0%.

4.6.5. Stabilitas

Berikut adalah hasil analisa stabilitas pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 5%

Rumus :

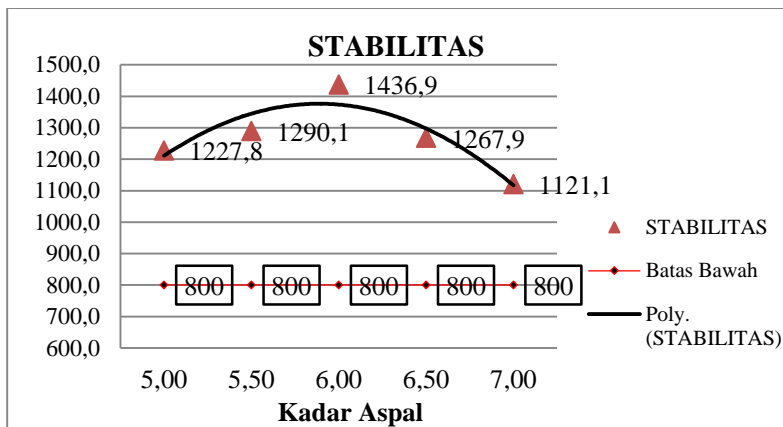
$$\text{Stabilitas} = \text{Nilai Bacaan} \times \text{Kalibrasi} \times \text{Koreksi Volume}$$

$$\text{Stabilitas} = 92,00 \times 13,902 \times 0,96$$

$$\text{Stabilitas} = 1227,8 \text{ Kg}$$

Tabel 4. 24. Hasil Stabilitas KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Bacaan Kg	Kalibrasi x Koreksi Volume	Stabilitas Kg	Syarat Kg	Ket
V.1	5,00	92,00	13,90 x 0,96	1227,8	> 800	OK
V.2	5,50	96,67	13,90 x 0,96	1290,1		OK
V.3	6,00	107,67	13,90 x 0,96	1446,9		OK
V.4	6,50	95,00	13,90 x 0,96	1267,9		OK
V.5	7,00	84,00	13,90 x 0,96	1121,1		OK



Gambar 4. 10. Grafik Stabilitas KAO

Nilai stabilitas tertinggi pada kadar aspal 6,0% sebesar 1436,9 Kg. Sedangkan terendah pada kadar aspal 7,0% sebesar 1121,1 Kg. Bentuk grafik stabilitas berbentuk parabola, hal ini mengartikan bahwa nilai stabilitas akan terus naik hingga kadar optimum aspal, setelah itu nilai stabilitas akan turun. Pada hal ini, nilai optimum aspal berada pada posisi kadar aspal 6,0%. Nilai stabilitas seluruh variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi binamarga, 2010.

4.6.6. Flow (Kelelahan)

Berikut adalah hasil analisa *flow* pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 5%

Rumus :

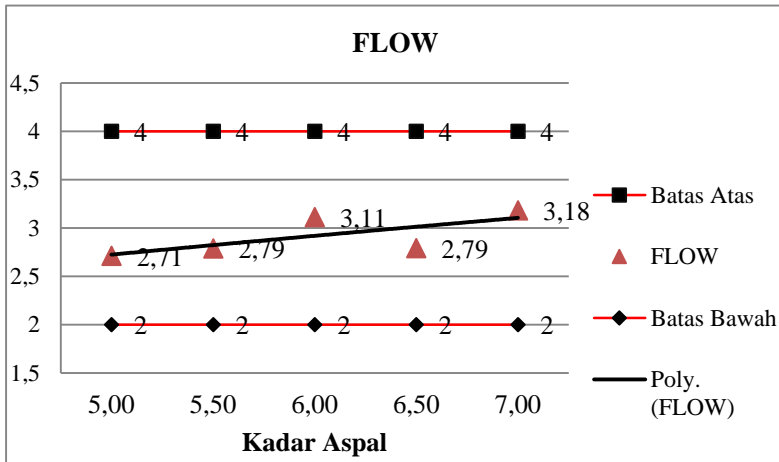
$$\text{Stabilitas} = \text{Angka Bacaan} \times 0,01$$

$$\text{Stabilitas} = 271,00 \times 0,01$$

$$\text{Stabilitas} = 2,71 \text{ mm}$$

Tabel 4. 25. Hasil *Flow* KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Bacaan	Konversi (mm)	<i>Flow</i> (mm)	Syarat (%)	Ket
V.1	5,00	271,00	0,01	2,71	2,0-4,0	OK
V.2	5,50	278,67	0,01	2,79		OK
V.3	6,00	311,33	0,01	3,11		OK
V.4	6,50	279,00	0,01	2,79		OK
V.5	7,00	318,33	0,01	3,18		OK

Gambar 4. 11. Grafik *Flow* KAO

Nilai flow cenderung naik. Nilai flow tertinggi pada kadar aspal 7% yaitu 3,18 mm. Sedangkan yang terendah yaitu pada kadar aspal 5,0%. Seluruh variasi kadar aspal memenuhi persyaratan binamarga,2010.

4.6.7. Marshall Quotient (MQ)

Berikut adalah hasil analisa *marshall quotient* pada campuran aspal rencana :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 5%

Rumus :

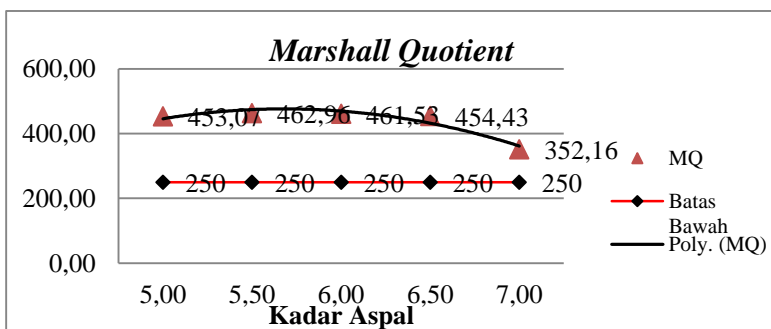
$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

$$MQ = \frac{1228}{2,71}$$

$$MQ = 453,07 \text{ kg/mm}$$

Tabel 4. 26. Hasil MQ KAO

Kode Benda Uji	% Aspal	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	Syarat (Kg/mm)	Ket
V.1	5,00	1227,8	2,71	453,07	> 250	OK
V.2	5,50	1290,1	2,79	462,96		OK
V.3	6,00	1446,9	3,11	461,53		OK
V.4	6,50	1267,9	2,79	454,43		OK
V.5	7,00	1121,1	3,18	352,16		OK



Gambar 4. 12. Grafik MQ KAO

Bentuk nilai *marshall quotient* (MQ) menyerupai nilai stabilitas yaitu berbentuk parabola. Hal ini mengartikan bahwa nilai tertinggi pada MQ merupakan nilai kadar aspal optimum. Pada grafik diatas nilai tertinggi pada kadar aspal 6% yaitu sebesar 461,53 Kg/mm. Sedangkan nilai terendah terdapat pada kadar aspal 7% sebesar 352,16 Kg/mm. Nilai MQ pada seluruh variasi memenuhi spesifikasi binamarga, 2010.

4.6.8. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Berdasarkan hasil pengujian *marshall* dan analisa parameter pengujian *marshall*, adapun rekapitulasi hasil analisa sebagai berikut :


Tabel 4. 27. Rekapitulasi Hasil Analisa Parameter *Marshall* KAO

PENGUJIAN	SYARAT	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
STABILITAS	>800 Kg	1227,8	1290,1	1436,9	1267,9	1121,1
FLOW	(2-4) mm	2,71	2,79	3,11	2,79	3,18
VIM	(3-5) %	6,43	4,95	3,81	2,37	2,11
VMA	>14%	14,49	14,27	14,37	14,22	15,11
VFA	>65%	55,59	65,29	73,48	83,32	86,01
QM	>250Kg/mm	453,07	462,96	461,53	454,43	352,16

Tabel 4. 28. Cek Rekapitulasi Hasil Analisa Parameter *Marshall* KAO

PENGUJIAN	SYARAT	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
STABILITAS	>800 Kg	OK	OK	OK	OK	OK
FLOW	(2-4) mm	OK	OK	OK	OK	OK
VIM	(3-5) %	NO	OK	OK	NO	NO
VMA	>14%	OK	OK	OK	OK	OK
VFA	>65%	NO	OK	OK	OK	OK
QM	>250Kg/mm	OK	OK	OK	OK	OK

Tabel 4. 29. Penentuan Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN	SYARAT	5,00	5,50	6,00	6,50	7,00
STABILITAS	>800 Kg					
FLOW	(2-4) mm					
VIM	(3-5) %					
VMA	>14%					
VFA	>65%					
QM	>250Kg/mm					
Kadar Aspal Optimum						

Berdasarkan analisa pada tabel diatas,diperoleh nilai kadar aspal optimum berada diantara 5,5%-6,0%. Maka nilai kadar aspal optimum (KAO) diperoleh dari nilai tengah yaitu sebesar 5,75% atau di bulatkan menjadi 5,8%.

4.7 Menghitung Variari Kadar Plastik

Berdasarkan rumusan masalah yang dibuat, variasi kadar plastik yang digunakan yaitu 1% hingga 8% dengan interval 1 dihitung dari kadar aspal optimum. Adapun contoh penghitungan proporsi campuran dengan penambahan kadar plastik sebagai berikut :

$$\begin{aligned}
 \text{Kadar Aspal Optimum} &: \frac{\%KAO}{100\%} \times \text{berat sample} \\
 & \frac{5,80}{100} \times 1200 = 69,6 \text{ gram} \\
 \text{Kadar Plastik} &: \frac{\%Kadar\ plastik}{100\%} \times \text{Kadar Aspal Optimum} \\
 & \frac{1\%}{100} \times 69,6 = 0,696 \text{ gram} \\
 \text{Kadar Aspal} &: \text{Kadar Aspal Optimum} - \text{Kadar Plastik} \\
 & 69,6 \text{ gram} - 0,696 \text{ gram} = 68,904
 \end{aligned}$$

$$\text{Berat Agg. 10-20} : \frac{20}{100\%} \times 1130,4 = 226,08 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 10-10} : \frac{20}{100\%} \times 1130,4 = 226,08 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 5-10} : \frac{15}{100\%} \times 1130,4 = 169,56 \text{ gram}$$

$$\text{Berat Agg. 5-10} : \frac{45}{100\%} \times 1130,4 = 508,68 \text{ gram}$$

Tabel 4. 30. Variasi 1 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 1 (AP.1)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			1,0 %
Berat Kadar Plastik			0,696 gram
Berat Kadar Aspal			68,208 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 31. Variasi 2 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 2 (AP.2)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			2,0 %
Berat Kadar Plastik			1,392 gram
Berat Kadar Aspal			68,208 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 32. Variasi 3 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 3 (AP.3)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			3,0 %
Berat Kadar Plastik			2,088 gram
Berat Kadar Aspal			67,512 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 33. Variasi 4 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 4 (AP.4)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			4,0 %
Berat Kadar Plastik			2,784 gram
Berat Kadar Aspal			66,816 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 34. Variasi 5 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 5 (AP.5)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			5,0 %
Berat Kadar Plastik			3,480 gram
Berat Kadar Aspal			66,120 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 35. Variasi 6 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 6 (AP.6)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			6,0 %
Berat Kadar Plastik			4,176 gram
Berat Kadar Aspal			65,424 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 36. Variasi 7 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 7 (AP.7)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			7,0 %
Berat Kadar Plastik			4,872 gram
Berat Kadar Aspal			64,728 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

Tabel 4. 37. Variasi 8 Proporsi Aspal Plastik

VARIASI 8 (AP.8)			
Material			Kadar
Berat Sampel			1200 gram
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			8,0 %
Berat Kadar Plastik			5,568 gram
Berat Kadar Aspal			64,032 gram
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	226,08 gram
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	169,56 gram
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	508,68 gram
TOTAL =			1200,00 gram

4.8 Hasil Pengujian Aspal Plastik

Setelah dilakukan penghitungan variasi kadar plastik maka dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji di buat 3 buah setiap variasi. Adapun hasil pengujian berat jenis dan *marshall* sebagai berikut :

Tabel 4. 38. Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall

Kode	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat dalam air (gr)	Bacaan	
				Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
AP.0.1	1185,5	1191,5	708,5	120	249
AP.0.2	1183,0	1189,0	697,5	122	258
AP.0.3	1183,5	1190,5	701,5	125	205
Rata-Rata	1184,0	1190,3	702,5	122	237
AP.1.1	1182,5	1191,0	703,5	107	231
AP.1.2	1181,5	1189,5	699,5	127	221

Tabel 4. 39. Lanjutan Pertama Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall

Kode	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat dalam air (gr)	Bacaan	
				Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
AP.1.3	1181,0	1188,5	698,5	158	238
Rata-Rata	1181,7	1189,7	700,5	131	230
AP.2.1	1178,5	1181,0	691,5	165	210
AP.2.2	1179,5	1184,5	695,5	173	220
AP.2.3	1186,0	1190,5	703,0	132	245
Rata-Rata	1181,3	1185,3	696,7	157	225
AP.3.1	1183,5	1189,0	669,0	178	201
AP.3.2	1178,5	1184,5	694,5	183	197
AP.3.3	1183,0	1189,5	698,5	153	263
Rata-Rata	1181,6	1187,7	697,3	171	220
AP.4.1	1179,0	1193,0	694,5	184	173
AP.4.2	1178,5	1190,0	694,0	165	233
AP.4.3	1185,5	1196,5	713,5	152	200
Rata-Rata	1181,0	1193,2	700,7	167	202
AP.5.1	1185,0	1198,0	708,5	183	181
AP.5.2	1184,0	1194,0	697,0	166	229
AP.5.3	1181,5	1193,5	692,5	151	214
Rata-Rata	1183,5	1195,2	699,3	166	208
AP.6.1	1191,0	1200,5	715,0	132	243
AP.6.2	1184,5	1195,5	694,5	160	200
AP.6.3	1185,0	1192,5	704,0	159	273
Rata-Rata	1186,8	1196,2	704,5	150	239
AP.7.1	1186,0	1195,5	705,0	130	240

Tabel 4. 40. Lanjutan Kedua Hasil Bacaan Alat Pengujian Marshall

Kode	Berat Kering (gr)	Berat SSD (gr)	Berat dalam air (gr)	Bacaan	
				Stabilitas (Kg)	Flow (mm)
AP.7.2	1186,0	1198,5	707,5	161	263
AP.7.3	1190,0	1202,0	710,0	151	240
Rata-Rata	1187,3	1198,7	707,5	147	248
AP.8.1	1183,0	1196,0	701,0	139	210
AP.8.2	1185,5	1190,0	705,5	132	257
AP.8.3	1187,0	1197,0	706,0	147	290
Rata-Rata	1185,2	1194,3	704,2	139	252

Menghitung Berat Jenis Teori Maksimum

Untuk seluruh variasi kadar plastik nilai berat jenis teori maksimum memiliki nilai sama yaitu sebesar 2,55 gr/cc. Berikut tabel penghitungannya :

Tabel 4. 41. Berat Jenis Teori Maksimum Aspal Plastik

Σ (% agregat/ B _j Terpakai)	Kadar Aspal %	B _J . Aspal	[9] / [10]	[8] x $\{(100 - [9])/100\}$	[11] + [12]	B _J . Teori Max 100/[13]
8	9	10	11	12	13	14
35,72	5,80	1,0301	5,63	33,64	39,27	2,55

4.9 Hasil Analisa Parameter Pengujian *Marshall* Aspal Plastik

4.9.1. *Density*

Adapun hasil analisa kepadatan (*density*) dari campuran aspal plastik sebagai berikut :

Contoh penghitungan :

Kadar Plastik 0%

Rumus :

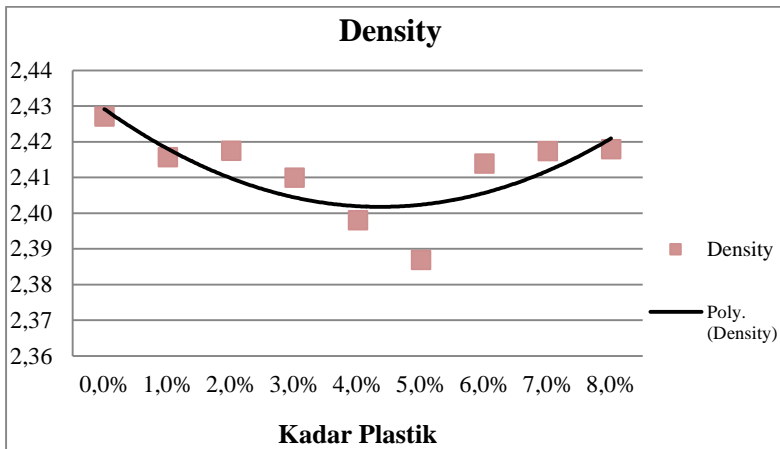
$$Density = \frac{\text{Berat Kering}}{\text{Berat SSD} + \text{Berat dalam Air}}$$

$$Density = \frac{1184,0}{1190,3 + 702,5}$$

$$Density = 2,43 \text{ gr/cc}$$

Tabel 4. 42. Hasil *Density* Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Berat Kering (gram)	Berat Jenuh (gram)	Berat Dalam Air (gram)	Isi Benda Uji (gram)	Density (gr/cc)
AP.0	0,0%	1184,0	1190,3	702,5	487,8	2,43
AP.1	1,0%	1181,7	1189,7	700,5	489,2	2,42
AP.2	2,0%	1181,3	1185,3	696,7	488,7	2,42
AP.3	3,0%	1181,7	1187,7	697,3	490,3	2,41
AP.4	4,0%	1181,0	1193,2	700,7	492,5	2,40
AP.5	5,0%	1183,5	1195,2	699,3	495,8	2,39
AP.6	6,0%	1186,8	1196,2	704,5	491,7	2,41
AP.7	7,0%	1187,3	1198,7	707,5	491,2	2,42
AP.8	8,0%	1194,3	1194,2	704,2	490,2	2,42



Gambar 4. 13. Grafik *Density* Aspal Plastik

Seiring pertambahan kadar plastik, *density* campuran mengalami penurunan. Hal ini dipengaruhi oleh nilai berat plastik < 1,00 gr/cc lebih kecil dari pada berat jenis aspal. Disisilain, pada titik kepadatan maksimum, *density* mengalami kenaikan. Berdasarkan grafik di atas, pada kadar plastik 5% merupakan nilai kepadatan maksimum plastik. Maka pada kadar aspal 6% *density* mengalami peningkatan. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan oleh (Moghaddam et al., 2013) bahwa dengan penambahan aspal plastik nilai *density* menurun akan tetapi pada nilai kerapatan tertinggi maka *density* mengalami peningkatan. Akan tetapi jika dibandingkan dengan aspal tanpa plastik nilai *density* lebih tinggi dibandingkan aspal dengan plastik.

4.9.2. *Void In Mix* (VIM)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam campuran pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitungan :

Kadar Aspal 1%

Rumus :

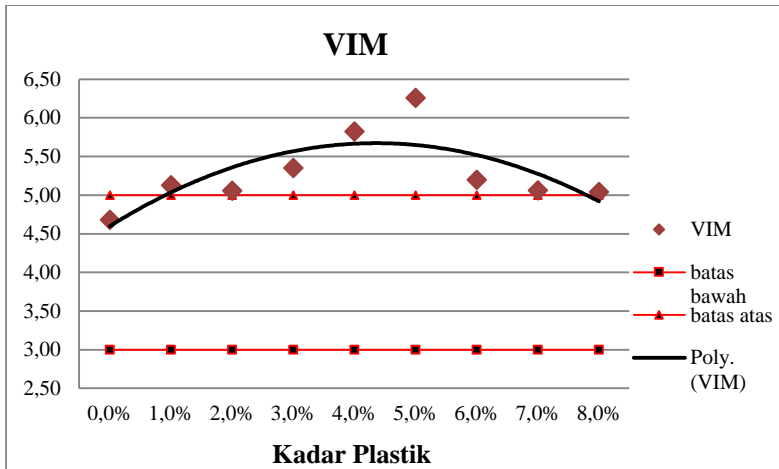
$$\text{VIM} = 100 \times \frac{\text{Density}}{\text{BJ. Teoritis Max.}}$$

$$\text{VIM} = 100 \times \frac{2,43}{2,55}$$

$$\text{VIM} = 4,679 \%$$

Tabel 4. 43. Hasil VIM Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Density (gr/cc)	BJ. Teori Max. (gr/cc)	VIM (%)	Syarat (%)	Ket
AP.0	0,0%	2,43	2,55	4,68	3,0-5,0	OK
AP.1	1,0%	2,42	2,55	5,13		NO
AP.2	2,0%	2,42	2,55	5,06		NO
AP.3	3,0%	2,41	2,55	5,35		NO
AP.4	4,0%	2,40	2,55	5,82		NO
AP.5	5,0%	2,39	2,55	6,26		NO
AP.6	6,0%	2,41	2,55	5,20		NO
AP.7	7,0%	2,42	2,55	5,06		NO
AP.8	8,0%	2,42	2,55	5,04		NO



Gambar 4. 14. Grafik VIM Aspal Plastik

Nilai VIM cenderung mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar plastik. Nilai VIM tertinggi pada kadar plastik sebesar 5,0%. Setelah kadar plastik 5%, nilai VIM mengalami penurunan. Tetapi nilai VIM masih di atas aspal non plastik. Hal ini diakibatkan karena dengan penambahan plastik kasar rongga pada material tidak terisi oleh plastik dengan sempurna sehingga VIM mengalami peningkatan. Berdasarkan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh (Widodo et al., 2014), nilai VIM pada campuran laston yang tidak menggunakan PET akan cenderung lebih rendah dibandingkan dengan campuran laston yang menggunakan PET. Hal ini menyatakan hasil penelitian ini mendekati dengan penelitian terdahulu.

Penambahan kadar plastik nilai VIM tidak masuk pada spesifikasi Binamarga, 2010. Hal ini disebabkan oleh berat jenis plastik lebih rendah dari pada berat jenis aspal. Maka nilai VIM tidak dapat menggunakan berat *density* sebagai penentuan nilai VIM. Maka nilai VIM menggunakan *density* SSD dibagi berat jenis teori maksimum. Berikut hasil VIM dengan menggunakan *density* SSD.

Adapun rekapitulasi dan contoh penghitungan Density SSD sebagai berikut :

Rumus :

$$\text{Density SSD} = \frac{\text{Berat SSD}}{\text{Berat SSD} - \text{Berat dalam Air}}$$

$$\text{Density SSD} = \frac{1190,3}{1190,3 - 702,5}$$

$$\text{Density SSD} = 2,44 \text{ gr/cc}$$

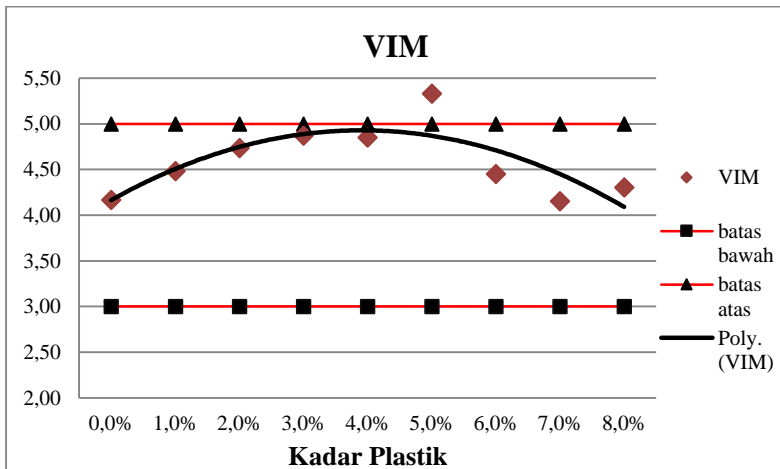
Tabel 4. 44. *Density* SSD Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Berat Jenuh (gram)	Berat Dalam Air (gram)	Isi Benda Uji (gram)	Density SSD (gr/cc)
AP.0	0,0%	1190,3	702,5	487,8	2,44
AP.1	1,0%	1189,7	700,5	489,2	2,43
AP.2	2,0%	1185,3	696,7	488,7	2,43
AP.3	3,0%	1187,7	697,3	490,3	2,42
AP.4	4,0%	1193,2	700,7	492,5	2,42
AP.5	5,0%	1195,2	699,3	495,8	2,41
AP.6	6,0%	1196,2	704,5	491,7	2,43
AP.7	7,0%	1198,7	707,5	491,2	2,44
AP.8	8,0%	1194,2	704,2	490,2	2,44

Adapun rekapitulasi penghitungan VIM dengan menggunakan *density* SSD sebagai berikut :

Tabel 4. 45. Hasil VIM Aspal Plastik dengan *Density* SSD

Kode Benda Uji	% Plastik	<i>Density</i> (gr/cc)	BJ. Teori Max. (gr/cc)	VIM (%)	Syarat (%)	Ket
AP.0	0,0%	2,44	2,55	4,17	3,0-5,0	OK
AP.1	1,0%	2,43	2,55	4,48		OK
AP.2	2,0%	2,43	2,55	4,73		OK
AP.3	3,0%	2,42	2,55	4,87		OK
AP.4	4,0%	2,42	2,55	4,85		OK
AP.5	5,0%	2,41	2,55	5,33		NO
AP.6	6,0%	2,43	2,55	4,45		OK
AP.7	7,0%	2,44	2,55	4,15		OK
AP.8	8,0%	2,44	2,55	4,30		OK

Gambar 4. 15. Grafik VIM Aspal Plastik dengan *Density* SSD

Berdasarkan hasil penghitungan diatas, maka nilai VIM memenuhi spesifikasi binamarga,2010 kecuali pada kadar plastik 7,0%. Nilai VIM yang digunakan ialah nilai dengan menggunakan *density* SSD.

4.9.3. Void In Material Agregat (VMA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara dalam agregat pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitugan :

Kadar Aspal 1%

Rumus :

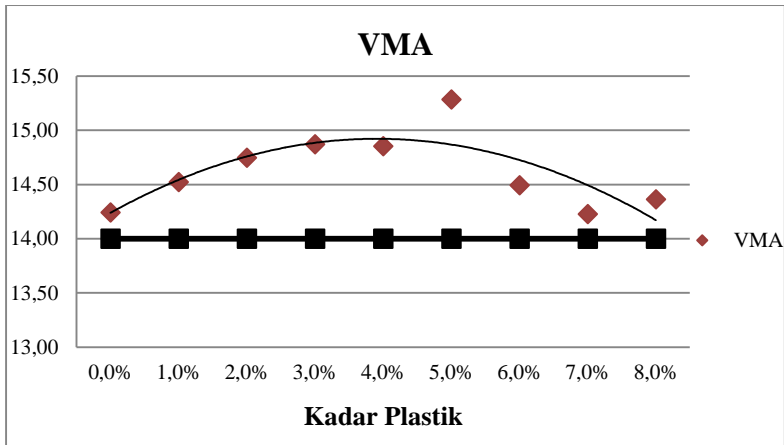
$$VMA = 100 - \frac{(100 - \% \text{Kadar Aspal}) \times \text{Density}}{\text{BJ. Bulk Agregat}}$$

$$VMA = 100 - \frac{(100 - 5,80) \times 2,44}{2,68}$$

$$VMA = 14,24 \%$$

Tabel 4. 46. Hasil VMA Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Density (gr/cc)	BJ. Bulk Agg. (gr/cc)	VMA (%)	Syarat (%)	Ket
AP.0	0,0%	2,44	2,68	14,24	14	OK
AP.1	1,0%	2,43	2,68	14,52		OK
AP.2	2,0%	2,43	2,68	14,75		OK
AP.3	3,0%	2,42	2,68	14,87		OK
AP.4	4,0%	2,42	2,68	14,85		OK
AP.5	5,0%	2,41	2,68	15,28		OK
AP.6	6,0%	2,43	2,68	14,49		OK
AP.7	7,0%	2,44	2,68	14,23		OK
AP.8	8,0%	2,44	2,68	14,36		OK



Gambar 4. 16. Gambar VMA Aspal Plastik

Nilai VMA tertinggi pada kadar aspal 5,0% yaitu sebesar 16,11%. Seluruh variasi campuran memenuhi spesifikasi binamarga,2010 yaitu nilai VMA >14%. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), semakin bertambah kadar PET maka semakin meningkat nilai VMA nya. Nilai VMA ini juga sama menentukannya seperti nilai VIM faktor yang mempengaruhinya pun sama seperti nilai VIM. Maka berdasarkan penelitian ini dan penelitian terdahulu dengan penambahan kadar plastik, nilai VMA cenderung mengalami peningkatan. Peningkatan ini disebabkan adanya serat halus plastik dan sifat aspal yang ditingkatkan pada campuran. Akibatnya tingkat plastis yang lebih tinggi, semakin tinggi juga nilai VMA (Widojoko & Purnamasari, 2012).

4.9.4. Void Filled Asphalt (VFA)

Berikut adalah hasil analisa rongga udara yang diisi aspal pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 1%

Rumus :

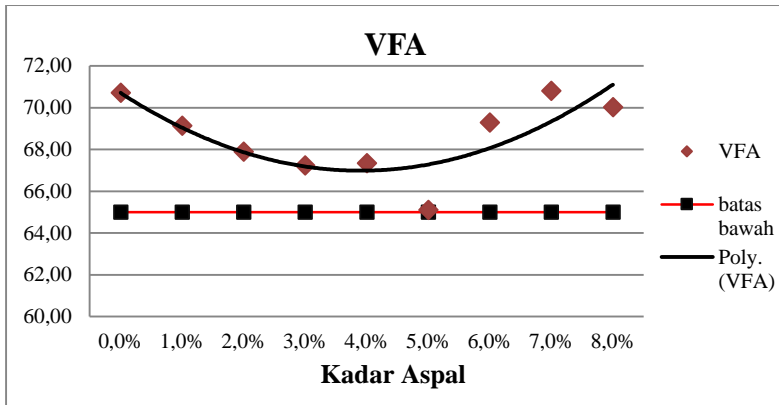
$$\text{VFA} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}}$$

$$\text{VFA} = 100 \times \frac{14,70 - 4,68}{14,70}$$

$$\text{VFA} = 68,167 \%$$

Tabel 4. 47. Hasil VFA Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Density (gr/cc)	VMA (gr/cc)	VIM (%)	VFA (%)	Syarat (%)	Ket
AP.0	0,0%	2,44	14,24	4,17	70,73	65	OK
AP.1	1,0%	2,43	14,52	4,48	69,13		OK
AP.2	2,0%	2,43	14,75	4,73	67,90		OK
AP.3	3,0%	2,42	14,87	4,87	67,24		OK
AP.4	4,0%	2,42	14,85	4,85	67,34		OK
AP.5	5,0%	2,41	15,28	5,33	65,11		OK
AP.6	6,0%	2,43	14,49	4,45	69,30		OK
AP.7	7,0%	2,44	14,23	4,15	70,81		OK
AP.8	8,0%	2,44	14,36	4,30	70,03		OK



Gambar 4. 17. Grafik VFA Aspal Plastik

Berdasarkan grafik diatas dapat dilihat, seluruh variasi memenuhi spesifikasi binamarga, 2010. Berdasarkan (Prameswari et al., 2016), bahwa dengan penambahan PET nilai VFA menurun. Apabila Nilai VFA akibat penambahan PET ada yang tidak memenuhi syarat spesifikasi. Nilai VFA yang semakin kecil bisa disebabkan karena plastik (PET) kurang tercampur dengan baik sehingga kurang mengisi rongga-rongga yang ada. Berdasarkan penelitian ini dan penelitian terdahulu memiliki kedekatan hasil.

4.9.5. Stabilitas

Berikut adalah hasil analisa stabilitas pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 1%

Rumus :

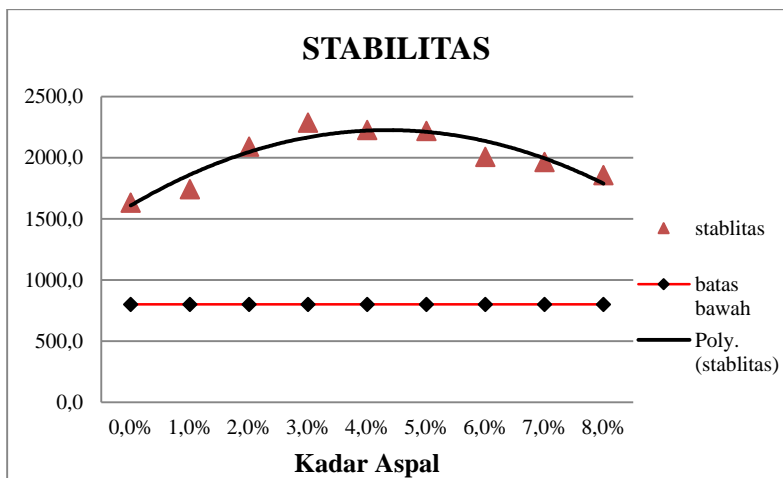
$$\text{Stabilitas} = \text{Nilai Bacaan} \times \text{Kalibrasi} \times \text{Koreksi Volume}$$

$$\text{Stabilitas} = 122 \times 13,902 \times 0,96$$

$$\text{Stabilitas} = 1632,7 \text{ Kg}$$

Tabel 4. 48. Hasil Stabilitas Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Bacaan Kg	Kalibrasi x Koreksi Volume	Stabilitas Kg	Syarat Kg	Ket
AP.0	0,0%	122,33	13,90 x 0,96	1632,7	> 800	OK
AP.1	1,0%	130,67	13,90 x 0,96	1743,9		OK
AP.2	2,0%	156,67	13,90 x 0,96	2090,9		OK
AP.3	3,0%	171,33	13,90 x 0,96	2286,6		OK
AP.4	4,0%	167,00	13,90 x 0,96	2228,8		OK
AP.5	5,0%	166,33	13,90 x 0,96	2219,9		OK
AP.6	6,0%	150,33	13,90 x 0,96	2006,3		OK
AP.7	7,0%	147,33	13,90 x 0,96	1966,3		OK
AP.8	8,0%	139,33	13,90 x 0,96	1859,5		OK



Gambar 4. 18. Grafik Stabilitas Aspal Plastik

Berdasarkan grafik diatas dengan penambahan plastik, stabilitas *marshall* mengalami peningkatan. Pada kadar plastik 3% merupakan nilai stabilitas tertinggi yaitu sebesar 2286,6 Kg. Kadar plastik 3% merupakan campuran optimum, sehingga pada kadar aspal 4% nilai stabilitas mengalami penurunan. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Widojoko & Purnamasari, 2012), grafik kenaikan kadar aspal menghasilkan ikatan yang lebih kuat antara agregat, aspal dan plastik. Akibatnya, stabilitas meningkat. Namun, saat kandungan aspal melebihi kadar optimum maka mengalami penebalan pada selaput aspal. Hal tersebut mengakibatkan aspal mudah bergeser dan menyebabkan deformasi campuran dan stabilitas campuran menurun. Maka berdasarkan hasil penelitian ini dan penelitian terdahulu bahwa nilai stabilitas selalu berbentuk parabola. Memiliki nilai puncak , nilai puncak tersebut merupakan nilai optimum kadar campuran aspal plastik.

4.9.6. *Flow* (Kelelahan)

Berikut adalah hasil analisa *flow* pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitungan

Kadar Aspal 1%

Rumus :

$$Flow = \text{Angka Bacaan} \times 0,01$$

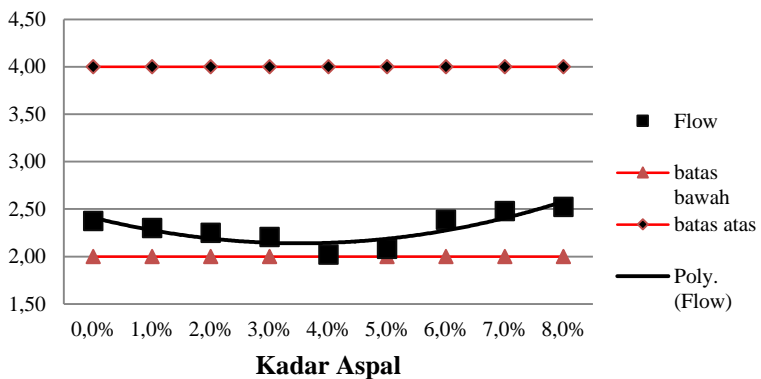
$$\text{Stabilitas} = 237,33 \times 0,01$$

$$\text{Stabilitas} = 2,373 \text{ mm}$$

Tabel 4. 49. Hasil *Flow* Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Aspal	Bacaan	Konversi (mm)	<i>Flow</i> (mm)	Syarat (%)	Ket
AP.0	0,0%	237,33	0,01	2,37	2,0-4,0	OK
AP.1	1,0%	230,00	0,01	2,30		OK
AP.2	2,0%	225,00	0,01	2,25		OK
AP.3	3,0%	220,33	0,01	2,20		OK
AP.4	4,0%	202,00	0,01	2,02		OK
AP.5	5,0%	208,00	0,01	2,08		OK
AP.6	6,0%	238,67	0,01	2,39		OK
AP.7	7,0%	247,67	0,01	2,48		OK
AP.8	8,0%	252,33	0,01	2,52		OK

FLOW

Gambar 4. 19. Grafik *Flow* Aspal Plastik

Berdasarkan grafik diatas nilai *flow* cenderung mengalami penurunan. Nilai *flow* terendah pada kadar plastik 4,0% yaitu

sebesar 2,02 mm dan tertinggi pada kadar plastik 8,0% yaitu sebesar 2,52 mm. Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan oleh (Prameswari et al., 2016), bahwa nilai flow ada yang mengalami peningkatan dan penurunan. Besar nilai flow dipengaruhi oleh besar kadar rongga dalam campuran, semakin banyak rongga yang tercipta menciptakan rongga-rongga yang nantinya bisa terisi oleh udara karena tidak terisi filler ataupun aspal, sehingga ketika di uji dengan pembebanan benda uji cenderung cepat retak. Maka berdasarkan hasil VIM dan *flow* memiliki grafik yang sama yaitu berbentuk parabola, VIM parabola menghadap kebawah sedangkan *flow* berbentuk parabola enghadap kebawah.

4.9.7. Marshall Quotient (MQ)

Berikut adalah hasil analisa *marshall quotient* pada campuran aspal plastik :

Contoh penghitugan

Kadar Aspal 1%

Rumus :

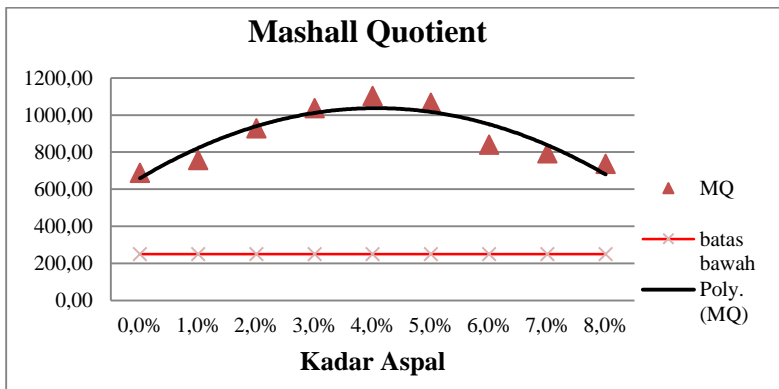
$$MQ = \frac{\text{Stabilitas}}{\text{Flow}}$$

$$MQ = \frac{1633}{2,37}$$

$$MQ = 687,91 \text{ Kg/mm}$$

Tabel 4. 50. Hasil MQ Aspal Plastik

Kode Benda Uji	% Plastik	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	Syarat (Kg/mm)	Ket
AP.0	0,0%	1632,7	2,37	687,91	> 250	OK
AP.1	1,0%	1743,9	2,30	758,20		OK
AP.2	2,0%	2090,9	2,25	929,27		OK
AP.3	3,0%	2286,6	2,20	1037,79		OK
AP.4	4,0%	2228,8	2,02	1103,35		OK
AP.5	5,0%	2219,9	2,08	1067,25		OK
AP.6	6,0%	2006,3	2,39	840,64		OK
AP.7	7,0%	1966,3	2,48	793,93		OK
AP.8	8,0%	1859,5	2,52	736,93		OK



Gambar 4. 20. Grafik MQ Aspal Plastik

Berdasarkan grafik diatas nilai *marshall quotient* menyerupai nilai stabilitas *marshall*. Berdasarkan spesifikasi binamarga,2010 seluruh varian memenuhi spesifikasi. Nilai tertinggi pada kadar plastik 4% yaitu sebesar 1103,35 Kg/mm. Menurut (Prameswari

et al., 2016), MQ merupakan angka yang menyatakan tingkat kelenturan (*flexibility*) suatu campuran. Semakin besar nilai MQ menunjukkan bahwa campuran aspal tersebut kurang baik karena menunjukkan campuran aspal semakin getas. Berdasarkan hasil grafik diatas dengan penambahan PET nilai mQ mengalami peningkatan, artinya campuran semakin mengalami gets alias mudah mengalami retak.

4.9.8. Menentukan Kadar Plastik Optimum

Tabel 4. 51. Rekapitulasi Analisa Parameter Pengujian *Marshall* Aspal Plastik

Pengujian	syarat	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%	7,0%	8,0%
STABILITAS	>800 Kg	1632,7	1743,9	2090,9	2286,6	2228,8	2219,9	2006,3	1966,3	1859,5
FLOW	(2-4) mm	2,37	2,30	2,25	2,20	2,02	2,08	2,39	2,48	2,52
VIM	(3-5) %	4,17	4,48	4,73	4,87	4,85	5,33	4,45	4,15	4,30
VMA	>14%	14,24	14,52	14,75	14,87	14,85	15,28	4,45	14,23	14,36
VFA	>65%	70,72	69,13	67,90	67,24	67,34	65,11	69,30	70,81	70,03
QM	>250Kg/mm	687,91	758,20	929,27	1037,8	1103,4	1067,2	840,64	793,93	736,93

Tabel 4. 52. Cek Rekapitulasi Analisa Parameter Pengujian *Marshall* Aspal Plastik

PENGUJIAN	SYARAT	0,0%	1,0%	2,0%	3,0%	4,0%	5,0%	6,0%	7,0%	8,0%
STABILITAS	>800 Kg	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
FLOW	(2-4) mm	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
VIM	(3-5) %	OK	OK	OK	OK	NO	OK	OK	OK	OK
VMA	>14%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
VFA	>65%	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK
QM	>250Kg/mm	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK	OK

Berdasarkan rekapitulasi diatas, nilai kadar plastik yang optimum ialah pada kadar plastik 3%. Hal ini berdasarkan kadar plastik 3% memiliki nilai stabilitas tertinggi serta nilai parameter lainnya memenuhi spesifikasi binamarga,2010.

4.10 Rencana Anggaran Biaya (RAB)

Adapun Rencana Anggaran Biaya untuk aspal normal dan aspal plastik sebagai berikut :

Menghitung kebutuhan 1m³

Diketahui berat jenis campuran aspal sebesar 2,42 t/m³. Maka kebutuhan 1m³ ialah = $1 \times 2,42 = 2,42$ Ton. Jika di konversi ke kilogram ialah $2,42 \text{ ton} \times 1000 = 2420 \text{ Kg}$.

Tabel 4. 53. Berat Campuran per m³ Non Plastik

Material		Kadar
Berat Sampel		2420 Kg
Kadar Aspal Optimum		5,80 %
Persentase Kadar Plastik		0,0 %
Berat Kadar Plastik		0,0 Kg
Berat Kadar Aspal		140 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	: 20 %	456 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	: 20 %	456 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	: 15 %	342 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	: 45 %	1026 Kg
TOTAL =		2420 Kg

Tabel 4. 54. RAB per m³ Aspal Non Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	140 Kg	Rp. 6000,-	Rp. 840.000,-
Berat Plastik	0 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 0
Berat Agg. (10-20)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (10-10)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (5-10)mm	342 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.355,84,-

Tabel 4. 55. Lanjutan RAB per m³ Aspal Non Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Agg. (0-5)mm	1026 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 41.040,-
Total			Rp. 955.678,-

Tabel 4. 56. Berat Campuran per m³ Non Plastik

Material			Kadar
Berat Sampel			2420 Kg
Kadar Aspal Optimum			5,80 %
Persentase Kadar Plastik			3,0 %
Berat Kadar Plastik			4,2 Kg
Berat Kadar Aspal			135,8 Kg
Berat Agg. Kasar (10-20)mm	:	20 %	456 Kg
Berat Agg. Kasar (10-10)mm	:	20 %	456 Kg
Berat Agg. Kasar (5-10)mm	:	15 %	342 Kg
Berat Agg. Kasar (0-5)mm	:	45 %	1026 Kg
TOTAL =			2420 Kg

Tabel 4. 57. RAB per m³ Aspal Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	135,8 Kg	Rp. 6000,-	Rp. 814.800,-
Berat Plastik	4,2 Kg	Rp. 7.000,-	Rp. 29.400,-
Berat Agg. (10-20)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (10-10)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (5-10)mm	342 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.355,84,-
Berat Agg. (0-5)mm	1026 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 41.040,-
Total			Rp. 959.878,-

Jika harga plastik dianggap limbah, jadi harga plastik menjadi Rp. 0,- maka berikut rencana anggaran biayanya

Tabel 4. 58. RAB per m³ Aspal Plastik limbah

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	135,8 Kg	Rp. 6000,-	Rp. 814.800,-
Berat Plastik	4,2 Kg	Rp. 0,-	Rp. 0,-
Berat Agg. (10-20)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (10-10)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (5-10)mm	342 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.355,84,-
Berat Agg. (0-5)mm	1026 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 41.040,-
Total			Rp. 930.478,-

Maka akan menghemat anggaran sebesar Rp. 959.878 - Rp. 930.478= Rp. 29.400,- per m³ atau 3,1 % per m³ dari anggaran.

Jika harga plastik dianggap 50% limbah dan 50% biaya oprasional pemungutan hingga pencacahan sehingga harga plastik menjadi Rp. 3.500,- maka berikut rencana anggaran biayanya

Tabel 4. 59. RAB per m³ Aspal Plastik (50% limbah, 50% biaya oprasional)

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per Kg)	Total
Berat Aspal	135,8 Kg	Rp. 6000,-	Rp. 814.800,-
Berat Plastik	4,2 Kg	Rp. 3500,-	Rp. 14.700,-
Berat Agg. (10-20)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (10-10)mm	456 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 27.141,12,-
Berat Agg. (5-10)mm	342 Kg	Rp. 59,52,-	Rp. 20.355,84,-
Berat Agg. (0-5)mm	1026 Kg	Rp. 40,00,-	Rp. 41.040,-
Total			Rp. 945.178,-

Maka akan menghemat anggarn sebesar Rp. 959.878 - 945.178= Rp. 14.700,- per m³ atau 1,53 % per m³ dari anggaran.

Menghitung kebutuhan 1 benda uji

Tabel 4. 60. RAB 1 benda Uji Non Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per gram)	Total
Berat Aspal	69 gram	Rp. 6,-	Rp. 414,-
Berat Plastik	0 gram	Rp. 7,-	Rp. 0,-
Berat Agg. (10-20)mm	226,08 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 13,6,-
Berat Agg. (10-10)mm	226,08 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 13,6,-
Berat Agg. (5-10)mm	169,56 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 10,2,-
Berat Agg. (0-5)mm	508,68 gram	Rp. 0,04,-	Rp. 20,4,-
Total			Rp. 471,8,-

Tabel 4. 61. RAB 1 benda Uji Aspal Plastik

Material	Berat (Kg)	Harga Satuan (per gram)	Total
Berat Aspal	68,208 gram	Rp. 6,-	Rp. 409,3,-
Berat Plastik	0,696 gram	Rp. 7,-	Rp. 4,9,-
Berat Agg. (10-20)mm	226,08 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 13,6,-
Berat Agg. (10-10)mm	226,08 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 13,6,-
Berat Agg. (5-10)mm	169,56 gram	Rp. 0,06,-	Rp. 10,2,-
Berat Agg. (0-5)mm	508,68 gram	Rp. 0,04,-	Rp. 20,4,-
Total			Rp. 472,-

Rencana anggaran biaya untuk satu benda uji non aspal plastik dan aspal plastik berturut-turut sebagai berikut Rp. 471,8 dan Rp. 472,-.

“Halaman ini sengaja di kosongkan”

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan yang telah dilakukan, adapun kesimpulan yang diperoleh sebagai berikut :

1. Rancangan proporsi campuran AC-BC dengan penambahan plastik PET dengan kadar plastik 3% adalah kadar optimum dengan proporsi 67,51 gr aspal, 2,08 gr plastik, 226,08 gr agregat ukuran 10-20, 226,08 gr agregat ukuran 10-10, 169,56 gr agregat ukuran 5-10, dan 508 gr agregat ukuran 0-5.
2. Berdasarkan hasil analisa parameter pengujian *marshall* campuran dengan kadar aspal 3% memiliki *density* sebesar 2,41 gr/cc, stabilitas sebesar 2286,6 Kg, *flow* sebesar 2,20 mm, VIM sebesar 5,35%, VMA sebesar 15,30% dan VFA sebesar 65,02%.
3. Rencana Anggaran biaya per m³ campuran aspal non plastik sebesar Rp. 955.678,-. Sedangkan campuran aspal dengan penambahan plastik sebesar Rp. 930.478,- dengan plastik di anggap ber nilai Rp. 0,- (limbah). Penambahan plastik pada campuran aspal dapat menghemat anggaran biasanya sebesar 3,1% atau senilai Rp. 29.400,- per m³

5.2 Saran

Adapun saran untuk pengembangan penelitian ini sebagai berikut :

1. Metode penelitian ini alangkah baiknya di kembangkan lagi yaitu pada proses penentuan kadar aspal optimum (KAO). Setiap penambahan kadar plastik pada campuran aspal akan mengalami penurunan kepadatan, hal ini akan mempengaruhi hasil uji *marshall*. Saran dari peneliti yaitu KAO dilakukan pada setiap variasi penambahan kadar plastik pada campuran.
2. Untuk penelitian selanjutnya disarankan jenis plastik yang digunakan lebih variatif, karena plastik memiliki banyak

jenis sehingga seluruh limbah plastik dapat digunakan sebagai material tambahan pada campuran aspal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arianti, Nasrul, & Balaka, R. (2015). ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN POLYETHYLENE TEREPHALATE TAMBAH PADA CAMPURAN LASTON AC-BC, *6*(2), 25–32.
- Hoegh-Guldberg, O. ., Cai, R. ., Poloczanska, E. S. ., Brewer, P. G. ., Sundby, S. ., Hilmi, K. ., ... Jung, S. . (2015). The ocean. *Climate Change 2014: Impacts, Adaptation and Vulnerability: Part B: Regional Aspects: Working Group II Contribution to the Fifth Assessment Report of the Intergovernmental Panel on Climate Change*, (January), 1655–1734.
<https://doi.org/10.1017/CBO9781107415386.010>
- Karuniastuti, N. (2014). Bahaya Plastik Terhadap Kesehatan Dan Lingkungan. *Forum Teknologi*, *3*(1), 60–68. Retrieved from http://pusdiklatmigas.esdm.go.id/file/t2-_Bahaya_Plastik_---_Nurhenu_K.pdf
- Moghaddam, T. B., Karim, M. R., & Soltani, M. (2013). Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture. *Journal of Engineering Science and Technology*, *8*(3), 264–271.
<https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2013.11.101>
- Prameswari, P. A., Pratomo, P., & Herianto, D. (2016). Pengaruh Pemanfaatan PET pada Laston Lapis Pengikat Terhadap Parameter Marshall, *4*(2), 294–305. Retrieved from <http://digilib.unila.ac.id/21664/>
- Purnamasari, P. E., & Suryaman, F. (2010). Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Lapis Aspal Beton (Laston). *Konferensi Nasional Teknik Sipil 4 (KoNTekS 4)*, *4*(KoNTekS 4), 2–3.

- Soandrijanie, J. F., Leo, L., & Triantoro, P. (2014). Pengaruh Plastik Polyethylene Terephthalate Pada HRS-WC, 8(2004), 16–18.
- Suhardi, Pratomo, P., & Ali, H. (2016). Studi Karakteristik Marshall Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *Jurnal Rekayasa Sipil Dan Desain*, 4(2), 284–293.
- Widodo, A. D., Jihan, M. A., Nugroho, A., Mugiono, T., Kuncoro, A. H. B., & Hardwiyono, S. (2014). Jurnal penelitian, 1–12.
- Widjojoko, L., & Purnamasari, P. E. (2012). Study the Use of Cement and Plastic bottle Waste as Ingredient Added to the Asphaltic Concrete Wearing Course. *Procedia - Social and Behavioral Sciences*, 43, 832–841. <https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.04.158>
- kimpraswil, d. (2002). *Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas*. jakarta: direktorat jenderal prasarana wilayah.
- PU Bina Marga, S. U. (2010). *Penyediaan Pekerjaan Kontruksi (Pemborongan) untuk Kontrak Harga Satuan*. jakarta: kementerian Pekerjaan umum.

LAMPIRAN

BIODATA PENULIS



Penulis bernama lengkap Ahmad Faqihul Muqodda. Lahir di Bangkalan Madura, 20 Juni 1996 merupakan anak bungsu dari 2 bersaudara. Penulis telah menempuh pendidikan format TK YKK Bangkalan, SDN Bancaran 02 Bangkalan, SMPN 1 Bangkalan, dan SMAN 4 Bangkalan. Setelah menempuh pendidikan SMA, penulis melanjutkan pendidikan di jurusan D III Teknik Sipil Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Volkasi ITS pada tahun 2014 dan terdaftar dengan NRP. Dan lulus 2017. Selanjutnya penulis melanjutkan program D-IV lanjut jenjang di Departemen Teknik Infrastruktur Sipil Fakultas Volkasi ITS dan lulus pada tahun 2018. Penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir program D-IV mengambil judul “Pemanfaatan Limbah Plastik PET (*polyethylene terephthalate*) pada campuran AC-BC (*asphalt concrete – binder course*) sebagai *eco-material*. Tugas akhir ini semoga dapat bermanfaat. Penulis bisa dihubungi di faqihulm20@gmail.com

Alhamdulillah walaaila hailAllah Allahuakbar

Puji syukur kehadirat Allah telah memberi kelancaran dalam penulisan tugas akhir ini. Semoga tugas ini bermanfaat dan diberkahi Allah S.W.T.

Saya mengucapkan terimakasih kepada pihak-pihak yang telah support dan membantu ikhtiar pengerjaan tugas akhir ini yaitu

1. Kedua orang tua Moh. Makhrus S.Pd., M.Si dan Atik Zainab S.Pd., M.Si dan saudara perempuan saya Rozana Ni'Matul Jannah S.Pd yang telah memberikan support dan doa restu dalam penulisan tugas akhir ini alhamdulillah berhasil pak, buk.
2. Dosen pembimbing saya Bapak Dr. Machsus., S.T., M.T yang telah membimbing dan memberi ilmu kepada saya sehingga tugas akhir bisa terselesaikan. Terimakasih pak semoga Allah senantiasa memberi keberkahan, syafaat dan kesehatan untuk bapak. Aamiin.
3. Tim penelitian aspal plastik Derina, Farah, Icha serta Tim dosen penelirian aspal plastik yaitu Bapak khoiri, Bapak rahmat, Bapak agung, Ibu amalia.
4. Teman teman LJ 2017 yang telah support dan saling mendoakan semoga kita semua menjadi mahasiswa yang dapat menjawab permasalahan-permasalahan dunia dan meberikan kerbermafaatan untuk masyarakat.
5. Teman teman DS 35 yang telah support sekses semua rek yaaa ... barakallahu
6. Jamaah Masjid Al-Azhar (JMAA) yang telah membantu membentuk jadi diri ini. Ya allah berkahi dan lapangkan ilmu dalam majelis majelis JMAA terus erkembang dakwah dakwah kreatif dan menciptakan pemuda qur'ani. Aaamiin.
7. Diploma Sipil Champion telah memberikan banyak ilmu manajemen dan pengembangan prestatif di kampus ITS MANYAR. Semoga barokah yaaa...

8. Terakhir terimakasih kepada semua pihak-pihak yang telah support pengerjaan tugas akhir ini dan terimakasih kepada pembaca maaf yaa kalau ini belum sempurna semoga bermanfaat.

Jazakumullahu khairan katshiran ...

Langkah-Langkah Pembuatan Benda Uji Kadar Aspal Optimum (KAO)



Penimbangan



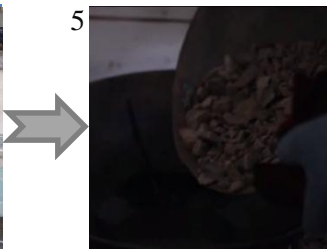
Pemanasan
Agregat



Pemanasan
Aspal



Penimbangan
Aspal



Penuangan
Agregat

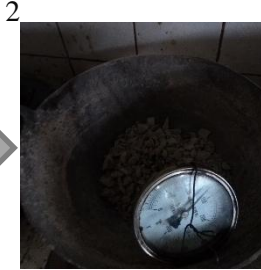


Pengadukan
Hingga Homogen

Langkah-Langkah Pembuatan Benda Uji Aspal Plastik



Penimbangan



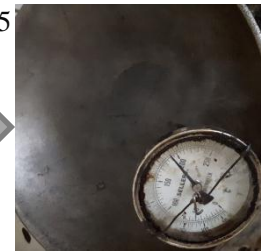
Pemanasan Agregat



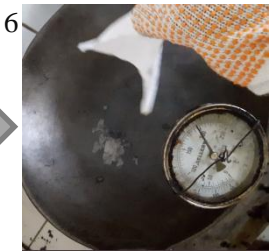
Pemanasan Aspal



Penimbangan Aspal



Pemanasan Aspal hingga 200°C



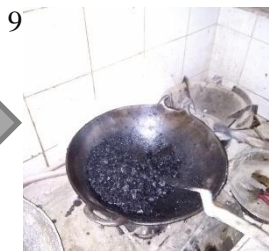
Memasukkan Plastik



Pengadukan Aspal dan Plastik



Penuangan Agregat



Pengadukan Hingga Homogen