

**TUGAS AKHIR**

**KINERJA CAMPURAN AC-WC DENGAN BAHAN  
IKAT ASPAL MODIFIKASI BERBAHAN TAMBAH  
LIMBAH PLASTIK DENGAN VARIASI RENDAMAN  
AIR HUJAN**

***(PERFORMANCE OF AC-WC MIXTURE WITH  
MODIFIED ASPHALT BINDER MATERIAL MADE  
FROM ADDED PLASTIC WASTE WITH VARIATIONS  
OF RAINWATER BATHS)***

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi  
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Fathoni Abdul Mukti  
20511420**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
2024**

## TUGAS AKHIR

# KINERJA CAMPURAN AC-WC DENGAN BAHAN IKAT ASPAL MODIFIKASI BERBAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK DENGAN VARIASI RENDAMAN AIR HUJAN (PERFORMANCE OF AC-WC MIXTURE WITH MODIFIED ASPHALT BINDER MATERIAL MADE FROM ADDED PLASTIC WASTE WITH VARIATIONS OF RAINWATER BATHS)

Disusun Oleh

**Fathoni Abdul Mukti**  
20511420

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tangga; 08 Mei 2024  
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng.,  
IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 015110101

Penguji I

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T  
NIK : 215111307

Penguji II

Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D  
NIK : 955110103

Mengesahkan



Ketua Program Studi Teknik Sipil

a.n. Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., IPM.  
NIK : 095110101

## PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah, dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila di kemudian hari ditemukan seluruh atau sebagian laporan Tugas Akhir ini bukan hasil karya saya sendiri atau adanya plagiasi dalam bagian-bagian tertentu, saya bersedia menerima sanksi, termasuk pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 09 Mei 2024

Yang membuat pernyataan



Fathoni Abdul Mukti

(20511420)

## LEMBAR DEDIKASI



"Sains dapat menghibur dan memesona kita semua, tetapi teknikalah yang dapat mengubah dunia."

**- Isaac Asimov**

"I dedicate this research to everyone involved in the world of Civil Engineering"

**- F A Mukti**

## ABSTRAK

Indonesia dikenal sebagai negara tropis karena sebagian besar wilayahnya terletak di sekitar khatulistiwa, sehingga curah hujan tinggi menjadi salah satu dampaknya. Hal ini memiliki potensi untuk mempengaruhi kinerja stabilitas, daya tahan tarik, dan ketahanan terhadap abrasi perkerasan jalan. Dalam upaya inovasi meningkatkan kekuatan stabilitas, daya tahan tarik, dan ketahanan perkerasan tersebut, penggunaan limbah plastik, yang saat ini merupakan masalah lingkungan, menjadi solusi yang diusulkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi dampak penggunaan aspal yang dimodifikasi dengan limbah plastik *PET* dalam campuran *AC-WC* dengan variasi waktu rendaman air hujan terhadap nilai stabilitas, *Indirect Tensile Strength*, dan *Cantabro Loss*.

Penelitian ini menggunakan metode eksperimental yang melibatkan serangkaian percobaan dengan metode pencampuran pada aspal untuk mengumpulkan data, yang selanjutnya diolah untuk memperoleh hasil. Hasil penelitian tersebut akan dibandingkan dengan standar spesifikasi yang berlaku, termasuk peraturan yang ditetapkan oleh *American Association of State Highway and Transport* (1974), Standar Nasional Indonesia (2002), dan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2.

Penggunaan *PET* sebagai tambahan dalam aspal *AC-WC* dengan pencampuran pada aspal memenuhi standar Bina Marga 2018 Revisi 2 dan dapat digunakan sebagai bahan tambahan dalam campuran perkerasan. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa kadar *PET* optimum sebesar 4% terhadap berat aspal memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2. Uji karakteristik stabilisasi aspal *Non-PET* dan *PET* akibat variasi rendaman air hujan menunjukkan penurunan signifikan dalam stabilitas. Sementara itu, pengaruh penambahan *PET* pada variasi rendaman air hujan menunjukkan hasil yang tidak signifikan. Pengujian *Indirect Tensile Strength* menunjukkan pengaruh signifikan pada variasi rendaman 0 jam, tetapi tidak pada lainnya. Di sisi lain, nilai *Cantabro Loss* akibat penambahan *PET* pada campuran menunjukkan kenaikan nilai kehilangan berat yang tidak signifikan.

**Kata kunci:** Aspal, Limbah Plastik, *PET*, Modifikasi, Air Hujan

## **ABSTRACT**

*Indonesia is known as a tropical country because most of its territory is located around the equator, so high rainfall is one of the impacts. This has the potential to affect the performance of stability, tensile durability, and resistance to pavement abrasion. In an innovation effort to improve the strength of stability, tensile durability, and durability of such pavements, the use of plastic waste, which is currently an environmental problem, became a proposed solution. This study aims to evaluate the impact of using asphalt modified with PET plastic waste in an AC-WC mixture with variations in rainwater soaking time on the value of stability, Indirect Tensile Strength, and Cantabro Loss.*

*This research uses an experimental method that involves a series of experiments with mixing methods on asphalt to collect data, which is then processed to obtain results. The results of the study will be compared with applicable specification standards, including regulations set by the American Association of State Highway and Transport (1974), Indonesian National Standards (2002), and General Specifications of Highways in 2018 Revision 2.*

*The use of PET as an additive in AC-WC asphalt by mixing on asphalt meets the 2018 Revision 2 Highways standard and can be used as an additive in pavement mixtures. Marshall's test results show that the optimum PET content of 4% on asphalt weight meets the requirements of Highways 2018 Revision 2. Non-PET and PET asphalt stability characteristics tests due to rainwater bath variations showed a significant decrease in stability. Meanwhile, the effect of adding PET on rainwater bath variations showed insignificant results. Indirect Tensile Strength testing showed a significant effect on the 0-hour immersion variation, but not on others. On the other hand, the Cantabro Loss value due to the addition of PET to the mixture showed an insignificant increase in weight loss value.*

**Keywords:** *Asphalt, Plastic Waste, PET, Modification, Rainwater*

## KATA PENGANTAR

Segala puji bagi Allah SWT, Tuhan semesta alam, yang atas rahmat dan petunjuk-Nya, penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir berjudul "Kinerja Campuran AC-WC Dengan Bahan Ikat Aspal Modifikasi Berbahan Tambah Limbah Plastik Dengan Variasi Rendaman Air Hujan". Tugas Akhir ini disusun sebagai syarat untuk meraih gelar Sarjana Teknik Sipil dari Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

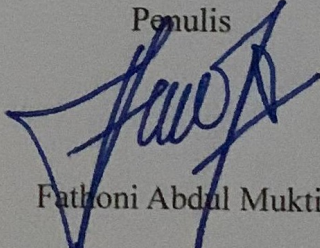
Penyusunan Tugas Akhir ini tidak terlepas dari berbagai hambatan yang dihadapi, namun dengan doa, dukungan, saran, dan semangat dari berbagai pihak, penulis berhasil menyelesaikannya. Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng. sebagai Dosen Pembimbing yang memberikan bimbingan dan dukungan dalam penyusunan Tugas Akhir ini,
2. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T. sebagai Dosen Penguji I dan Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. sebagai Dosen Penguji II yang memberikan masukan dan evaluasi untuk perbaikan ke depan,
3. Ibu Ir. Yunalia Muntafi, S.T., M.T., Ph.D., IPM. sebagai Ketua Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Ayah Muksin, S.H. dan Mamah Ikah Junikah, S.Pd. sebagai orang tua penyusun yang memberikan doa dan dukungan,
5. Mukhtarudin Ikhsan, S.Pd. sebagai kakak yang memberikan doa serta dukungan, dan
6. Seluruh pihak yang mendukung penelitian Tugas Akhir ini.

Penulis berharap Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca yang membacanya.

Yogyakarta, 08 Mei 2024

Penulis



Fathoni Abdul Mukti

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
LEMBAR DEDIKASI	iv
ABSTRAK	v
<i>ABSTRACT</i>	vi
KATA PENGANTAR	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	2
1.3. Tujuan Penelitian	2
1.4. Manfaat Penelitian	2
1.5. Batasan Penelitian	3
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	4
2.2. Pengaruh Rendaman Air Hujan Pada Campuran Aspal Campuran Beraspal Lapis Aus ( <i>AC-WC</i> )	5
2.3. Pengaruh Penggunaan Metode pada Pencampuran Bahan Tambah	6
2.4. Persamaan dan Perbandingan Antar Penelitian Terdahulu	7
BAB III LANDASAN TEORI	10
3.1. Perkerasan Lentur Jalan	10
3.2. Bahan Penyusun Perkerasan Lentur	10
3.2.1. Aspal/Bitumen	10
3.2.2. Agregat	12
	viii



3.3. Modifikasi Aspal	14
3.3.1. Modifikasi Aspal dengan <i>PET</i>	15
3.3.2. Dampak Air Hujan terhadap Aspal Modifikasi	16
3.4. Karakteristik <i>Marshall Test</i>	16
3.4.1. Stabilitas	17
3.4.2. Kelelehan	18
3.4.3. Kepadatan ( <i>Density</i> )	18
3.4.4. <i>Void In Mineral Agregate (VMA)</i>	19
3.4.5. <i>Void In Total Mix (VITM)</i>	20
3.4.6. <i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	21
3.4.7. <i>Marshall Quoiient (MQ)</i>	22
3.5. <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	23
3.6. <i>Cantabro Test</i>	24
3.7. Analisis Statistik	24
BAB IV METODE PELAKSANAAN	26
4.1. Metode Penelitian	26
4.2. Metode Pengambilan Data	26
4.3. Tahapan Penelitian	26
4.3.1. Pemeriksaan Material	27
4.3.2. Persiapan Alat	29
4.3.3. Perencanaan Campuran	30
4.3.4. Pembuatan Campuran Benda Uji	34
4.3.5. Pengujian <i>Marshall Test</i>	35
4.3.6. Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	36
4.3.7. Pengujian <i>Cantabro loss</i>	36
4.4. Analisis Data	37
4.3.8. Analisis Karakteristik <i>Marshall Test</i>	37
4.3.9. Analisis Pengujian <i>ITS</i>	38
4.3.10. Analisis Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	38
4.3.11. Analisis Statistik	38
4.5. Bagan Alir Penelitian	38

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN	40
5.1. Hasil pengujian Bahan dan Campuran	40
5.1.1. Hasil Karakteristik Aspal	40
5.1.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	41
5.1.3. Hasil Pengujian Asam-Basa Air Hujan Menggunakan Kertas Lakmus	42
5.1.4. Hasil Pengujian Campuran AC-WC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	42
5.1.5. Hasil Pengujian Campuran <i>AC-WC</i> untuk Menentukan Kadar <i>PET</i> Optimum (KPO) dari KAO	43
5.1.6. Hasil Pengujian Campuran <i>AC-WC</i> dengan menggunakan <i>PET</i> sebagai Bahan Tambah dan <i>Non-PET</i> pada KAO dan KPO	44
5.1.7. Hasil Analisis Statik <i>Anova</i>	46
5.2. Pembahasan	48
5.2.1. Karakteristik Agregat Kasar	49
5.2.2. Karakteristik Agregat Halus	50
5.2.3. Karakteristik Bahan Pengisi (Filler)	51
5.2.4. Karakteristik Aspal	51
5.2.5. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	53
5.2.6. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar <i>PET</i> Optimum dari KAO	60
5.2.7. Karakteristik <i>Stabilitas</i> dan <i>Kepadatan</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Tambah <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i> .	66
5.2.9. Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Tambah <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i>	68
5.2.10. Karakteristik <i>Cantabro</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Tambah <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i>	69
5.3. Tinjauan Karakteristik Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah <i>PET</i>	70
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	72
6.1. Kesimpulan	72

6.2. Saran	72
DAFTAR PUSTAKA	74
LAMPIRAN	77
Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	78
Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	79
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar	80
Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	81
Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE	81
Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	82
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi Ukuran 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	83
Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	84
Lampiran 9 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	85
Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm <sup>2</sup>	87
Lampiran 11 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup> dalam TCE	87
Lampiran 12 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	88
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	89
Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	90
Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	92
Lampiran 16 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	92
Lampiran 17 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk dalam TCE	93
Lampiran 18 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	95
Lampiran 19 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	96
Lampiran 20 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	97
Lampiran 21 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	98
Lampiran 22 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	99

Lampiran 23 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	100
Lampiran 24 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu	101
Lampiran 25 Sifat Campuran Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>	102
Lampiran 28 Sifat Campuran Aspal <i>PET</i> Dengan Metode <i>Marshall</i>	107
Lampiran 29 Rekapitulasi <i>Marshall PET</i> dan <i>Non-PET</i>	108
Lampiran 30 Pengujian <i>ITS Non-PET</i>	109
Lampiran 31 Pengujian <i>ITS PET</i>	110
Lampiran 32 Rekapitulasi <i>ITS PET</i> dan <i>Non-PET</i>	111
Lampiran 33 Rekapitulasi <i>Cantabro Loss PET</i> dan <i>Non-PET</i>	112
Lampiran 34 Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium	113
Lampiran 35 Time Schedule	114
Lampiran 36 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi	115
Lampiran 37 Hasil Uji <i>Anova Non-PET</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	116
Lampiran 38 Hasil Uji <i>Anova PET</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	118
Lampiran 39 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 0 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	120
Lampiran 40 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 24 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	122
Lampiran 41 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 48 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	124
Lampiran 42 Hasil Uji <i>Anova Indirect Tensile Ratio (ITS)</i>	126
Lampiran 43 Hasil Uji <i>Anova Cantabro Loss</i>	127

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	8
Tabel 3. 1 Ketentuan-ketentuan Aspal Keras	12
Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar	13
Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Halus	13
Tabel 3. 4 Ketentuan-ketentuan Aspal Modifikasi	14
Tabel 3. 5 Karakteristik <i>Marshal</i> Campuran <i>AC-WC</i>	16
Tabel 3. 6 Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-WC</i> Modifikasi	17
Tabel 4. 1 Spesifikasi Gradasi Campuran <i>AC-WC</i>	30
Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%	31
Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%	32
Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%	32
Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%	32
Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%	33
Tabel 4. 7 Jumlah Benda Uji Kebutuhan Nilai KAO	33
Tabel 4. 8 Kebutuhan <i>PET</i> untuk mencari <i>PET</i> Optimum	34
Tabel 4. 9 Kebutuhan Benda Uji Kadar <i>PET</i> Optimum	34
Tabel 4. 10 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO Dan KPO	34
Tabel 5. 1 Karakteristik Aspal Pen 60/70	40
Tabel 5. 2 Karakteristik Aspal Modifikasi Ukuran 0,5×0,5 cm	40
Tabel 5. 3 Karakteristik Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	41
Tabel 5. 4 Hasil <i>Workability</i> Pembuatan Bahan Additif	41
Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar	42
Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus	42
Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	42
Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Asam-Basa Air Hujan	42
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> untuk Penentuan KAO	42
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> untuk Penentuan KPO	43

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 0 Jam	44
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 24 Jam	45
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 48 Jam	45
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman	45
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> untuk KPO dan KAO	45
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Marshall</i> Aspal <i>Non-PET</i> untuk Semua Variasi Rendaman	46
Tabel 5. 17 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Marshall</i> Aspal <i>PET</i> untuk Semua Variasi Rendaman	46
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Marshall</i> Variasi Rendaman 0 Jam untuk semua Jenis Aspal	47
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Marshall</i> Variasi Rendaman 24 Jam untuk semua Jenis Aspal	47
Tabel 5. 20 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Marshall</i> Variasi Rendaman 48 Jam untuk semua Jenis Aspal	47
Tabel 5. 21 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>ITS</i> Aspal <i>Non-PET</i> untuk semua Variasi Rendaman	48
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>ITS</i> Aspal <i>PET</i> untuk semua Variasi Rendaman	48
Tabel 5. 23 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>ITS</i> untuk Semua Jenis Aspal dan semua Variasi Rendaman	48
Tabel 5. 24 Hasil Pengujian <i>ANOVA</i> Perbedaan nilai <i>Cantabro Loss</i> untuk Semua Jenis Aspal	48

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Ilustrasi Komposisi Aspal	11
Gambar 3. 2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Stability</i>	18
Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	18
Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	19
Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	20
Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	21
Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	22
Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	23
Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran <i>AC-WC</i>	30
Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	43
Gambar 5. 2 Penentuan Kadar <i>PET</i> Optimum (KPO) dari KAO	44
Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas	54
Gambar 5. 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Flow</i>	55
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Marshal Quotient</i>	56
Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VITM</i>	57
Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VFWA</i>	58
Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VMA</i>	59
Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Density</i>	59
Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan Stabilitas	60
Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>Flow</i>	61
Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>Marshal Quotient</i>	62
Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>VITM</i>	63
Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>VFWA</i>	64
Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>VMA</i>	65
Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Kadar <i>PET</i> dengan <i>Density</i>	66
Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i> dengan Variasi Rendaman Air Hujan Terhadap Nilai Stabilitas	67

- Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET* dengan Variasi Rendaman Air Hujan Terhadap Nilai *ITS* 68
- Gambar 5. 19 Grafik Pengaruh Penambahan Bahan Tambah *PET* terhadap *Cantabro* 70



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	78
Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	79
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar	80
Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	81
Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE	81
Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	82
Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi Ukuran 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	83
Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	84
Lampiran 9 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	85
Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi Ukuran 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	87
Lampiran 11 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup> dalam TCE	87
Lampiran 12 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 0,5x0,5 cm <sup>2</sup>	88
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	89
Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	90
Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	92
Lampiran 16 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	92
Lampiran 17 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk dalam TCE	93
Lampiran 18 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk	95
Lampiran 19 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	96
Lampiran 20 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	97
Lampiran 21 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	98
Lampiran 22 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	99
Lampiran 23 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	100
Lampiran 24 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Debu	101
Lampiran 25 Sifat Campuran Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>	102
Lampiran 26 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode <i>Marshall</i> KPO	104
Lampiran 27 Sifat Campuran Aspal <i>Non-PET</i> Dengan Metode <i>Marshall</i>	106
Lampiran 28 Sifat Campuran Aspal <i>PET</i> Dengan Metode <i>Marshall</i>	107

Lampiran 29 Rekapitulasi Marshall <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i>	108
Lampiran 30 Pengujian <i>ITS Non-PET</i>	109
Lampiran 31 Pengujian <i>ITS PET</i>	110
Lampiran 32 Rekapitulasi <i>ITS PET</i> dan <i>Non-PET</i>	111
Lampiran 33 Rekapitulasi Cantabro Loss <i>PET</i> dan <i>Non-PET</i>	112
Lampiran 34 Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium	113
Lampiran 35 Time Schedule	114
Lampiran 36 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi	115
Lampiran 37 Hasil Uji <i>Anova Non-PET</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	116
Lampiran 38 Hasil Uji <i>Anova PET</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	118
Lampiran 39 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 0 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	120
Lampiran 40 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 24 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	122
Lampiran 41 Hasil Uji <i>Anova</i> Variasi Rendaman 48 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik <i>Marshall</i>	124
Lampiran 42 Hasil Uji <i>Anova Indirect Tensile Ratio (ITS)</i>	126
Lampiran 43 Hasil Uji <i>Anova Cantabro Loss</i>	127

## DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

<i>MR</i>	= <i>Marshall Test</i>
<i>CL</i>	= <i>Cantabro Loss</i>
<i>MQ</i>	= <i>Marshall Quotient</i>
<i>PET</i>	= <i>Polyethylene Terephthalate</i>
<i>ITS</i>	= <i>Indirect Tensile Strength</i>
<i>KAO</i>	= <i>Kadar Aspal Optimum</i>
<i>KPO</i>	= <i>Kadar PET Optimum</i>
<i>LDPE</i>	= <i>Low Density Polyethylene</i>
<i>BPT</i>	= <i>Bulk Penetration Tester</i>
<i>BPN</i>	= <i>British Pendulum Number</i>
<i>VMA</i>	= <i>Void In Mineral Agregate</i>
<i>VITM</i>	= <i>Void In Total Mix</i>
<i>VFWA</i>	= <i>Void Filled With Asphalt</i>
<i>AC-WC</i>	= <i>Asphalt Concrete-Wearing Course</i>

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1. Latar Belakang**

Indonesia dikenal sebagai negara tropis karena sebagian besar wilayahnya terletak di sekitar khatulistiwa. Salah satu dampak hal tersebut adalah adanya curah hujan yang tinggi. Menurut Prasetyaningtyas (2023) bahwa pada bulan Mei 2023 sejumlah wilayah Indonesia mengalami curah hujan dengan kategori menengah sebanyak 73,46%, kategori tinggi 13,82%, dan kategori rendah 12,72%. Hal tersebut dapat memengaruhi kinerja atau kualitas dari suatu perkerasan jalan. Berdasarkan penelitian Pasereng (2014) menyimpulkan bahwa rendaman air hujan yang masuk ke dalam suatu perkerasan jalan dapat mengakibatkan retakan pada struktur perkerasan jalan. Sehingga, memengaruhi terhadap nilai stabilitas, permeabilitas, hingga pada kepadatan perkerasan jalan. Selain itu, air hujan yang masuk ke dalam perkerasan dapat menyebabkan jalan-jalan menjadi berlubang.

Salah satu upaya untuk meningkatkan kekuatan dari perkerasan adalah penggunaan limbah plastik. Pada kondisi sekarang ini, limbah plastik merupakan salah satu permasalahan lingkungan. Khususnya di kota Yogyakarta, berdasarkan yang telah dipaparkan dalam berita bahwa ada kurang lebih 70 ton limbah plastik atau sekitar 30% dari total keseluruhan sampah yaitu 257 ton yang masuk ke Tempat Pembuangan Akhir (TPA) setiap hari (Nugroho, 2018). Untuk mengatasi masalah limbah plastik tersebut, diperlukan tindakan preventif seperti pengurangan penggunaan plastik atau pengolahan sampah plastik yang efektif dan berkelanjutan seperti penggunaan plastik sebagai bahan tambah dalam bahan penyusun perkerasan. Penggunaan limbah plastik dalam bahan penyusun perkerasan dapat meningkatkan kekuatan perkerasan. Nasution (2017) penambahan *PET* menunjukkan bahwa stabilitas dan *flow* meningkat dan rongga campuran menurun. Kurohman (2021) juga menyatakan bahwa penambahan limbah plastik akan meningkatkan stabilitas dari campuran beraspal.

Oleh sebab itu, perlu adanya modifikasi terkait bahan penyusun dari perkerasan tersebut agar dapat meningkatkan nilai stabilitas, hingga kepadatan dari perkerasan tersebut. Salah satu modifikasi yang dapat dilakukan adalah penggunaan perkerasan aspal dengan bahan tambah limbah plastik yang diharapkan untuk dapat mengontrol dan mereduksi suatu kecacatan seperti terjadinya *permanent deformation*.

Berdasarkan permasalahan yang tercantum sebelumnya, dilakukan penelitian mengenai “Kinerja Campuran *AC-WC* dengan Bahan Ikat Aspal Modifikasi Berbahan Tambah Limbah Plastik” untuk mengetahui penambahan atau peningkatan kinerja perkerasan yang dicirikan oleh sifat-sifat stabilitas, daya tahan tarik, dan ketahanan terhadap abrasi.

## **1.2. Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka permasalahan yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah bagaimana pengaruh penggunaan aspal yang dimodifikasi dengan limbah plastik *PET* pada campuran *AC-WC* dengan variasi waktu rendaman air hujan terhadap sifat berikut.

1. Stabilitas.
2. Daya tahan tarik.
3. Ketahanan terhadap abrasi (*Cantabro Loss*).

## **1.3. Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan di atas, maka tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah mengetahui pengaruh penggunaan aspal yang dimodifikasi dengan limbah plastik *PET* pada campuran *AC-WC* dengan variasi waktu rendaman air hujan terhadap sifat berikut.

1. Stabilitas.
2. Daya tahan tarik (*ITS*).
3. Ketahanan terhadap abrasi (*Cantabro Loss*).

## **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian ini dapat dilihat sebagai berikut.

1. Memberikan pemahaman dan pengetahuan tentang pengaruh penambahan campuran dengan limbah plastik (*PET*) terhadap karakteristik perkerasan aspal.
2. Memberikan informasi terkait karakteristik campuran gradasi *AC-WC* dengan modifikasi penambahan campuran limbah plastik terhadap rendaman air hujan.
3. Sebagai acuan atau referensi untuk penelitian selanjutnya.

### **1.5. Batasan Penelitian**

Batasan dari penelitian ini agar lebih terarah dan tidak menyimpang dan tersusun dengan baik sebagai berikut.

1. Campuran gradasi yang diteliti ialah *AC-WC*.
2. Limbah plastik yang digunakan adalah jenis *PET* (*Polyethylene Terephthalate*).
3. Peraturan yang digunakan adalah AASHTO dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2.
4. Uji kadar pH berdasarkan asam basa air hujan menggunakan bahan kertas lakmus dengan prediksi pH asam  $<7$  dan basa  $>7$ .
5. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
6. Analisis statistik *anova* dilakukan dengan menggunakan alat bantu *software* IBM SPSS 27.
7. Komposisi dan lama rendaman air hujan yaitu 0, 24, dan 48 jam.
8. Tidak dilakukan pengujian stabilitas *Marshall* sisa (%) setelah perendaman selama 24 Jam dalam  $60^{\circ}\text{C}$ .
9. Tidak dilakukan pengujian stabilitas dinamis pada pengujian karakteristik *Marshall* pada campuran *AC-WC* modifikasi.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1. Pengaruh Bahan Tambah Plastik *PET* pada Campuran Beraspal Lapis Aus (*AC-WC*)**

Nasution dkk. (2017) melakukan penelitian tentang pengaruh penambahan plastik *PET* terhadap karakteristik campuran laston *AC-WC* (*Asphalt Concrete-Wearing Course*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan *PET* dengan kadar 2%, 2,5%, 3% dan 3,5% terhadap berat aspal dengan menggunakan pencampuran pada aspal dengan melakukan uji *Marshall*, dan *Wheel Tracking Machine*. Berdasarkan hasil analisis dan pengujian yang sudah dilakukan didapatkan kadar *PET* optimum yaitu pada kadar 2%. Penambahan *PET* menunjukkan bahwa stabilitas dan *flow* mengalami kenaikan dan nilai rongga mengalami penurunan dikarenakan plastik ikut mengisi rongga pada campuran.

Susanto dkk (2019) telah melaksanakan penelitian tentang evaluasi kinerja campuran beraspal lapis aus (*AC-WC*) dengan bahan tambah limbah plastik kresek. Pada penelitian ini bertujuan ini adalah untuk mengetahui dan mengevaluasi kinerja campuran beraspal *AC-WC* yang menggunakan aspal Pen 60 dengan bahan tambah limbah plastik kresek jenis *LPDE*. Berdasarkan hasil analisis, penambahan limbah plastik kresek pada campuran beraspal *AC-WC* dapat meningkatkan mutu campuran. Penambahan plastik ke agregat dapat meningkatkan kekuatan agregat terhadap abrasi dan mengurangi penyerapan. Hasil uji *Marshall*, menunjukkan bahwa campuran beraspal dengan limbah plastik mempunyai kekuatan yang lebih tinggi untuk menahan beban dari pada campuran aspal tanpa limbah plastik. Hal ini terbukti dengan meningkatkannya nilai stabilitas yang meningkat >30 setelah ditambah plastik.

Prameswari (2016) melakukan penelitian mengenai pengaruh pemanfaatan *PET* pada laston lapis pengikat terhadap parameter *marshall*, dari hasil penelitian tersebut diketahui dapat meningkatkan nilai stabilitas aspal dibandingkan dengan campuran tanpa *PET*. Metode pencampuran penelitian dilakukan dengan

menggunakan metode kering yaitu penambahan *PET* dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, sebelum aspal ditambahkan.

## **2.2. Pengaruh Rendaman Air Hujan Pada Campuran Aspal Campuran Beraspal Lapis Aus (*AC-WC*)**

Pau dan Arifin (2002) melakukan pengujian, mengevaluasi, dan menganalisa hasil pengujian *Marshall* hasil penelitian ini pada perendaman dengan durasi 30 Menit nilai stabilitas perendaman air tawar 1380,16 Kg turun menjadi 1326,60 Kg untuk perendaman air hujan, nilai Flow perendaman air tawar 3,79 mm turun menjadi 3,67 mm untuk perendaman air hujan, nilai *Marshall Quotient* perendaman air tawar 364,25 Kg/mm turun menjadi 361,44 Kg/mm untuk perendaman air hujan, nilai *VIM* perendaman air tawar 4,09% turun menjadi 4,01% untuk perendaman air hujan, nilai *VMA* perendaman air tawar 17,59% turun menjadi 17,30% untuk perendaman air hujan, nilai *VFB* perendaman air tawar 76,97% turun menjadi 76,30% untuk perendaman air hujan. Sedangkan pada Perendaman dengan durasi 24 Jam nilai stabilitas perendaman air tawar 1322,25 Kg turun menjadi 1226,66 Kg untuk perendaman air hujan, nilai *flow* perendaman air tawar 3,80 mm turun menjadi 3,68 mm untuk perendaman air hujan, nilai *Marshall Quotient* perendaman air tawar 348,13 Kg/mm turun menjadi 342,50 Kg/mm untuk perendaman air hujan, nilai *VIM* perendaman air tawar 3,80% turun menjadi 3,69% untuk perendaman air hujan, nilai *VMA* perendaman air tawar 16,90% turun menjadi 16,77% untuk perendaman air hujan. Nilai *VFB* perendaman air tawar 75,26% turun menjadi 72,64% untuk perendaman air hujan. Dapat disimpulkan bahwa semakin lama terendam air hujan campuran laston lapis aus *AC-WC* semakin cepat rusak.

Laily (2017) melakukan pemeriksaan terkait lama perendaman air hujan terhadap kinerja laston (*AC-WC*) dengan parameter *Marshall*. Karakteristik bahan penyusun campuran *laston (AC-WC)* berupa agregat kasar, agregat halus, dan aspal semuanya memenuhi syarat sebagai bahan campuran *laston (AC-WC)* yang telah ditetapkan oleh Bina Marga (2010).



Stabilitas campuran menunjukkan penurunan seiring dengan bertambahnya lama perendaman. Ini mengindikasikan bahwa lama perendaman berdampak negatif pada stabilitas campuran. Pengaruh lama perendaman terhadap kelelahan plastis (*flow*) menunjukkan peningkatan nilai kelelahan plastis (*flow*). Hal ini menandakan bahwa campuran mengalami peningkatan dalam kemampuan mengalir atau kelembutan saat mengalami perendaman yang lebih lama.

*Marshall Quotient (MQ)*, yang merupakan perbandingan antara stabilitas dan kelelahan plastis, menunjukkan penurunan nilai *MQ* seiring dengan peningkatan lama perendaman. *Void in Mixture (VIM)* adalah faktor yang mempengaruhi daya tahan campuran aspal. Hubungan antara lama perendaman dan *VIM* menunjukkan bahwa nilai *VIM* meningkat seiring dengan penambahan lama perendaman. *Void in Mineral Aggregate (VMA)* adalah volume pori di antara partikel agregat dalam campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *VMA* memenuhi persyaratan spesifikasi, yang minimal harus mencapai 15%.

Hubungan antara lama perendaman dan *Void Filled with Bitumen (VFB)* menunjukkan penurunan nilai *VFB* seiring dengan peningkatan lama perendaman. Pada lama perendaman 24 jam dan 48 jam, nilai *VFB* memenuhi standar spesifikasi, tetapi pada lama perendaman yang lebih lama, nilai *VFB* menjadi terlalu rendah. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut tidak terisi aspal dengan baik pada lama perendaman yang lebih lama.

Hasil pengujian menyimpulkan bahwa sifat fisik bahan penyusun campuran *laston (AC-WC)* memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan. Namun, lama perendaman air hujan memiliki pengaruh yang signifikan terhadap karakteristik campuran tersebut, seperti penurunan stabilitas, peningkatan kelelahan plastis, dan perubahan nilai-nilai *Marshall Quotient (MQ)*, *VIM*, *VMA*, dan *VFB*. Oleh karena itu, perlu perhatian khusus terhadap lama perendaman dalam perencanaan dan pengelolaan campuran aspal beton.

### **2.3. Pengaruh Penggunaan Metode pada Pencampuran Bahan Tambah**

Saputro, (2022) melakukan penelitian pengujian kekesatan dengan alat *Bulk Penetration Tester (BPT)* memberikan hasil nilai *BPN* dengan metode

pencampuran kering dan basah. *BPT* adalah alat untuk mengukur energi hilang saat pendulum menyentuh permukaan benda uji. Nilai satuan kekesatan yang di peroleh adalah *British Pendulum Number (BPN)*, yang menunjukkan sifat hambatan atau gesekan yang terjadi. Dari hasil perancangan campuran diperoleh kadar aspal optimum untuk campuran-campuran *AC-WC*, dengan kadar limbah plastik *LDPE Film* yang bervariasi.

KAO campuran beraspal yang tidak menggunakan limbah adalah 6,01%, sedangkan untuk campuran dengan proses kering berkisar antara 5,61% hingga 6,52% dan untuk campuran dengan proses basah berkisar antara 6,04% hingga 6,55%. Hasil pengujian kekesatan menggunakan alat *Bulk Penetration Tester (BPT)* menghasilkan nilai *Bulk Penetration Number (BPN)* untuk berbagai jenis benda uji dengan menggunakan metode pencampuran kering dan pencampuran basah menunjukkan variasi nilai *BPN*, di mana nilai *BPN* tertinggi adalah 72 untuk benda uji tanpa kandungan *low density polyethylene (LDPE) Film*, 86 untuk benda uji dengan 7% *LDPE Film* yang mengalami pencampuran kering, dan 89 untuk benda uji dengan 6% *LDPE Film* yang mengalami pencampuran basah.

Semua nilai kekerasan ini masuk dalam Kategori A, sesuai dengan standar yang menetapkan bahwa angka kekerasan lebih besar dari 65 (*Road Research Laboratory*, 1969). Nilai kekesatan benda uji meningkat dengan peningkatan kadar limbah plastik *LDPE Film* yang ditambahkan pada campuran. Secara keseluruhan, proses pencampuran basah memberikan nilai kekesatan yang lebih tinggi dibandingkan dengan proses pencampuran kering.

#### **2.4. Persamaan dan Perbandingan Antar Penelitian Terdahulu**

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan penyusun lakukan dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Fauziah dan Safitri (2016)	Suhardi, dkk (2016)	Nasution, dkk (2017)	Mentari (2018)	Susanto dan Suaryana (2019)	Manan (2020)	Mukti (2024)
Judul	Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> Dengan Bahan Ikut Aspal Pen 60/70 Dan Retona Blend 55 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Hujan	Studi karakteristik <i>Marshall</i> Pada Campuran Aspal dengan Penambahan Limbah Botol Plastik ( <i>PET</i> )	Pengaruh penambahan plastik <i>PET</i> terhadap karakteristik campuran laston <i>AC-WC</i>	Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Penurunan Kinerja Campuran <i>Superpave</i> Yang Menggunakan Limbah Ban Karet Sebagai Additive	Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus ( <i>AC-WC</i> ) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek	Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik ( <i>PET</i> ) Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> Dengan Bahan Ikut Pen 60/70	Kinerja Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikut Aspal Modifikasi Berbahan Tambah Limbah Plastik
Jenis Campuran	<i>Superpave</i>	<i>AC-BC</i>	<i>Superpave</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-WC</i>	<i>Superpave</i> dengan Pen 60/70	<i>AC-WC</i>
Variabel Tambah	Air Hujan	<i>PET</i>	<i>PET</i>	Limbah Ban Karet	Plastik Kresek	<i>PET</i>	<i>PET</i> dan Air Hujan
Pengujian	Uji <i>Marshall</i> , uji <i>index of retained strength</i> , <i>indirect tensile strength</i> dan uji permeabilitas.	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i> dan <i>Wheel Tracking Machine</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i> , pengujian kepadatan, pengujian ketidakrataan, dan pengujian ekstraksi.	<i>Marshall</i> , ITS, Permeabilitas, Cantabro	<i>Marshall</i> , ITS, dan <i>Cantabro Loss</i>

Sumber : Fauziah dan Safitri (2016), Suhardi, dkk (2016), Nasution, dkk (2017), Mentari (2018), Susanto dan Suaryana (2019), Manan (2020), dan Mukti (2024)

Lanjutan Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Aspek	Fauziah dan Safitri (2016)	Suhardi, dkk (2016)	Nasution, dkk (2017)	Mentari (2018)	Susanto dan Suaryana (2019)	Manani (2020)	Mukti (2024)
Hasil	Hasil pengujian terhadap <i>Marshall</i> bahan ikat <i>Retona</i> memiliki kemampuan menahan penurunan stabilitas yang lebih baik, yaitu sebesar 29,4 % dibandingkan dengan campuran berbahan ikat aspal Pen 60/70 sebesar 37,8 % masing masing setelah direndam selama 96 jam.	Memenuhi spesifikasi yang disyaratkan Bina Marga 2010 pada rentang kadar aspal 6,38 % sampai dengan 6,5%, dan nilai KAO yang didapatkan sebesar 6,44 %.	Kadar <i>PET</i> optimum yaitu pada kadar 2%. Penambahan <i>PET</i> menunjukkan bahwa stabilitas dan <i>flow</i> meningkat dan rongga campuran menurun.	Penambahan serbuk ban karet sebagai bahan tambah campuran aspal Pen 60/70 baik dipakai hanya sampai pada 8% penambahan dan mudah retak pada perendaman.	Hasil uji <i>Marshall</i> , menunjukkan bahwa campuran beraspal dengan limbah plastik mempunyai kekuatan yang lebih tinggi untuk menahan beban dari pada campuran aspal tanpa limbah plastik. Hal ini terbukti dengan meningkatnya nilai stabilitas yang meningkat >30 setelah ditambah plastik.	Penggunaan <i>PET</i> sebagai bahan tambah campuran <i>Superpave</i> dengan menggunakan pencampuran kering memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 dan dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran aspal.	Penggunaan <i>PET</i> mengalami penurunan signifikan terhadap nilai stabilitas akibat lama rendaman 0 jam ke 24 jam. Pada nilai <i>ITS</i> terdapat perilaku penurunan signifikan ekstrim akibat lama rendaman 0 jam ke 24 jam.

Sumber : Fauziah dan Safitri (2016), Suhardi, dkk (2016), Nasution, dkk (2017), Mentari (2018), Susanto dan Suaryana (2019), Manan (2020), dan Mukti (2024)

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1. Perkerasan Lentur Jalan**

Perkerasan lentur merupakan susunan lapisan yang ditempatkan di atas tanah dasar yang telah dikompaksi, bertujuan untuk menangkap beban dari lalu lintas dan merata-ratakannya ke lapisan di bawahnya. Dalam perkerasan lentur, digunakan campuran bahan aspal sebagai lapisan permukaan, sementara lapisan di bawahnya menggunakan bahan berbutir.

Sukirman (1999) membagi jenis perkerasan berdasarkan bahan pengikatnya menjadi 2 yaitu:

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*) adalah jenis perkerasan jalan yang memanfaatkan aspal sebagai bahan pengikat. Struktur perkerasannya terdiri dari berbagai lapisan yang dirancang untuk menopang dan mendistribusikan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Perkerasan komposit (*composite pavement*) adalah suatu kombinasi antara perkerasan kaku dan perkerasan lentur, yang bisa berarti perkerasan lentur yang ditempatkan di atas perkerasan kaku atau perkerasan kaku yang ditempatkan di atas perkerasan lentur.

#### **3.2. Bahan Penyusun Perkerasan Lentur**

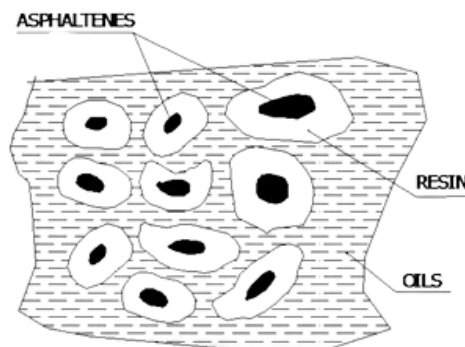
Komponen yang diperlukan dalam konstruksi perkerasan lentur meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan tambahan (*additive*), yang dipilih sesuai dengan jenis campuran yang akan digunakan. Berikut penjelasan dari tiap-tiap bahan tersebut dapat dilihat sebagai berikut :

##### **3.2.1. Aspal/Bitumen**

Aspal adalah suatu bahan yang memiliki warna hitam atau coklat tua dalam bentuk padat hingga agak padat pada suhu ruangan. Ketika dipanaskan pada suhu tertentu, aspal dapat menjadi lembut atau bahkan cair, sehingga dapat digunakan untuk melapisi agregat saat pembuatan aspal beton atau bisa meresap ke dalam pori-

pori saat disemprotkan atau disiramkan pada perkerasan jalan. Meskipun aspal merupakan salah satu komponen kecil dalam konstruksi perkerasan lentur, biasanya hanya sekitar 4 hingga 10% berdasarkan berat atau 10 hingga 15% berdasarkan volume, namun harganya relatif tinggi.

Aspal merupakan suatu senyawa hidrokarbon yang sangat kompleks, sulit untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuknya. Komposisi aspal melibatkan dua komponen utama, yaitu *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* adalah bahan berwarna hitam atau coklat tua yang tidak dapat larut dalam heptane. Sementara itu, *maltenes* adalah bahan yang dapat larut dalam *heptane* dan berbentuk cairan kental, yang terdiri dari resin dan minyak.



**Gambar 3. 1 Ilustrasi Komposisi Aspal**

(Sumber Sukirman, 1999)

Aspal yang digunakan untuk perkerasan lentur harus memiliki fungsi-fungsi sebagai berikut :

1. Bahan pengikat, sebagai bahan pengikat aspal harus memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.
2. Bahan pengisi, sebagai bahan pengisi aspal harus mampu mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Adapun ketentuan-ketentuan untuk aspal keras dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3. 1 Ketentuan-ketentuan Aspal Keras**

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe 1 Aspal Pen 60 - 70
1	Penetrasi pada 25C (0,1 mm)	SNI 06-2456-2011	60 - 70
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
4	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	-
9	Kadar Parafin	SNI 03-3639-2002	≤ 2

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga (2018) Revisi 2

### 3.2.2. Agregat

Agregat merupakan salah satu komponen penting dalam campuran aspal, terdiri dari berbagai jenis material padat seperti pasir, kerikil, batu pecah, dan agregat halus. Sifat dari agregat memainkan peran kunci dalam menentukan kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas dan ketahanannya terhadap kondisi cuaca. Agregat adalah komponen terbesar dalam campuran aspal, biasanya mencakup sekitar 75-80% dari volume campuran atau 90-95% dari berat total campuran. Karena andil yang signifikan ini, sifat dan performa campuran sangat dipengaruhi oleh agregat yang digunakan.

Agregat yang ideal untuk campuran berbitumen harus memenuhi beberapa kriteria khusus. Pertama, ukuran partikel dan distribusi gradasinya harus sesuai dengan spesifikasi. Selain itu, agregat harus memiliki kekuatan yang baik, ketahanan yang tinggi, dan bentuk partikel yang tajam. Sifat lainnya yang penting termasuk porositas yang rendah, permukaan yang bersih, dan tekstur permukaan yang kasar. Agregat sering diklasifikasikan menjadi tiga jenis berdasarkan persyaratan tersebut.

#### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat dengan ukuran butiran yang tertahan saringan No.4 (4,75) (SNI 03-6819-2002). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3. 2 Persyaratan Agregat Kasar**

No	Nilai	Standar	Pengujian	
1	Maks 12%	SNI 3407 : 2008	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	
2	Maks 30%	SNI 2417 : 2008	Campuran AC bergradasi kasar	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>
3	Maks 40%		Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.	
4	Min. 95%	SNI-06-2439-2011	Kelekatan aspal pada agregat	
5	95/90*	SNI 7619:2012	Butir Pecah pada Agregat Kasar	
6	Maks 10%	ASTM D4791-10 (1:5)	Partikel pipih dan lonjong	
7	Maks 1%	SNI ASTM C117:2012	Material lolos ayakan No.200	

Catatan : (\*) 95/90 menunjukkan bahwa agregat kasar mempunyai muka bidang pecah atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

Sumber : Bina Marga (2018)

## 2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat dengan ukuran butiran yang lolos saringan No.4 (4,75) (SNI 03-6819-2002). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut.

**Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Halus**

No	Pengujian	Standar	Persyaratan
1	Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
2	Angularitas dengan uji	SNI 03-6877-2002	Min. 45
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
4	Agregat lolos ayakan No 200	SNI ASTM C117:2002	Maks. 10%
5	Penyerapan Air	SNI 1970 : 2008	Maks. 3
6	Berat Jenis	SNI 1970 : 2008	Min. 2,5

Sumber : Bina Marga (2018)

## 3. Bahan Pengisis (*Filler*)

*Filler* merupakan agregat lolos saringan No.200 (0,075 mm) yang terdiri dari abu batu, abu batu kapur, semen (*Portland Cement*) atau bahan non plastis lainnya. *Filler* berfungsi sebagai pengisi rongga di antara butiran agregat kasar dengan tujuan mengurangi rongga, meningkatkan stabilitas, memperkecil *flow*, dan meningkatkan kerapatan.



### 3.3. Modifikasi Aspal

Aspal modifikasi, yang juga dikenal dengan istilah *Polymer Modified Asphalt/PMA*, *Polymer Modified Bitumen/PMB*, atau Aspal Modifikasi, merupakan jenis aspal yang telah mengalami proses modifikasi melalui pencampuran atau penambahan bahan tambahan (*additive*). Tujuan utamanya adalah untuk meningkatkan kualitas aspal dan mempermudah proses pengolahan (*workability*). Jumlah aspal yang digunakan dalam campuran perkerasan biasanya berkisar antara 4% hingga 10% dari berat total campuran atau sekitar 10% hingga 15% dari volume campuran, sesuai dengan penelitian oleh Sukirman (2003).

Penggunaan bahan tambah/adiktif dapat merubah sifat-sifat aspal, antara lain sebagai berikut.

- a. Membuat stabilitas menjadi meningkat
- b. Kepekaan terhadap suhu berkurang
- c. Ketahanan terhadap deformasi menjadi meningkat

Menurut Sheell Bitumen handbook (1990), agar *modifier* menjadi efektif, praktis dan ekonomis dalam penggunaannya maka modifier harus seperti berikut.

- a. Tersedia di lapangan
- b. Tahan terhadap degradasi pada suhu pencampuran
- c. Bercampur dengan aspal
- d. Meningkatkan daya tahan terhadap perubahan aliran (*flow*) pada suhu yang tinggi agar aspal tidak menjadi terlalu cair saat dicampurkan atau ditempatkan, dan juga agar aspal tidak menjadi terlalu keras atau rapuh saat suhu jalan rendah.
- e. Biayanya murah.

Adapun ketentuan-ketentuan untuk aspal modifikasi dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3. 4 Ketentuan-Ketentuan Aspal Modifikasi**

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe II Aspal Modifikasi
1	Penetrasi pada 25C (0,1 mm)	SNI 06-2456-2011	Dilaporkan <sup>1</sup>
2	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≤ 3000
3	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	Dilaporkan <sup>2</sup>

Lanjutan Tabel 3.4 Ketentuan-Ketentuan Aspal Modifikasi

4	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	-
5	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 230
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7	Berat Jenis	SNI 2441:2011	-
8	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976 part 6.1	≤ 2,2
9	Kadar Parafin	SNI 03-3639-2002	-

Catatan :

(<sup>1</sup>) Ketentuan untuk aspal dengan penetrasi ≥ 50 adalah ± 4 (0,1 mm) dan untuk aspal dengan penetrasi < 50 adalah ± 2 (0,1 mm).

(<sup>2</sup>) Ketentuan titik lembek diterima adalah ± 1°C dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.

Sumber : Bina Marga (2018) Revisi 2

### 3.3.1. Modifikasi Aspal dengan *PET*

*PET* merupakan polimer sintesis termoplastik semi-kristal yang memiliki masa pakai yang lama karena tahan terhadap proses biodegradasi atau sulit untuk terurai oleh lingkungan alami, sehingga berpotensi mengakibatkan akumulasi limbah *PET*.

Mujiarto (2005) seperti yang dikutip dalam penelitian Suhardi dkk. (2016) menjelaskan bahwa *Polyethylene Terephthalate*, yang umumnya dikenal sebagai *PET* dengan rumus kimia (C<sub>10</sub>H<sub>8</sub>O<sub>3</sub>), diproduksi melalui reaksi antara *glikol (EG)* dan *terephthalic acid (TPA)* atau *dimethyl ester* atau asam *terephthalat (DMT)*. *PET* memiliki kemampuan menyerap uap air yang rendah, serta memiliki daya serap terhadap air yang juga rendah.

Penggunaan *PET* sangat umum dan mencakup berbagai produk, termasuk botol-botol untuk air mineral, minuman ringan, serta kemasan untuk sirup, saus, dan minyak makan. Botol plastik yang digunakan untuk minuman di Indonesia sering memiliki tanda pengenalan berupa simbol angka 1 yang terletak pada bagian dasar botol. *PET* memiliki karakteristik dengan berat jenis sekitar 1,38 g/cm<sup>3</sup> pada suhu 20°C, titik leleh sekitar 250°C, titik didih sekitar 350°C (ketika mengalami dekomposisi), modulus elastisitas berkisar antara 2800 hingga 3100 Mpa, dan kekuatan tarik sekitar 55 hingga 75 Mpa.

### 3.3.2. Dampak Air Hujan terhadap Aspal Modifikasi

Dampak dari kandungan air hujan terhadap sifat-sifat campuran Laston telah diinvestigasi oleh tim peneliti Arifin (2008). Hasil pengujian tersebut menyimpulkan bahwa secara keseluruhan, penurunan nilai indeks kekuatan sisa (IKS) disebabkan karena lama waktu perlakuan akan menyebabkan resins sebagai satu unsur penyusun aspal akan keluar dari campuran. Berkurangnya resins dalam aspal akan menyebabkan berkurangnya daya ikatan antar agregat yang sudah terseliputi aspal.

Penelitian oleh Fauziah dan Safitri (2016) mengenai pengaruh lama perendaman air hujan pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Retona Blend 55 menunjukkan bahwa durasi rendaman air hujan menyebabkan penurunan nilai *ITS*. Campuran dengan aspal Pen 60/70 memiliki nilai *ITS* awal (sebelum mengalami perendaman) yang signifikan lebih tinggi dibandingkan campuran dengan Retona. Namun, setelah 96 jam rendaman, kedua campuran memiliki nilai *ITS* yang hampir sama. Gangguan rendaman air hujan lebih signifikan menurunkan kemampuan tarik pada campuran dengan aspal Pen 60/70 dibandingkan dengan Retona.

### 3.4. Karakteristik *Marshall Test*

Adapun ketentuan-ketentuan untuk uji karakteristik *Marshall Test* dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini.

**Tabel 3. 5 Karakteristik *Marshall* Campuran *AC-WC***

Sifat-sifat Campuran		Jenis Campuran
		<i>AC-WC</i>
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800
<i>Flow</i> (Pelelehan) (mm)	Min.	2
	Maks.	4
<i>VMA</i> ( <i>Void In Mineral Agregat</i> ) (%)	Min.	15
<i>VITM</i> ( <i>Void In Total Mix</i> ) (%)	Min.	3
	Maks.	5
<i>VFWA</i> ( <i>Void Filled With Asphalt</i> ) (%)	Min.	65
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	-	-
<i>Density</i> (Kepadatan)	-	-

Sumber : Bina Marga (2018) Revisi 2

Adapun ketentuan-ketentuan untuk uji karakteristik *Marshall Test* pada campuran *AC-WC* modifikasi dengan bahan tambah *PET* dapat dilihat pada tabel 3.6 berikut ini.

**Tabel 3. 6 Karakteristik *Marshall* Campuran *AC-WC* Modifikasi**

Sifat-sifat Campuran		Jenis Campuran
		<i>AC-WC</i>
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	1000
<i>Flow</i> (Pelelehan) (mm)	Min.	2
	Maks.	4
<i>VMA</i> ( <i>Void In Mineral Agregat</i> ) (%)	Min.	15
<i>VITM</i> ( <i>Void In Total Mix</i> ) (%)	Min.	3
	Maks.	5
<i>VFWA</i> ( <i>Void Filled With Asphalt</i> ) (%)	Min.	65
<i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)	-	-
<i>Density</i> (Kepadatan)	-	-
Stabilitas Dinamis, (lintasan/mm)	Min.	2500

Sumber : Bina Marga (2018) Revisi 2

#### 3.4.1. Stabilitas

Stabilitas dalam konteks ini adalah beban yang dapat ditahan oleh campuran aspal beton sebelum mengalami kelelahan *plastis*. Stabilitas ini meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal hingga mencapai batas tertentu yang disebut sebagai titik optimum, namun akan berkurang setelah melebihi batas tersebut. Sukirman (1992) menjelaskan bahwa stabilitas yang terlalu tinggi juga tidak diinginkan karena dapat membuat perkerasan menjadi keras dan mudah retak. Stabilitas diukur dengan mengamati jam stabilitas dalam uji *Marshall* dan memerlukan koreksi untuk memperhitungkan nilai kalibrasi proving ring alat serta ketebalan benda uji..

Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan Persamaan 3.1, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 3.2. berikut (RSNI M-01-2003)

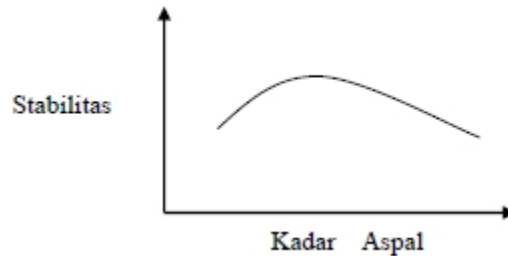
$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.1)$$

Keterangan :

q = angka stabilitas

$p$  = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

$s$  = angka arloji koreksi benda uji

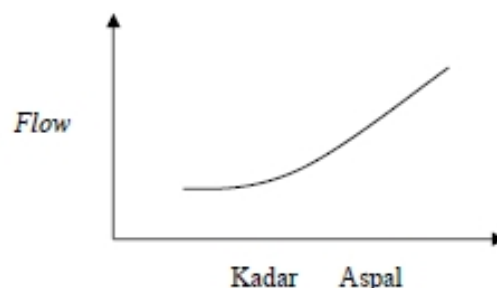


**Gambar 3. 2 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Stability***  
(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.2. Kelelehan

Kelelehan merujuk pada kemampuan campuran aspal untuk mengalami perubahan bentuk akibat beban yang diterimanya. Nilai kelelehan diukur dengan membaca pergerakan jam *flow* selama uji *Marshall* dalam satuan milimeter (mm). Nilai kelelehan ini dipengaruhi oleh sejumlah faktor, termasuk kadar dan *viskositas* aspal, gradasi agregat, dan proses pemadatan. Penambahan kadar aspal akan meningkatkan nilai kelelehan, yang pada gilirannya mengurangi gesekan antar agregat karena adanya selimut aspal yang lebih tebal.

Berikut grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kelelehan dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut.



**Gambar 3. 3 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow***  
(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.3. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan mencerminkan seberapa padat campuran telah terekompresi. Peningkatan kadar aspal mengakibatkan lebih banyak aspal yang dapat mengisi

rongga antara butiran agregat, yang pada gilirannya meningkatkan kepadatan campuran. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 dan Persamaan 3.3, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 3.4 berikut.

$$g = \frac{a}{f} \quad (3.2)$$

$$f = d - e \quad (3.3)$$

keterangan :

$g$  = nilai *density* (gr/cc),

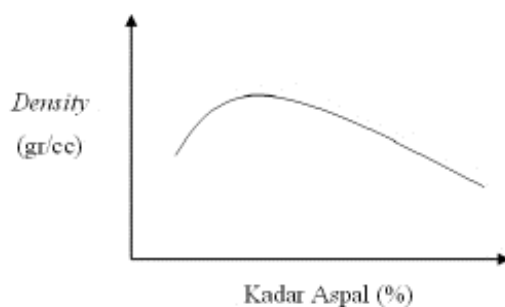
$c$  = berat benda uji sebelum direndam (gr),

$d$  = berat benda uji dalam keadaan jenuh / SSD (gr),

$a$  = berat di udara (gr)

$e$  = berat dalam air (gr), dan

$f$  = volume / isi (cm<sup>3</sup>).



**Gambar 3. 4 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *Density***

(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.4. *Void In Mineral Agregate (VMA)*

Nilai *VMA* merujuk pada ruang kosong di antara butiran agregat dalam campuran padat aspal, termasuk dalam perhitungan rongga udara dan aspal efektif yang diukur dalam persentase total campuran. Umumnya, nilai rongga dalam mineral agregat cenderung menurun hingga mencapai nilai maksimum ketika kadar aspal meningkat.

Nilai *VMA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 dan Persamaan 3.5, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 3.5 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.4)$$

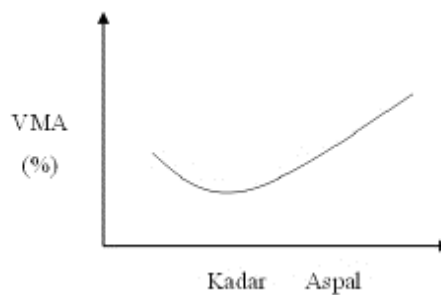
$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.5)$$

Keterangan :

$l$  = nilai *VMA* (%),

$b$  = persentase aspal terhadap campuran (%), dan

$g$  = berat isi sampel (gr/cc).



**Gambar 3. 5 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA***

(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.5. *Void In Total Mix (VITM)*

*VITM* adalah persentase rongga udara terhadap volume total campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6 dan Persamaan 3.7, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.6)$$

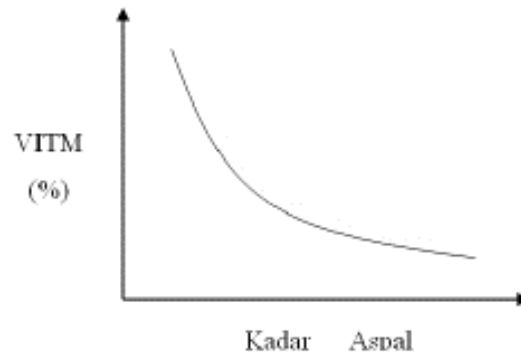
$$h = 100 - \left(\frac{100}{\left(\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}\right)}\right) \quad (3.7)$$

keterangan :

$n$  = nilai *VITM*,

$g$  = berat isi sampel (gr/cc), dan

$h$  = berat jenis maksimum teoritis campuran.



**Gambar 3. 6 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM***  
(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.6. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

*VFWA* mengacu pada persentase rongga dalam campuran yang telah diisi dengan aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal hingga mencapai tingkat optimal di mana rongga telah terisi penuh. Semakin besar nilai *VFWA*, semakin baik kemampuan campuran dalam menahan air dan udara, sementara nilai yang lebih kecil dapat mengakibatkan oksidasi aspal dan penurunan daya tahan.

Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.8 sampai Persamaan 3.10, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 3.7 berikut.

1. Persentasi aspal terhadap campuran

$$b = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.8)$$

keterangan :

$a$  = persentasi aspal terhadap batuan, dan



$b$  = persentasi aspal terhadap campuran.

2. Persentasi aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{t} \quad (3.9)$$

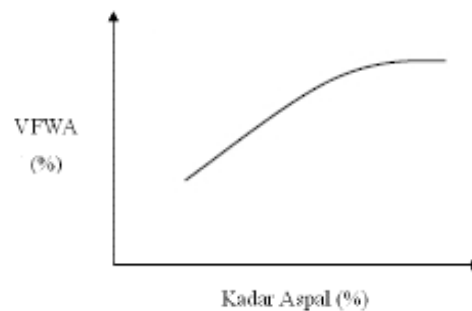
$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.10)$$

keterangan :

$m$  = *VFWA* (%),

$g$  = berat isi sampel (gr/cc), dan

$b$  = persentase aspal terhadap campuran.



**Gambar 3. 7 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA***  
(Sumber : Sukirman, 1992)

#### 3.4.7. *Marshall Quoiient (MQ)*

*Marshall Quoiient* adalah perbandingan antara stabilitas dan nilai *flow* dalam uji *Marshall*. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.11, sedangkan grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 3.8 berikut.

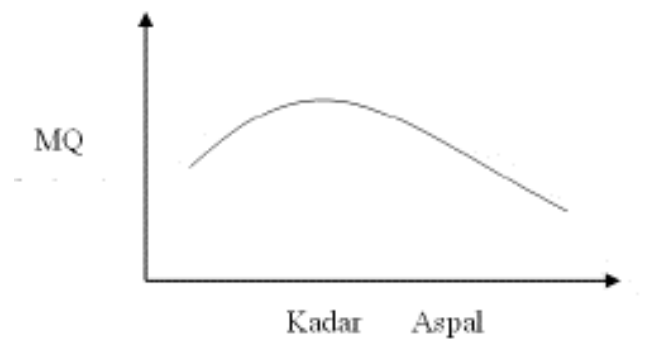
$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.11)$$

keterangan :

$MQ$  = nilai *Marshall Quoiient* (kg/mm),

$q$  = nilai stabilitas (kg), dan

$r$  = nilai *flow* (mm).



**Gambar 3. 8 Grafik Hubungan Antara Kadar Aspal dan Nilai *MQ***  
(Sumber : Sukirman, 1992)

### 3.5. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

*Indirect Tensile Strength* adalah metode pengujian yang digunakan untuk menentukan daya tahan tarik campuran aspal. Hal ini memungkinkan penilaian terhadap kemampuan campuran dalam menahan beban tarik dan tekan. Menurut Kennedy (1997), alasan utama kemudahan dalam pengujian *Indirect Tensile Strength* yaitu sebagai berikut.

1. Pengujian ini relatif sederhana.
2. Tipe sampel dan peralatan yang digunakan sama dengan sampel dan peralatan untuk pengujian lainnya.
3. Kerusakan tidak dipengaruhi oleh kondisi permukaan.

Menurut BSI (British Standard, 2003), langkah untuk menentukan *Indirect Tensile Strength Test* adalah sebagai berikut.

1. Memastikan beban dan benda uji sejajar selama pengujian.
2. Menentukan tinggi dan diameter benda uji.
3. Memastikan tempat untuk menguji benda uji suhunya tetap pada suhu 25°C.
4. Menurunkan beban dari tempatnya.
5. Melakukan pengawasan terhadap perubahan bentuk dan menentukan beban vertikal dari kerusakan benda uji.

*Indirect Tensile Strength Test* adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban. Seperti yang tercantum pada Persamaan 3.13 di bawah ini.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_0 \quad (3.13)$$

Keterangan :

$ITS$  = kuat tarik tidak langsung ( $\text{kg/cm}^2$ )

$P_{runtuh}$  = beban puncak (kg)

$H$  = tinggi sampel (cm)

$A_0$  = konstanta

### 3.6. *Cantabro Test*

*Cantabro Test* adalah pengujian yang dilakukan untuk menilai ketahanan benda uji terhadap abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengukur kehilangan berat dari benda uji setelah tes abrasi. Benda uji harus dipersiapkan dengan menjaganya pada suhu ruang selama 48 jam sebelum pengujian, kemudian ditempatkan di dalam drum mesin *Los Angeles* dan dijalankan dengan kecepatan tertentu untuk sejumlah putaran. Berat benda uji sebelum dan setelah uji abrasi digunakan untuk menghitung kehilangan berat..

Nilai karakteristik *Cantabro Test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.15)$$

Keterangan :

$L$  = persentase kehilangan berat (%)

$M_o$  = berat sebelum diabrasi (gr)

$M_i$  = berat setelah diabrasi (gr)

### 3.7. Analisis Statistik

Penelitian ini menerapkan analisis statistik, khususnya metode *Anova*, untuk tujuan memahami dampak perubahan yang timbul akibat variasi dalam aspal

campuran *AC-WC* dengan modifikasi. Data yang dihimpun, seperti karakteristik *Marshall*, *ITS*, dan *Cantabro loss*, akan dianalisis menggunakan metode *Anova* sebagai alat statistik utama untuk menghasilkan simpulan dari penelitian ini. Secara keseluruhan, analisis statistik *Anova* digunakan untuk melaksanakan langkah-langkah berikut dalam penelitian ini.

1. Merumuskan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) digunakan untuk mengevaluasi dampak masing-masing variabel faktor. Rumusan hipotesis dijelaskan pada persamaan 3.16 dan 3.17 berikut ini.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_k \quad (3.16)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k \quad (3.17)$$

2. Membandingkan nilai F yang dihitung dengan nilai F tabel. Harga F yang dihasilkan dari perhitungan disebut F hitung ( $F_h$ ) dan memiliki distribusi F dengan derajat kebebasan pembilang ( $m-1$ ) dan penyebut ( $N-1$ ) tertentu. Ketika  $F_h$  kurang dari atau sama dengan  $F_t$  ( $F_h \leq F_t$ ), hipotesis nol diterima dan hipotesis alternatif ditolak. Sebaliknya, jika  $F_h$  lebih besar dari  $F_t$  ( $F_h > F_t$ ), hipotesis nol ditolak dan hipotesis alternatif diterima.
3. Penentuan keputusan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ).
  - $H_0$  : Tidak ada perbedaan secara signifikan
  - $H_1$  : Ada perbedaan secara signifikan

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1. Metode Penelitian**

Dalam penelitian Tugas Akhir ini, metode yang digunakan adalah metode eksperimental, yang melibatkan serangkaian percobaan untuk mengumpulkan data. Data yang terkumpul kemudian akan diolah untuk mendapatkan hasil penelitian, dan hasil tersebut akan dibandingkan dengan persyaratan atau standar spesifikasi yang berlaku.

Standar spesifikasi dan prosedur penelitian yang diacu dalam penelitian ini mengacu pada peraturan yang telah ditetapkan oleh *American Association of State Highway and Transport (AASHTO)*, Standar Nasional Indonesia (SNI), serta Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2018 Revisi 2.

#### **4.2. Metode Pengambilan Data**

Dalam penelitian ini, data primer dikumpulkan selama proses pengujian, sementara data sekunder berasal dari penelitian-penelitian sebelumnya. Untuk memudahkan pengumpulan data, informasi tersebut dikelompokkan berdasarkan jenis benda uji yang terkait, termasuk data mengenai stabilitas, aliran (*flow*), kepadatan, *Marshall Quotient*, *Void In Total Mix (VITM)*, *Void In Mineral Aggregate (VMA)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Indirect Tensile Strength*, dan hasil uji *Cantabro*.

#### **4.3. Tahapan Penelitian**

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan penelitian yang dilakukan yaitu pemeriksaan material, persiapan alat, perencanaan campuran, pembuatan benda uji, pengujian *Marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*, pengujian *Cantabro*, dan yang terakhir melakukan analisis, pembahasan dan kesimpulan dari hasil penelitian.

#### 4.3.1. Pemeriksaan Material

Pemeriksaan material ini dimaksudkan untuk mengetahui kelayakan material sebelum pembuatan benda uji untuk menentukan apakah material tersebut sudah sesuai dengan spesifikasi atau belum. Pemeriksaan ini berpedoman pada SNI, *ASTM* dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2. Adapun pemeriksaan material untuk agregat dan aspal.

##### 1. Pengujian Agregat

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar mengacu pada SNI 1969:2016

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan angka penyerapan air.

- b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus mengacu pada SNI 1970:2016

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis semu, berat jenis curah, berat jenis kering permukaan jenuh (SSD), dan angka penyerapan air.

- c. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal mengacu pada SNI 2439:2011  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelekatan agregat terhadap aspal.

- d. Pengujian *Sand Equivalent* mengacu pada SNI 03-4428-1997

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kadar lumpur atau debu maupun bahan lempung pada agregat halus.

- e. Pengujian abrasi pada mesin *Los Angeles* mengacu pada SNI 2417:2008

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat kasar akibat keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.

- f. Pengujian analisa saringan mengacu pada ASTM C136-2012

Pengujian ini menggunakan satu set saringan yang bertujuan untuk menentukan gradasi agregat kasar, agregat halus dan *filler*.

##### 2. Pengujian Aspal

Aspal merupakan bahan pengikat antar agregat pada campuran perkerasan. Penelitian ini menggunakan bahan ikat aspal *AC 60/70 modified* dan *non modified*. Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis aspal mengacu pada SNI 2441:2011  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai berat jenis aspal yang akan digunakan.
- b. Pengujian daktilitas mengacu pada SNI 2432:2011  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui nilai kohesi dan kelenturan aspal. Pada pengujian ini dilakukan pada suhu 25°C dengan meletakkan aspal pada dua cetakan berbeda kemudian aspal ditarik dengan kecepatan 50 mm/menit, lalu diukur jarak terpanjang aspal sebelum aspal putus maka kita dapat melakukan pengukuran nilai daktilitasnya.
- c. Pengujian penetrasi mengacu pada SNI 2456:2011  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan bitumen dengan menggunakan jarum berukuran 0,1 mm, beban, dan waktu tertentu pada suhu tertentu.
- d. Pengujian kelarutan pada *Trichlor Ethylen (TCE)* mengacu pada *ASTM D2042*  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kelarutan aspal dengan menggunakan larutan *TCE* sehingga dapat diketahui nilai kemurnian aspal tersebut.
- e. Pengujian titik nyala dan bakar mengacu pada SNI 2433:2011  
Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu dari aspal ketika terjadi nyala singkat diatas permukaan aspal (titik nyala) dan aspal terbakar sekitar 5 detik pada suatu titik (titik bakar).
- f. Pengujian titik lembek mengacu pada SNI 2434:2011  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui titik lembek aspal yang nilainya berkisar di antara 30°C sampai 200°C.
- g. Pengujian viskositas kinematis 135°C mengacu pada ASTM D2170-10  
Tidak dapat dilakukan, karena keterbatasan peralatan pada laboratorium.
- h. Pengujian kadar parafin mengacu pada SNI 03-3639-2002  
Tidak dapat dilakukan, karena keterbatasan peralatan pada laboratorium.
- i. Pengujian stabilitas penyimpanan : perbedaan titik lembek mengacu pada ASTM D2170-10

Tidak dapat dilakukan, karena keterbatasan peralatan pada laboratorium.

#### 4.3.2. Persiapan Alat

Peralatan yang digunakan untuk menunjang proses penelitian ini disediakan dari Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang digunakan sebagai berikut.

1. Seperangkat alat pengujian agregat, seperti satu set analisa saringan, mesin *Los Angeles*, tabung *Sand Equivalent*, dan *vibrator*.
2. Seperangkat alat pengujian aspal seperti alat uji daktilitas, penetrasi, kelarutan aspal, titik nyala, titik bakar, dan titik lembek.
3. Cetakan benda uji (*mold*) dengan diameter 10 cm dengan tinggi 7,5 cm.
4. Alat pengujian *Marshall*, sebagai berikut.
  - a. Cincin penguji berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
  - b. Kepala penekan berbentuk lengkung (*breaking head*).
  - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm.
  - d. Arloji penunjuk *flow* dengan ketelitian 0,25 mm beserta perlengkapannya.
5. Alat penumbuk benda uji dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuhan beban 45,7 cm bernama *compactor*.
6. Alat untuk mengeluarkan benda uji dari cetakan bernama *ejector*.
7. Timbangan berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gr dan timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gr yang dilengkapi penggantung.
8. Bak perendam (*waterbath*) yang digunakan untuk merendam benda uji sebelum dilakukan pengujian dilengkapi pengatur suhu minimum 20°C.
9. Oven digunakan untuk memanaskan benda uji dengan pengatur suhu sampai  $(200 \pm 3)$  °C.
10. Alat uji *ITS* yang meliputi sebagai berikut.
  - a. Alat ukur tekan dengan lebar 0,5 inchi.
  - b. Arloji stabilitas dan *flow* dengan ketelitian 0,25 mm.
  - c. Peralatan penunjang lain selama proses penelitian seperti kompor, thermometer, spatula, wajan, gelas ukur, nampan, bak plastik, kain lap, jangka sorong, dan lainnya.



#### 4.3.3. Perencanaan Campuran

Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Pemilihan gradasi dilakukan berdasarkan tiga spesifikasi campuran yang berbeda, yaitu *AC-WC* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 Revisi 2.

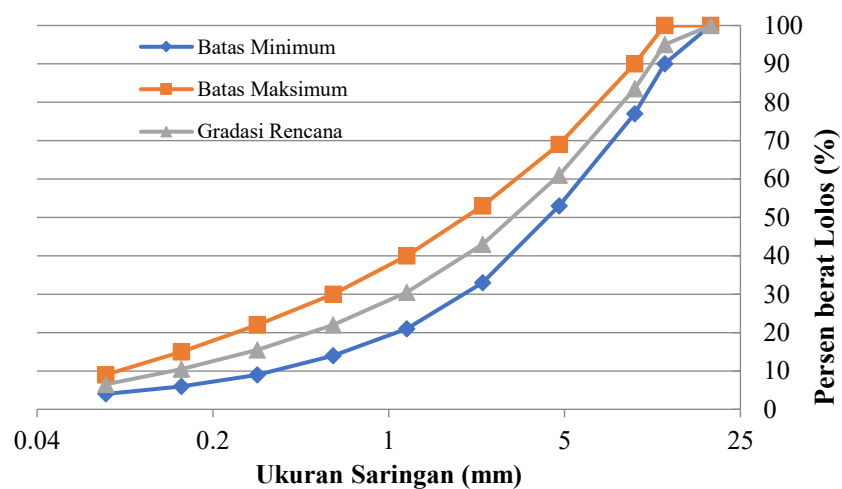
Adapun rancangan gradasi agregat untuk campuran *AC-WC* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

**Tabel 4. 1 Spesifikasi Gradasi Campuran *AC-WC***

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana	
			Min	Max	Lolos	Tertahan
3/4	19	mm	100	100	100	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5
Pen			0	0	0	100

Sumber : Bina Marga (2018) Revisi 2

Grafik rencana gradasi yang digunakan ke dalam campuran *AC-WC*, dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



**Gambar 4. 1 Rencana Gradasi Campuran *AC-WC***

Sumber : Bina Marga (2018) Revisi 2

Penentuan kadar aspal optimum rencana dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.1 berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + K \quad (4.1)$$

keterangan :

$P_b$  = kadar aspal,

$CA$  = persen agregat tertahan saringan No. 4,

$FA$  = persen agregat lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200,

$Filler$  = persen agregat lolos saringan No. 200, dan

$K$  = 1-2

Berdasarkan Tabel 4.1, maka didapatkan  $CA$  39%,  $FA$  54,5%,  $Filler$  6,5%, dan  $K$  menggunakan 1. Maka dapat dicari kadar aspal optimum rencana dengan menggunakan Persamaan 4.1, didapatkan perhitungan

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035(39) + 0,045(54,5) + 0,18(6,5) + 1 \\ &= 5,853\% \approx 6\% \end{aligned}$$

Berdasarkan Bina Marga 2018 Revisi 2 kadar aspal berada pada kisaran 5,99%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram. Kebutuhan agregat untuk tiap-tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 hingga Tabel 4.6.

**Tabel 4. 2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Jumlah (%)		Berat Tertahan (%)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5	57	57
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5	131,1	188,1
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39	256,5	444,6
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57	205,2	649,8
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5	142,5	792,3
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78	96,9	889,2
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5	74,1	963,3
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5	57	1020,3
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5	45,60	1065,9
Pen			0	0	0	100	74,10	1140

**Tabel 4. 3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Jumlah (%)		Berat Tertahan (%)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5	56,7	56.7
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5	130,41	187.11
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39	255,15	442.26
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57	204,12	646.38
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5	141,75	788.13
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78	96,39	884.52
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5	73,71	958.23
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5	56,7	1014.93
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5	45,36	1060.29
Pen			0	0	0	100	73,71	1134

**Tabel 4. 4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Jumlah (%)		Berat Tertahan (%)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5	56.4	56.4
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5	129.72	186.12
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39	253.8	439.92
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57	203.04	642.96
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5	141	783.96
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78	95.88	879.84
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5	73.32	953.16
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5	56.4	1009.56
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5	45.12	1054.68
Pen			0	0	0	100	73,32	1128

**Tabel 4. 5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Jumlah (%)		Berat Tertahan (%)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5	56.1	56.1
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5	129.03	185.13
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39	252.45	437.58
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57	201.96	639.54
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5	140.25	779.79
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78	95.37	875.16
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5	72.93	948.09
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5	56.1	1004.19
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5	44.88	1049.07
Pen			0	0	0	100	72,93	1122

**Tabel 4. 6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Jumlah (%)		Berat Tertahan (%)	
			Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4	19	mm	100	100	100	0	0	0
1/2	12.5	mm	90	100	95	5	55.8	55.8
3/8	9.5	mm	77	90	83,5	16,5	128.34	184.14
No. 4	4.75	mm	53	69	61	39	251.1	435.24
No. 8	2.36	mm	33	53	43	57	200.88	636.12
No. 16	1.18	mm	21	40	30,5	69,5	139.5	775.62
No. 30	0.6	mm	14	30	22	78	94.86	870.48
No. 50	0.3	mm	9	22	15,5	84,5	72.54	943.02
No. 100	0.15	mm	6	15	10,5	89,5	55.8	998.82
No. 200	0.075	mm	2	9	6,5	93,5	44.64	1043.46
Pen			0	0	0	100	72,54	1116

Kebutuhan agregat didasarkan pada berat campuran sebesar 1200 gram yang kemudian dikurangi dengan kadar aspal terhadap campuran yakni sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat campuran. Kemudian persentase lolos dan tertahan saringan tiap nomor saringan dikalikan dengan hasil berat campuran dikurangi dengan kadar aspal hingga didapatkan berat agregat untuk tiap-tiap nomor saringan yang dibutuhkan. Selanjutnya, rincian jumlah benda uji yang digunakan untuk mencari kadar aspal optimum (KAO) dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut ini.

**Tabel 4. 7 Jumlah Benda Uji Kebutuhan Nilai KAO**

Kadar Aspal (%)	AC-WC (buah)
5	3
5.5	3
6	3
6.5	3
7	3
Total	15

Selanjutnya, berdasarkan pada penelitian Puspitasari dkk. (2018) digunakan kadar *PET* 0% sampai 6% dan didapat nilai optimumnya ialah 4%. Untuk penelitian ini akan digunakan kadar *PET* 3% sampai 5%. Berikut rincian jumlah benda uji yang digunakan untuk mencari kadar *PET* optimum (KPO) dapat dilihat pada Tabel 4.8 dan 4.9 berikut ini.

**Tabel 4. 8 Kebutuhan *PET* untuk mencari *PET* Optimum**

Kadar <i>PET</i> terhadap Aspal (%)	Berat <i>PET AC-WC</i> (gram)
3	2,340
3,5	2,730
4	3,120
4,5	3,510
5	3,900

Setelah didapatkan nilai KAO maka dilakukan pengujian untuk setiap nilai yang didapatkan. Jumlah benda uji untuk setiap pengujian KAO dan KPO dapat dilihat pada Tabel 4.10 berikut.

**Tabel 4. 9 Kebutuhan Benda Uji Kadar *PET* Optimum**

Kadar <i>PET</i> terhadap Aspal (%)	Jumlah Sampel <i>AC-WC</i> (buah)
3	3
3,5	3
4	3
4,5	3
5	3
Total	15

**Tabel 4. 10 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO Dan KPO**

Pengujian	<i>AC-WC</i>					
	<i>PET Modified Asphalt</i>			<i>Non PET Modified Asphalt</i>		
	Lama Rendaman (Jam)			Lama Rendaman (Jam)		
	0	24	48	0	24	48
MR	3	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3	3
CL	3			3		
Total	42					

Berdasarkan Tabel 4.7 sampai dengan Tabel 4.10, maka total benda uji dalam penelitian ini adalah 72 buah.

#### 4.3.4. Pembuatan Campuran Benda Uji

Pada tahap pembuatan campuran benda uji, langkah pertama adalah merencanakan komposisi campuran dengan melakukan penyaringan agregat untuk memisahkan partikel-partikel sesuai dengan ukuran yang diinginkan sesuai dengan nomor saringan yang digunakan. Setiap agregat yang tertahan pada nomor saringan

tersebut kemudian diukur beratnya. Langkah-langkah pembuatan campuran benda uji adalah sebagai berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Memanaskan aspal pada suhu tertentu, pada penelitian ini menggunakan aspal *AC 60/70* dan *AC* modifikasi yang dipanaskan mencapai suhu 160°C.
3. Memanaskan agregat kasar, agregat halus, dan *filler* sampai suhu 170°C, kemudian mencampurkan kadar aspal sesuai dengan persentase yang telah direncanakan dan mengaduk sampai homogen.
4. Membersihkan cetakan benda uji dan mengolesi bagian dalam cetakan dengan menggunakan oli
5. Meletakkan kertas yang telah dicetak sesuai dengan ukuran cetakan pada bagian bawah. Kemudian memasukkan campuran benda uji yang telah tercampur merata sebanyak 1/3 bagian dari volume cetakan dan ditusuk-tusuk menggunakan spatula sebanyak 25 kali. Dengan cara yang sama, benda uji dimasukkan sampai cetakan penuh kemudian meletakkan kertas di bagian atas.
6. Meletakkan cetakan yang telah berisi benda uji diatas mesin pemadat. Kemudian menyeting mesin pemadat sebanyak 75 kali tumbukan di setiap sisi.
7. Setelah selesai pemadatan, benda uji dikeluarkan dari mesin pemadat dan didiamkan agar tidak terlalu panas.
8. Mengeluarkan benda uji dari cetakan menggunakan *ejector hydarulic pump*, kemudian mendiamkan benda uji tersebut dan mengambil kertas pada kedua sisi.

#### 4.3.5. Pengujian *Marshall Test*

*Marshall Test* merupakan pengujian yang bertujuan untuk memperoleh nilai stabilitas, *flow*, *MQ*, density, *VITM*, *VMA*, dan *VFWA* dari suatu campuran perkerasan. Pengujian ini dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut.

- a. Menyiapkan alat dan benda uji yang akan digunakan.
- b. Membersihkan benda uji dari kotoran yang masih menempel dari proses pembuatan sampel.
- c. Mengukur tinggi benda uji pada tiga sisi dengan menggunakan *kaliper* kemudian menimbang benda uji dalam keadaan kering udara.

- d. Merendam benda uji di dalam air hujan pada suhu ruang selama 20 sampai 24 jam untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang benda uji di dalam air dan mencatat hasilnya.
- e. Mengelap benda uji yang telah ditimbang dalam air dengan menggunakan kain lap sampai mencapai kondisi SSD, kemudian menimbang benda uji sehingga diperoleh berat dalam keadaan SSD.
- f. Memasukkan benda uji ke dalam waterbath dengan suhu 60°C selama 30 menit.
- g. Memeriksa mesin *Marshall Test* beserta dial pelengkapannya dan menyiapkan *breaking head* yang telah diolesi dengan oli.
- h. Mengambil benda uji dari *waterbath* dan meletakkannya ke dalam *breaking head*, kemudian memasang dial *flow* dan menaikkan *breaking head* sampai benda uji menyentuh cincin penguji.
- i. Mengatur jarum pada *dial* stabilitas dan *flow* pada posisi angka nol.
- j. Menghidupkan mesin dan mengamati pembebanan sampai dial stabilitas mencapai angka maksimum.
- k. Mencatat hasil pembacaan dari dial stabilitas dan dial *flow*.

#### 4.3.6. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Langkah-langkah pengujian *ITS* dapat dilakukan dengan cara berikut.

1. Menyiapkan alat dan bahan yang akan digunakan.
2. Membuat benda uji sesuai dengan perencanaan menggunakan nilai KAO yang telah diperoleh dari hasil pengujian *Marshall*.
3. Meletakkan benda uji pada mesin *ITS*.
4. Menyalakan mesin uji dan mengamati pembacaan dial dan mencatat hasilnya.

#### 4.3.7. Pengujian *Cantabro loss*

Pengujian *Cantabro loss* dapat dilakukan sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan.
2. Menimbang benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi (Mo).
3. Selanjutnya meletakkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles* tanpa bola baja.
4. Memutar mesin dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran.

- Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi (Mi).

#### 4.4. Analisis Data

Setelah dilakukan berbagai macam pengujian, maka dilakukan analisis data untuk mendapatkan parameter hasil pengujian secara lengkap.

##### 4.3.8. Analisis Karakteristik *Marshall Test*

Parameter hasil pengujian *Marshall* diperoleh data sebagai berikut.

- Beat benda uji kering udara (gram)
- Berat benda uji dalam air (gram)
- Berat benda uji SSD (gram)
- Tebal benda uji (mm)
- Pembacaan dial stabilitas (kg)
- Pembacaan dial *flow* (mm)

Karakteristik *Marshall Test* dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut.

- Berat jenis aspal

Berat jenis aspal dihitung dengan menggunakan persamaan 4.2 berikut.

$$B_j \text{ Aspal} = \frac{C-A}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.2)$$

dengan :

A = berat piknometer dengan penutup (gr),

B = berat piknometer berisi air (gr),

C = berat piknometer berisi aspal, dan

D = berat piknometer berisi air dan aspal

- Berat jenis agregat

Berat jenis agregat dihitung dengan menggunakan Persamaan 4.3 berikut.

$$B_j \text{ Aspal} = \frac{(A \times F1) + (B \times F2)}{100} \quad (4.3)$$



dengan :

A = persentase agregat kasar (%),

B = persentase agregat halus (%),

F1= berat jenis agregat kasar, dan

F2= berat jenis agregat halus.

3. Nilai stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.1.
4. Nilai *flow* diperoleh dari hasil pembacaan dial *flow*.
5. Nilai *density* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.2 dan 3.3.
6. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.4 dan 3.5.
7. Nilai *VITM* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7.
8. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.9 dan 3.10.
9. Nilai *MQ* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.11.

#### 4.3.9. Analisis Pengujian *ITS*

Nilai pengujian *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.13.

#### 4.3.10. Analisis Pengujian *Cantabro Loss*

Nilai pengujian *Cantabro Test* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15.

#### 4.3.11. Analisis Statistik

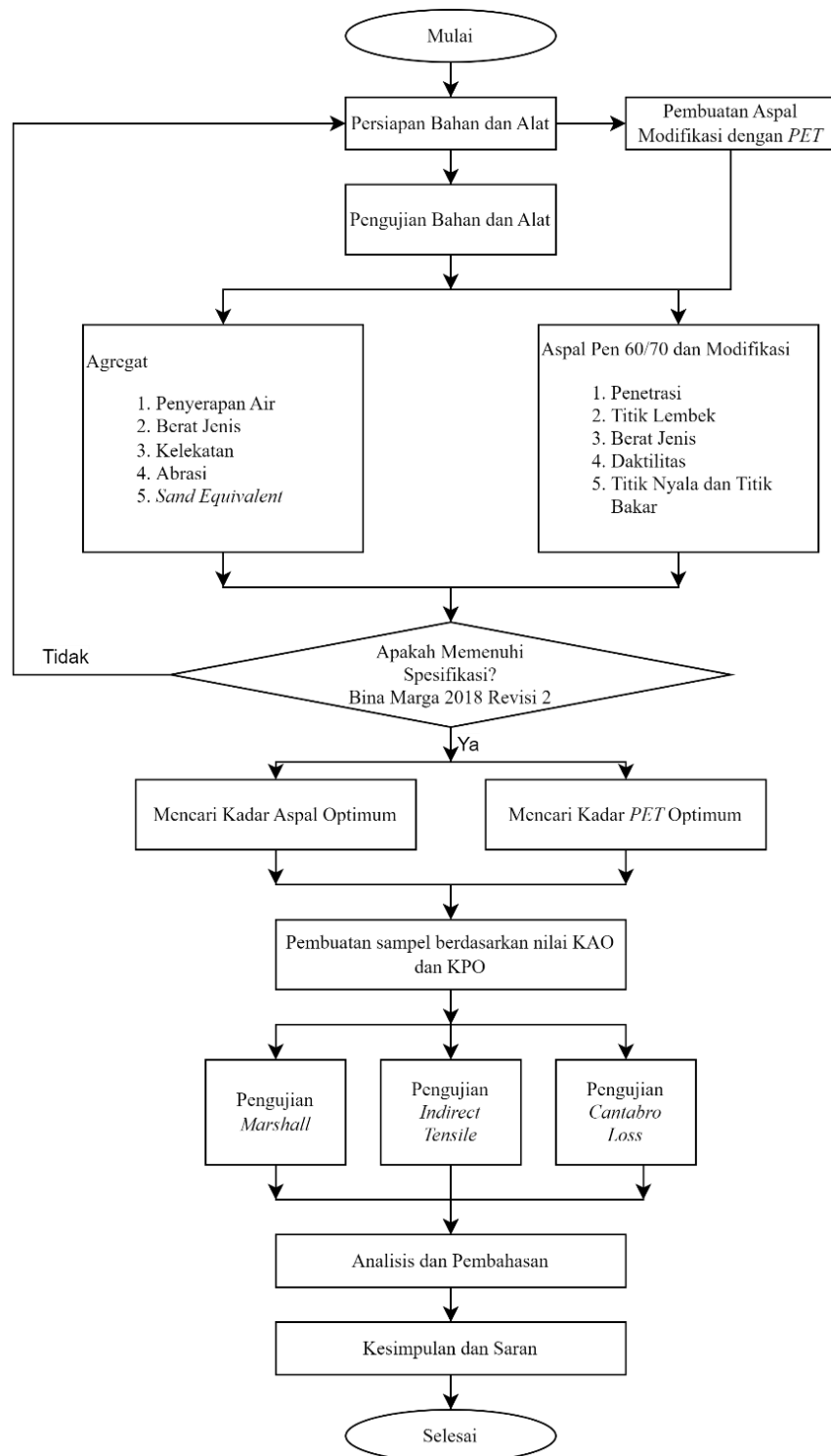
1. Merumuskan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ )

Nilai hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 4.5 dan 4.6.

2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.
3. Menentukan nilai  $\alpha$  atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.
4. Perumusan keputusan  $H_0$  dan  $H_1$

### 4.5. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian menunjukkan alir atau tahapan dari suatu penelitian yang dilakukan secara lebih singkat dan jelas. Pada penelitian ini, bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.2 berikut



**Gambar 4. 2 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1. Hasil pengujian Bahan dan Campuran

Adapun berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

##### 5.1.1. Hasil Karakteristik Aspal

Pengujian menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, bagian dari Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Karakteristik aspal ini diuji sesuai dengan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018. Hasil pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dirujuk pada Tabel 5.1 di bawah ini atau dapat ditemukan dalam Lampiran 1 hingga Lampiran 6.

**Tabel 5. 1 Karakteristik Aspal Pen 60/70**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	60/70	62,70	Memenuhi
2	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,037	Memenuhi
3	Daktilitas	$>100$	110	Memenuhi
4	Titik Lembek	$\geq 48$	50,50	Memenuhi
5	Titik Nyala	$\geq 232$	332	Memenuhi
6	Titik Bakar	$\geq 232$	336	Memenuhi
7	Kelarutan	$\geq 99$	99,11	Memenuhi

Adapun hasil pengujian karakteristik aspal modifikasi *PET* dengan modifikasi ukuran 0,5 cm<sup>2</sup> tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut atau dapat dilihat pada Lampiran 7 hingga Lampiran 12.

**Tabel 5. 2 Karakteristik Aspal Modifikasi Ukuran 0,5×0,5 cm**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	60/70	62,50	Memenuhi
2	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1.012	Memenuhi
3	Daktilitas	$>100$	152.50	Memenuhi
4	Titik Lembek	$\geq 48$	48.50	Memenuhi
5	Titik Nyala	$\geq 232$	330	Memenuhi

**Lanjutan Tabel 5.2 Karakteristik Aspal Modifikasi Ukuran 0,5×0,5 cm**

6	Titik Bakar	≥232	338	Memenuhi
7	Kelarutan	≥99	99.02	Memenuhi

Adapun hasil pengujian karakteristik aspal modifikasi *PET* dengan modifikasi ukuran granular bubuk tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut atau dapat dilihat pada Lampiran 13 hingga Lampiran 18.

**Tabel 5.3 Karakteristik Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Penetrasi	60/70	70.90	Memenuhi
2	Berat Jenis	≥1,0	1.086	Memenuhi
3	Daktilitas	>100	105.8	Memenuhi
4	Titik Lembek	≥48	48.50	Memenuhi
5	Titik Nyala	≥232	321	Memenuhi
6	Titik Bakar	≥232	328	Memenuhi
7	Kelarutan	≥99	99.32	Memenuhi

Adapun hasil pengamatan kemudahan (*Workability*) selama pembuatan bahan modifikasi aspal dengan dua jenis yaitu ukuran 0,5 cm<sup>2</sup> dan bubuk pada Tabel 5.4 berikut

**Tabel 5.4 Hasil *Workability* Pembuatan Bahan Additif**

Metode	0,5 cm <sup>2</sup>	Bubuk	Satuan
Pencarian Bahan	0.00	0.00	-
Pembersihan Bahan	5.34	5.21	menit/botol
Pemotongan Kasar Bahan	55.12	33.54	menit/botol
Berat Hasil Pemotongan Halus	265.67	65.12	gr/botol
Produktifitas	4.39	1.68	gr/menit

#### 5.1.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang dianalisis berasal dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian karakteristik agregat ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, yang merupakan bagian dari Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Hasil pengujian karakteristik agregat tersebut tersaji dalam Tabel 5.5 hingga Tabel 5.7.

**Tabel 5. 5 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,676	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap Air (%)	$\leq 3$	1,818	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	$\geq 95$	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles (%)	$\leq 40$	7,175	Memenuhi

**Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,618	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat terhadap Air (%)	$\leq 3$	1,010	Memenuhi
3	Sand Equivalent (%)	$\geq 50$	92,05	Memenuhi

**Tabel 5. 7 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler***

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,515	Memenuhi

### 5.1.3. Hasil Pengujian Asam-Basa Air Hujan Menggunakan Kertas Lakmus

**Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Asam-Basa Air Hujan**

Kertas	Perubahan	Hasil	Keterangan
Merah	Merah	Asam	Ph<7
Biru	Merah	Asam	Ph<7

### 5.1.4. Hasil Pengujian Campuran *AC-WC* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

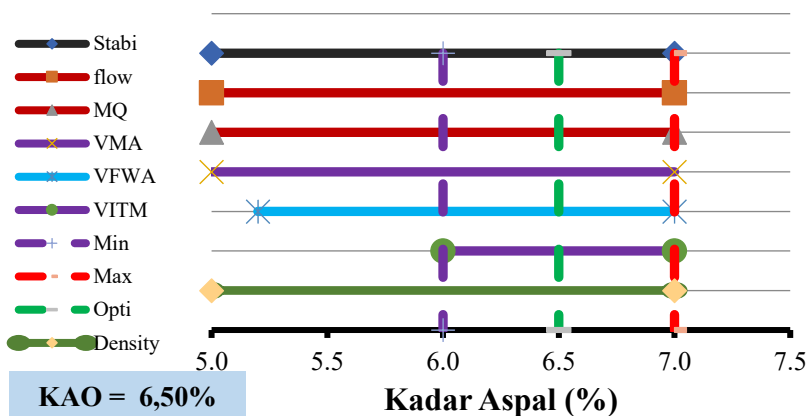
Agregat yang diperiksa berasal dari Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Karakteristik agregat ini dianalisis di Laboratorium Jalan Raya yang terintegrasi dalam Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Temuan karakteristik agregat ini terdokumentasi dalam Tabel 5.9.

**Tabel 5. 9 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk Penentuan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1617	2,07	781,159	6,46	63,150	16,14	2,296
5,5	1787	2,18	819,725	5,99	66,981	16,76	2,291
6	1909	2,30	830,000	4,99	72,720	16,91	2,299
6,5	1945	2,52	771,825	3,86	78,952	16,96	2,310

Lanjutan Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk Penentuan KAO

7	1949	2,62	743,893	3,73	80,609	17,87	2,297
Spesifikasi	>800	>2-4	>250	>3-5	>65	>15	



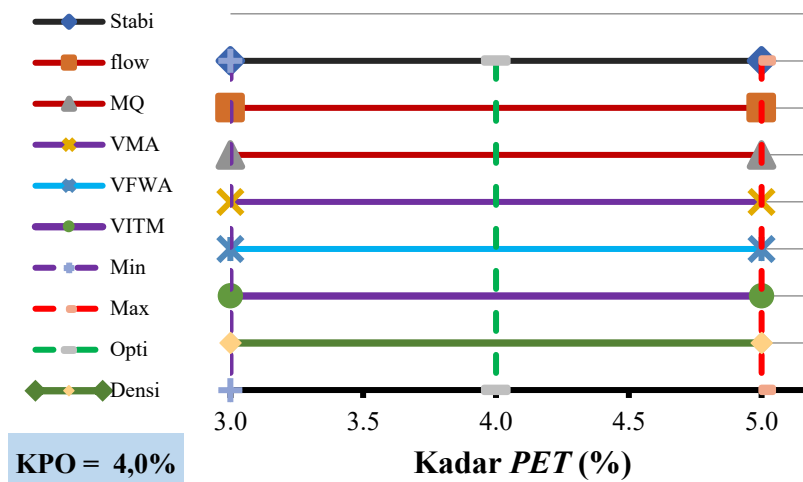
Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

5.1.5. Hasil Pengujian Campuran *AC-WC* untuk Menentukan Kadar *PET* Optimum (KPO) dari KAO

Pengujian campuran dilakukan untuk menentukan kadar *PET* optimal dengan menggunakan data karakteristik Marshall, yang sama dengan metode penentuan kadar aspal optimal. Hasil pengujian ini terdokumentasi dalam Tabel 5.10 di bawah ini atau dapat dijelaskan secara rinci dalam Lampiran.

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk Penentuan KPO

Kadar <i>PET</i> Optimum (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VITM (%)	VMA (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
3	1553	2,29	78,114	4,13	17,50	678,166	2,295
3,5	1760	2,59	78,287	4,09	17,46	679,537	2,296
4	1903	2,60	80,142	3,67	17,10	731,923	2,306
4,5	2006	2,67	81,696	3,33	17,82	751,311	2,314
5	2038	3,02	82,446	3,17	17,67	674,834	2,318
Spesifikasi	>1000	>2-4	>65	>3-5	>15	>250	



Gambar 5. 2 Penentuan Kadar *PET* Optimum (KPO) dari KAO

#### 5.1.6. Hasil Pengujian Campuran *AC-WC* dengan menggunakan *PET* sebagai Bahan Tambah dan *Non-PET* pada KAO dan KPO

Hasil pengujian campuran *AC-WC* dengan menggunakan tambahan bahan *PET* pada kadar aspal optimum melibatkan pengujian *Marshall Standard*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Cantabro*. Hasil pengujian tersebut terdokumentasi dalam Tabel 5.11 hingga Tabel 5.13 di bawah ini.

##### 1. *Marshall Standard*

Hasil pengujian *Marshall Standard* campuran *AC-WC* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 0 Jam

Jenis Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VITM (%)	VMA (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
<i>Non-PET</i>	1766	2,370	81,857	3,230	16,420	745,148	2,325
<i>PET</i>	1950	2,960	79,966	3,490	16,030	745,370	2,336
Spesifikasi	>1000	>2-4	>65	>3-5	>15	>250	

**Tabel 5. 12 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 24 Jam**

Jenis Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VITM (%)	VMA (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
<i>Non-PET</i>	1610	2,160	79,356	3,770	16,890	745,370	2,312
<i>PET</i>	1642	2,420	77,689	3,980	16,460	678,512	2,324
Spesifikasi	>1000	>2-4	>65	>3-5	>15	>250	

**Tabel 5. 13 Hasil Pengujian *Marshall Standard* untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman 48 Jam**

Jenis Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	VFWA (%)	VITM (%)	VMA (%)	MQ (kg/mm)	Density (gr/cc)
<i>Non-PET</i>	1410	2,120	77,149	4,270	17,320	665,094	2,300
<i>PET</i>	1476	2,270	76,925	4,150	16,600	650,220	2,320
Spesifikasi	>1000	>2-4	>65	>3-5	>15	>250	

### 2. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran *AC-WC* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5. 14 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* untuk KPO dan KAO dengan Variasi Rendaman**

Jenis Aspal	<i>ITS</i> (kPa)		
	0 Jam	24 Jam	48 Jam
<i>Non-PET</i>	319,873	205,282	171,693
<i>PET</i>	440,012	269,392	183,259

### 3. *Cantabro Loss*

Hasil pengujian *Cantabro* campuran *AC-WC* dengan bahan tambah *PET* optimum pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

**Tabel 5. 15 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk KPO dan KAO**

Jenis Aspal	Kehilangan Berat (%)
<i>Non-PET</i>	7,11
<i>PET</i>	9,54



### 5.1.7. Hasil Analisis Statistik *Anova*

Hasil analisis statistik anova meliputi data-data uji karakteristik *Marshall* pada nilai KAO, *ITS* dan *CL* dengan masing-masing pengaruh terhadap penggunaan jenis aspal maupun variasi rendaman air hujan. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan anova dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.24 berikut ini.

- a. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh Variasi Rendaman pada Aspal *Non-PET* terhadap karakteristik *Marshall*

**Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *Marshall* Aspal *Non-PET* untuk Semua Variasi Rendaman**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Stabilitas	Signifikan	H1 diterima
2	<i>Flow</i>	Signifikan	H1 diterima
3	<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
4	<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
5	<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
6	<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
7	<i>Density</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

- b. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh Variasi Rendaman pada Aspal *PET* terhadap karakteristik *Marshall*

**Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *Marshall* Aspal *PET* untuk Semua Variasi Rendaman**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Stabilitas	Signifikan	H1 diterima
2	<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
3	<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
4	<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
5	<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
6	<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
7	<i>Density</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

- c. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh penggunaan aspal *PET* pada Variasi Rendaman 0 Jam terhadap karakteristik *Marshall*

**Tabel 5. 18 Hasil Pengujian ANOVA Perbedaan nilai Marshall Variasi Rendaman 0 Jam untuk semua Jenis Aspal**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Stabilitas	Tidak Signifikan	H0 diterima
2	<i>Flow</i>	Signifikan	H1 diterima
3	<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
4	<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
5	<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
6	<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
7	<i>Density</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

- d. Hasil uji statistik ANOVA pengaruh penggunaan aspal PET pada Variasi Rendaman 24 Jam terhadap karakteristik Marshall

**Tabel 5. 19 Hasil Pengujian ANOVA Perbedaan nilai Marshall Variasi Rendaman 24 Jam untuk semua Jenis Aspal**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Stabilitas	Tidak Signifikan	H0 diterima
2	<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
3	<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
4	<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
5	<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
6	<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
7	<i>Density</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

- e. Hasil uji statistik ANOVA pengaruh penggunaan aspal PET pada Variasi Rendaman 48 Jam terhadap karakteristik Marshall

**Tabel 5. 20 Hasil Pengujian ANOVA Perbedaan nilai Marshall Variasi Rendaman 48 Jam untuk semua Jenis Aspal**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Stabilitas	Tidak Signifikan	H0 diterima
2	<i>Flow</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
3	<i>VITM</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
4	<i>VFWA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
5	<i>VMA</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
6	<i>MQ</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima
7	<i>Density</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

- f. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh variasi rendaman pada aspal *Non-PET* terhadap karakteristik *ITS*

**Tabel 5. 21 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *ITS* Aspal *Non-PET* untuk semua Variasi Rendaman**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	<i>Variasi Rendaman</i>	Signifikan	H1 diterima

- g. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh variasi rendaman pada aspal *PET* terhadap karakteristik *ITS*

**Tabel 5. 22 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *ITS* Aspal *PET* untuk semua Variasi Rendaman**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	<i>Variasi Rendaman</i>	Signifikan	H1 diterima

- h. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh penambahan *PET* terhadap lama Perendaman terhadap karakteristik *ITS*

**Tabel 5. 23 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *ITS* untuk Semua Jenis Aspal dan semua Variasi Rendaman**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	0 Jam	Signifikan	H1 diterima
2	24 Jam	Tidak Signifikan	H0 diterima
3	48 Jam	Tidak Signifikan	H0 diterima

- i. Hasil uji statistik *ANOVA* pengaruh penambahan *PET* terhadap karakteristik *Cantabro Loss*

**Tabel 5. 24 Hasil Pengujian *ANOVA* Perbedaan nilai *Cantabro Loss* untuk Semua Jenis Aspal**

No	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	<i>Cantabro Loss</i>	Tidak Signifikan	H0 diterima

## 5.2. Pembahasan

Pembahasan hasil pengujian dilakukan untuk memastikan material yang digunakan dalam pengujian telah memenuhi spesifikasi Umum Bina Marga Tahun

2018 Revisi 2.

### 5.2.1. Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam hal ini agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo.

#### 1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dan berat volume air pada suhu yang sama. Nilai berat jenis ini penting dalam menentukan perencanaan campuran yang akan digunakan. Agregat dengan berat jenis yang lebih rendah cenderung memiliki kadar pori yang besar, sehingga mampu menyerap lebih banyak aspal. Ini dapat menghasilkan selimut aspal yang lebih tipis, yang pada gilirannya dapat memengaruhi durabilitas aspal. Di sisi lain, agregat dengan berat jenis yang lebih tinggi cenderung meningkatkan durabilitas aspal, namun juga dapat meningkatkan risiko *bleeding* pada campuran. Hasil pengujian berat jenis agregat kasar menunjukkan nilai sebesar 2,676 dengan ketelitian hingga tiga angka di belakang koma. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yang menetapkan nilai minimal  $>2,5$ .

#### 2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan air oleh agregat mengacu pada kemampuan agregat untuk menyerap air melalui pori-pori yang ada di dalamnya. Agregat dengan pori yang lebih besar cenderung menyerap lebih banyak aspal, yang dapat mengakibatkan lapisan permukaan aspal menjadi lebih tipis, dan pada akhirnya mempengaruhi daya tahan campuran aspal. Hasil pengujian agregat dari Clereng menunjukkan tingkat penyerapan air sebesar 1,818%

#### 3. Kelekatan agregat terhadap aspal

Daya lekat aspal terhadap agregat dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk menetapkan persentase luas permukaan agregat yang dilapisi oleh aspal. Hasil pengujian agregat dari Clereng menunjukkan bahwa persentase permukaan agregat yang dilapisi oleh aspal adalah sebesar

98%, memenuhi standar yang diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih besar dari 95%.

#### 4. Keausan dengan Mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan bertujuan untuk menilai sejauh mana agregat mampu bertahan terhadap proses degradasi menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian pada agregat dari Clereng menunjukkan angka sebesar 7,175%, dimana nilai ini memenuhi standar yang diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu di bawah 40%.

#### 5.2.2. Karakteristik Agregat Halus

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam hal ini agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulon Progo

##### 1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat adalah perbandingan antara berat volume agregat dengan berat volume air pada suhu yang sama. Nilai berat jenis ini digunakan untuk merencanakan campuran yang akan digunakan. Agregat dengan berat jenis yang lebih rendah cenderung memiliki pori-pori yang lebih besar, sehingga dapat menyerap lebih banyak aspal. Hal ini dapat menghasilkan lapisan aspal yang lebih tipis, yang pada gilirannya memengaruhi durabilitas aspal. Sebaliknya, jika berat jenisnya tinggi, dapat meningkatkan durabilitas aspal tetapi juga meningkatkan risiko bleeding pada campuran.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis agregat halus adalah 2,618. Nilai ini memenuhi standar yang disyaratkan oleh Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang menetapkan nilai minimal lebih dari 2,5.

##### 2. Penyerapan agregat terhadap air

Penyerapan air oleh agregat merujuk pada kemampuan agregat untuk menyerap air melalui pori-pori yang terdapat di dalamnya. Agregat dengan pori yang besar cenderung menyerap lebih banyak aspal, yang dapat mengakibatkan lapisan aspal menjadi lebih tipis dan berpotensi memengaruhi durabilitas campuran tersebut. Hasil pengujian agregat dari Clereng menunjukkan tingkat penyerapan air sebesar 1,010%.

### 3. *Sand Equivalent*

*Sand Equivalent* digunakan untuk menilai tingkat kebersihan agregat terhadap butiran halus yang melewati saringan No. 200, seperti lempung, lanau, atau material organik pada campuran agregat. Keberadaan butiran halus yang berlebihan dalam agregat dapat mengakibatkan penurunan kualitas beton aspal, karena butiran halus tersebut dapat membungkus butiran kasar, mengurangi ikatan antara agregat dan bahan pengikat. Hasil pengujian sand equivalent untuk agregat halus dari Clereng menunjukkan nilai sebesar 92,045%, sesuai dengan persyaratan dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Revisi 2 yang mensyaratkan nilai lebih dari 50%.

#### 5.2.3. Karakteristik Bahan Pengisi (Filler)

Berat jenis adalah perbandingan antara berat suatu benda dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Hasil pengujian menunjukkan berat jenis filler abu batu Clereng yang digunakan adalah sebesar 2,515.

#### 5.2.4. Karakteristik Aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Dalam hal ini aspal yang digunakan ialah aspal Pertamina Pen 60/70.

##### 1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan berat aspal terhadap berat air dengan volume yang sama dan pada suhu yang sama. Penelitian ini telah menguji berat jenis aspal menggunakan tiga sampel yang berbeda. Pertama, sampel aspal pen 60/70 di uji yaitu sebesar 1,037. Kedua, sampel aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm di uji yaitu sebesar 1,012. Ketiga, sampel aspal modifikasi ukuran bubuk di uji yaitu sebesar 1,089. Ketiga sampel tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu >1,00.

##### 2. Penetrasi Aspal

Uji penetrasi aspal dilakukan untuk menilai tingkat kekerasan aspal dengan menerapkan beban dan waktu tertentu pada suhu yang telah ditetapkan. Adapun sampel pertama nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang di uji adalah 62,70 mm. Sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm di uji yaitu

sebesar 62,50 mm. Sampel ketiga aspal modifikasi ukuran bubuk di uji yaitu sebesar 70,90 mm. ketiga sampel memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu minimal 60 mm khusus untuk aspal modifikasi terdapat angka toleransi yaitu  $\pm 4$  mm untuk pen 60/70.

### 3. Daktilitas

Pengujian daktilitas bertujuan untuk memahami karakteristik kohesi aspal yang berdampak pada fleksibilitas campuran aspal, memungkinkannya untuk menahan lendutan. Adapun hasil sampel pertama pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 110 cm. sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm menghasilkan nilai daktilitas sebesar 152,50 cm. Ketiga, aspal modifikasi ukuran bubuk menghasilkan nilai daktilitas sebesar 105.80 cm. Ketiga sampel tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu  $>100$  cm.

### 4. Titik nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk menentukan suhu di mana aspal mencapai batas keamanan yang cukup untuk dipanaskan. Hasil pengujian titik nyala pada sampel pertama aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 332°C. Sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm menunjukkan nilai sebesar 330°C. Sampel ketiga aspal modifikasi ukuran bubuk menunjukkan nilai sebesar 321°C. ketiga sampel tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu  $> 232^\circ\text{C}$ .

### 5. Titik Bakar

Pengujian titik nyala bertujuan untuk menentukan suhu di mana aspal mencapai batas keamanan yang cukup untuk dipanaskan. Hasil pengujian sampel pertama titik nyala aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 336°C. Sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm menunjukkan nilai sebesar 338°C. Sampel ketiga aspal modifikasi ukuran bubuk menunjukkan nilai sebesar 328°C. Ketiga sampel tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu  $> 232^\circ\text{C}$ .

### 6. Kelarutan dalam *TCE* (*Trichloroethylene*)

Tujuan dari pengujian kelarutan terhadap *TCE* adalah untuk menentukan

persentase kelarutan aspal dalam larutan *TCE*, yang mengindikasikan persentase mineral lain yang terkandung dalam aspal. Semakin tinggi kelarutan aspal dalam *TCE*, semakin sedikit mineral lain dalam aspal yang mungkin mengganggu ikatan antara aspal dan agregat. Hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* sampel pertama aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,11%. Sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm adalah sebesar 99,02%. Sampel ketiga aspal modifikasi ukuran bubuk adalah sebesar 99,32%. Ketiga jenis sampel tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu sebesar >99%.

#### 7. Titik lembek

Pengujian titik leleh bertujuan untuk menentukan suhu di mana aspal akan mulai melunak atau melembek. Hasil pengujian sampel pertama aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan titik lembek sebesar 50,50°C. Sampel kedua aspal modifikasi ukuran 0,5 x 0,5 cm menunjukkan titik lembek sebesar 48,50°C. Sampel ketiga aspal modifikasi ukuran bubuk menunjukkan titik lembek sebesar 48,50°C. Ketiga sampel tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu  $\geq 48^{\circ}\text{C}$ .

#### 8. *Workability*

Produktifitas dalam metode pengerjaan pada saat pengambilan bahan aspal modifikasi yang terbagi menjadi dua jenis yaitu modifikasi aspal dengan ukuran 0,5 cm<sup>2</sup> dan bubuk dihasilkan bahwa produktifitas pembuatan bahan aspal modifikasi 0,5 cm<sup>2</sup> yaitu 4,42 gr/menit, sedangkan bubuk yaitu 1,71 gr/menit. Lebih efektif produktifitas pada jenis aspal modifikasi ukuran 0,5 cm<sup>2</sup>.

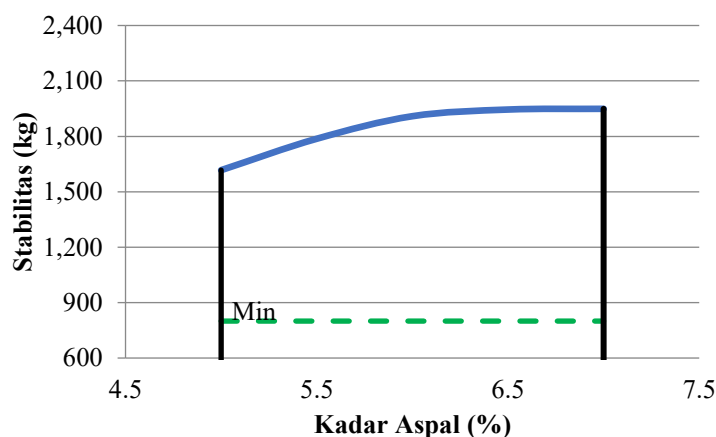
#### 5.2.5. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *AC-WC* yang digunakan pada penelitian ini menggunakan karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas, *flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient* dan *Density*. Adapun pembahasan hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO dapat dilihat sebagai berikut.

##### 1. Stabilitas



Stabilitas merupakan pada kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang dan alur (rutting). Tingkat stabilitas sangat dipengaruhi oleh kemampuan campuran untuk mengunci (*interlocking*) dan menghasilkan gaya gesek (*friction*). Nilai stabilitas yang dihasilkan akan mencerminkan kekuatan struktural dari campuran aspal, yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran tersebut. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas untuk campuran *AC-WC* dengan berbagai jenis bahan ikat dapat ditemukan dalam Gambar 5.3.

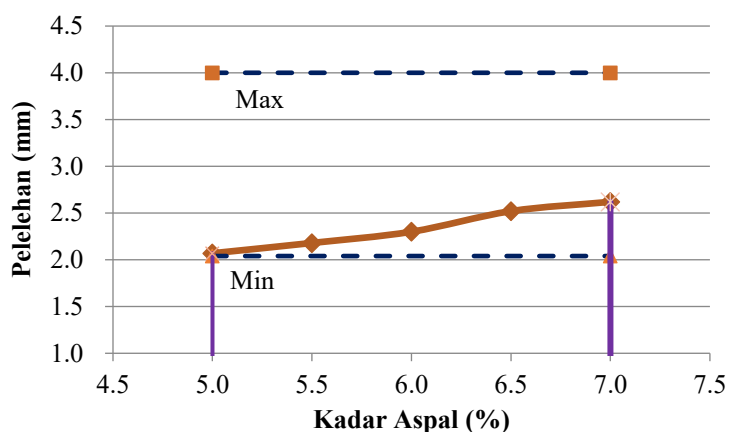


**Gambar 5. 3 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas**

Pada Gambar 5.3, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *AC-WC* yang menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 akan terus meningkat dimulai pada penggunaan kadar 5% dan mencapai puncaknya pada kadar 6%, kemudian stabil pada penambahan kadar aspal berikutnya. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa campuran *AC-WC* yang berbahan ikat aspal Pen 60/70 pada kadar 5% sampai 7% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 yaitu sebesar 800 kg.

## 2. Kelelahan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah angka yang menunjukkan besarnya penurunan vertikal Kelelehan, yang juga dikenal sebagai *flow*, adalah pengukuran penurunan vertikal pada benda uji, yang biasanya dinyatakan dalam milimeter atau 0,01. *Flow* diperlukan agar perkerasan memiliki kemampuan untuk menyesuaikan diri terhadap beban yang diterima, membentuk daerah mulur ketika diberi beban. Saat campuran mengalami peregangan atau pembebanan, *flow* membantu campuran untuk tetap fleksibel sehingga perkerasan tidak retak. Campuran dengan stabilitas tinggi dan nilai *flow* rendah cenderung menghasilkan perkerasan yang keras dan getas. Sebaliknya, campuran dengan stabilitas rendah dan nilai *flow* tinggi akan membuat perkerasan terlalu lentur dan mudah mengalami deformasi ketika menerima beban kendaraan. Faktor-faktor seperti gradasi agregat, kadar aspal, dan suhu pemadatan memiliki pengaruh terhadap nilai *flow*.

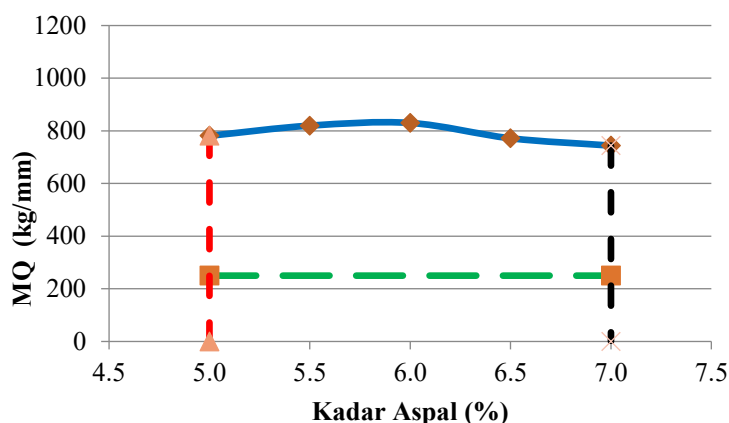


**Gambar 5. 4 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow***

Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, semakin tinggi nilai aliran (*flow*). Ini disebabkan oleh peningkatan ketebalan lapisan aspal yang menutupi agregat, sehingga kelembutan aspal juga meningkat. Selain itu, terlihat bahwa nilai aliran dalam grafik memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu berada dalam rentang 2 mm hingga 4 mm.

### 3. *Marshal Quotient (MQ)*

Nilai  $MQ$  adalah indikasi tentang kekakuan dan kelenturan suatu lapis perkerasan.  $MQ$  dihitung dengan membagi stabilitas dengan aliran (flow). Ketika nilai  $MQ$  tinggi, menandakan perkerasan cenderung kaku dengan kelenturan yang rendah. Sebaliknya, nilai  $MQ$  rendah menunjukkan perkerasan yang lebih fleksibel namun mungkin kurang stabil. Detail nilai  $MQ$  dapat ditemukan dalam Gambar 5.5 berikut.



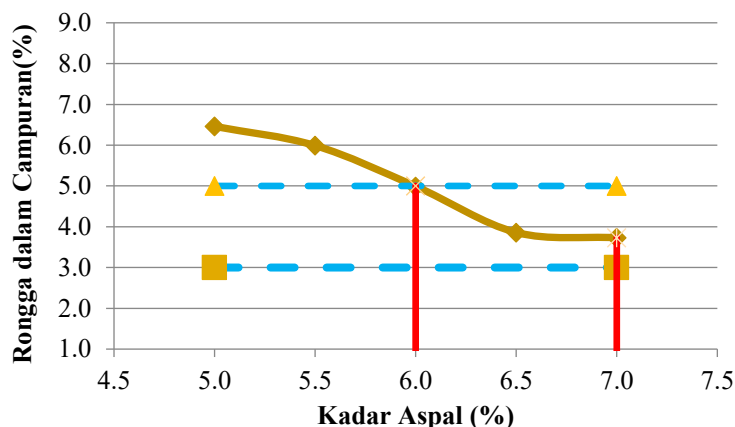
**Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Marshal Quotient***

Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, semakin meningkat pula nilai  $MQ$ . Hal ini terjadi karena semakin tingginya kadar aspal menyebabkan peningkatan nilai flow dalam campuran, yang menunjukkan fleksibilitas campuran yang lebih tinggi. Titik optimum tercapai pada kadar aspal 6 persen, setelah itu nilai  $MQ$  menurun karena sifat aspal telah menjadi lebih cair (pelicin) dan kurang efektif sebagai bahan perekat. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa campuran *AC-WC* memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai  $MQ$  yang lebih besar dari 250 kg/mm.

#### 4. *Void in the Total Mix (VITM)*

*VITM (Volume of Air Voids in the Total Mix)* merupakan volume pori dalam campuran aspal padat, dinyatakan sebagai persentase rongga terhadap agregat, yang diukur dalam bentuk bilangan bulat. Parameter *VITM* adalah indikator durabilitas dan potensi *bleeding* dalam campuran aspal. Hal ini penting karena

*VITM* menunjukkan ruang kosong di antara agregat yang dapat digunakan sebagai tempat pergerakan akibat beban lalu lintas yang berulang atau sebagai ruang untuk perubahan temperatur yang mempengaruhi kekakuan aspal. Nilai-nilai *VITM* yang diperoleh dapat ditemukan dalam Gambar 5.6.

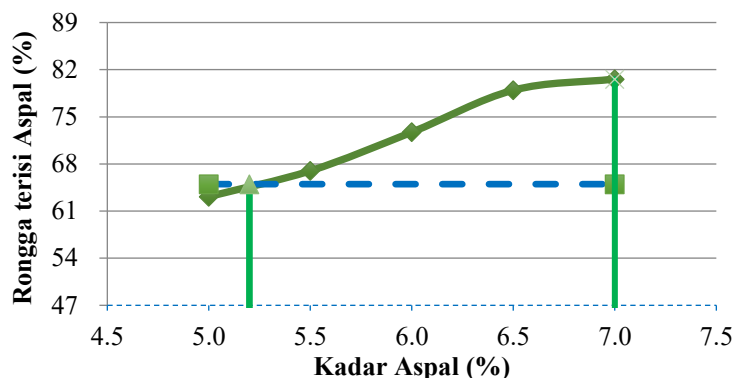


**Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VITM***

Berdasarkan data grafik di atas, terlihat bahwa semakin meningkatnya kadar aspal menyebabkan nilai *VITM* campuran semakin menurun. Fenomena ini disebabkan oleh peningkatan jumlah aspal yang mengisi rongga-rongga pada campuran. Semakin rendah nilai *VITM*, semakin besar kemungkinan campuran mengalami bleeding. Dari grafik, dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi standar spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 terletak di rentang 6% hingga 7%, dengan nilai *VITM* berkisar antara 3% hingga 5%.

##### 5. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

*Void filled with asphalt (VFWA)* mengacu pada volume pori dalam campuran aspal yang diisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, jumlah pemadatan, kadar aspal, dan gradasi agregat. Semakin tinggi nilai *VFWA*, semakin banyak pori yang diisi oleh aspal, meningkatkan kededapan campuran terhadap air dan udara. Sebaliknya, jika nilai *VFWA* rendah, kededapan campuran terhadap air dan udara juga rendah. Hasil nilai *VFWA* dapat ditemukan dalam Gambar 5.7.



**Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *VFA***

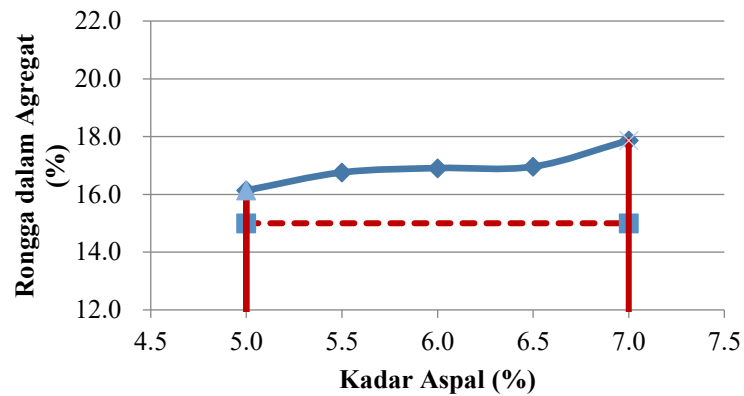
Dari grafik tersebut, dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, maka nilai *VFA* juga meningkat. Penyebabnya adalah karena semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran tersebut seiring dengan peningkatan kadar aspal. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *VFA* dari campuran AC-WC memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 pada rentang kadar aspal antara 5,37% hingga 7%, yaitu dengan nilai lebih dari 65%.

#### 6. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

*Void in the mineral aggregate* adalah jumlah pori di antara butir-butir agregat dalam campuran aspal padat yang dinyatakan sebagai persentase. *VMA* akan meningkat jika lapisan aspal lebih tebal atau jika gradasi agregat yang digunakan lebih terbuka. Hasil pengujian nilai *VMA* dapat ditemukan dalam Gambar 5.8.

Dari Gambar 5.8, dapat disimpulkan bahwa nilai *Volume of Voids in Mineral Aggregate (VMA)* pada masing-masing jenis aspal cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar aspal yang digunakan. Hal ini terjadi karena aspal, selain sebagai bahan pengikat, juga berperan sebagai bahan pelumas (pelicin) selama proses pemadatan, membantu agregat untuk menempati ruangnya dengan lebih baik. Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *VMA*

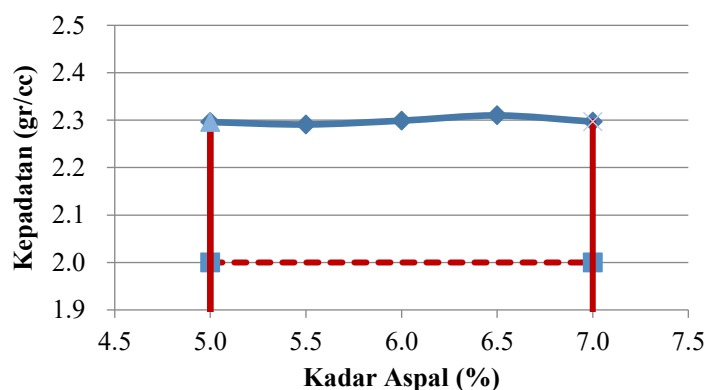
dari campuran memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu lebih dari 15%.



**Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan VMA**

#### 7. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) adalah nilai berat volume yang mencerminkan tingkat kepadatan campuran aspal. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai kepadatan meliputi suhu pemadatan, komposisi bahan, kadar *filler*, energi pemadatan, dan kadar aspal. Semakin tinggi stabilitasnya, semakin tinggi pula tingkat kepadatannya hingga mencapai kondisi maksimum. Berdasarkan hasil pengujian, berikut adalah grafik nilai kepadatan.



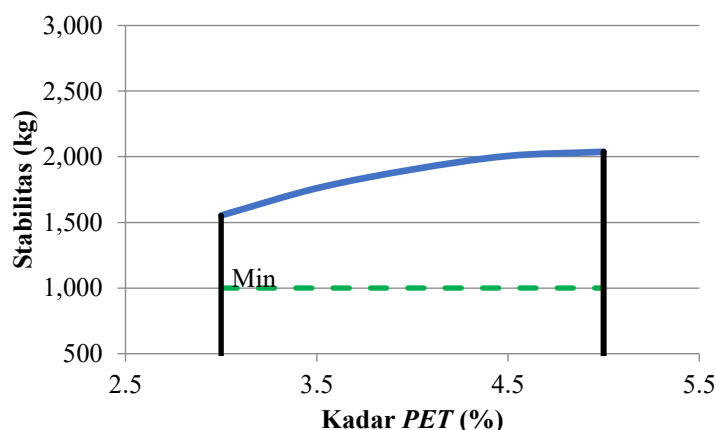
**Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan Density**

Dari ilustrasi di atas, terlihat bahwa nilai kerapatan campuran *AC-WC* mengalami peningkatan, meskipun tidak secara signifikan. Hal ini terjadi karena aspal yang digunakan cenderung mudah mengalami cairan, sehingga menyebabkan kerapatan campuran menjadi lebih tinggi dan padat

#### 5.2.6. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Kadar *PET* Optimum dari KAO

##### 1. Stabilitas

Stabilitas dalam konteks kondisi KAO mencakup kemampuan perkerasan jalan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi seperti alur, gelombang, atau bleeding. Kestabilan ini penting sejalan dengan fungsi dan tingkat beban yang akan dihadapi oleh jalan tersebut. Hasil pengujian laboratorium menghasilkan nilai stabilitas yang tercermin dalam grafik pada Gambar 5.10



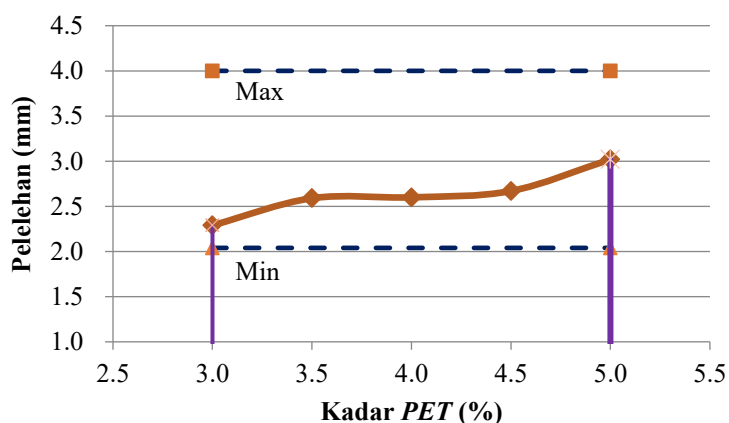
**Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan Stabilitas**

Grafik tersebut menggambarkan bahwa stabilitas campuran cenderung meningkat seiring dengan peningkatan kadar *PET* yang digunakan, mencapai titik optimum pada kadar *PET* 4,75%, dan tetap stabil setelahnya. Peningkatan stabilitas yang signifikan terjadi karena gradasi campuran yang baik dan penambahan *PET* yang memiliki sifat plastis, yang meningkatkan daya ikat campuran. Temuan ini konsisten dengan penelitian sebelumnya, seperti yang

dilakukan oleh Prameswari (2016), yang menunjukkan bahwa penambahan *PET* secara positif berkontribusi pada peningkatan stabilitas campuran.

## 2. *Flow*

*Flow* (kelelehan) adalah ukuran penurunan vertikal pada benda uji, biasanya dinyatakan dalam milimeter atau 0,01 inci. Kelelehan diperlukan untuk memastikan bahwa perkerasan memiliki kemampuan untuk meregang akibat beban. Ketika campuran mengalami pembebanan, terjadi perpanjangan untuk menyesuaikan dengan beban tersebut sehingga mencegah retak pada perkerasan. Nilai kelelehan yang disebabkan oleh penambahan *PET* dapat dilihat dalam Gambar 5.11.



**Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan *Flow***

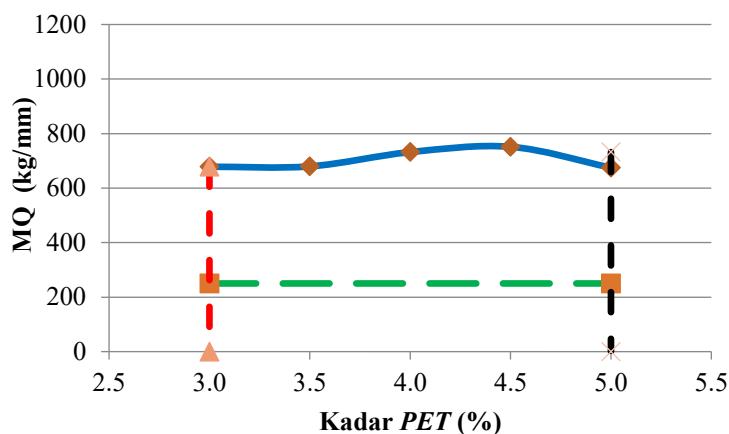
Grafik di atas menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, semakin tinggi pula nilai *flow*. Ini terjadi karena peningkatan kadar aspal menyebabkan lapisan aspal yang melapisi agregat menjadi lebih tebal, sehingga elastisitas aspal juga meningkat. Selain itu, dapat diamati bahwa nilai *flow* pada grafik tersebut sesuai dengan persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yang menetapkan rentang antara 2 mm hingga 4 mm.

## 3. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* mencerminkan tingkat kekakuan dan kelenturan dari suatu lapis perkerasan serta menunjukkan kelenturan campuran tersebut. Semakin tinggi



nilai  $MQ$ , semakin kaku campuran tersebut, dan sebaliknya. Perhitungan nilai  $MQ$  dapat ditemukan dalam Gambar 5.12.



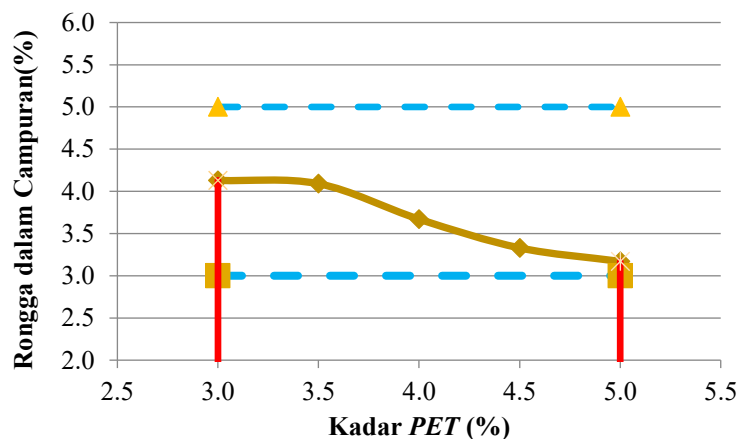
**Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Kadar  $PET$  dengan  $Marshall$  Quotient**

Dari grafik yang disajikan, terlihat bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan, semakin tinggi pula nilai  $MQ$ -nya. Hal ini disebabkan oleh peningkatan nilai *flow* pada campuran, yang mengindikasikan peningkatan fleksibilitas campuran, dan mencapai titik optimum pada kadar aspal sebesar 4,5%. Setelah itu, nilai  $MQ$  mulai menurun karena sifat aspal telah mencapai titik pelicin dan tidak lagi berfungsi sebagai perekat. Grafik menunjukkan bahwa campuran  $AC-WC$  memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2, yaitu memiliki nilai  $MQ > 250$  kg/mm. Temuan ini sejalan dengan penelitian Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa nilai  $MQ$  membentuk pola grafik parabola, dimana nilai tersebut meningkat terlebih dahulu sebelum mengalami penurunan.

#### 4. $VITM$

*Volume Void in Total Mix (VITM)* adalah persentase volume pori dalam campuran aspal padat atau persentase ruang kosong terhadap agregat, yang dinyatakan dalam bentuk angka bulat.  $VITM$  merupakan parameter yang mengindikasikan durabilitas dan potensi bleeding dalam campuran aspal.  $VITM$  diperlukan sebagai ruang untuk perpindahan agregat akibat beban lalu lintas berulang atau sebagai tempat bagi aspal untuk mengalami deformasi

akibat perubahan suhu. Nilai *VITM* dapat ditemukan dalam grafik yang terdapat pada Gambar 5.13.



**Gambar 5. 13 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan *VITM***

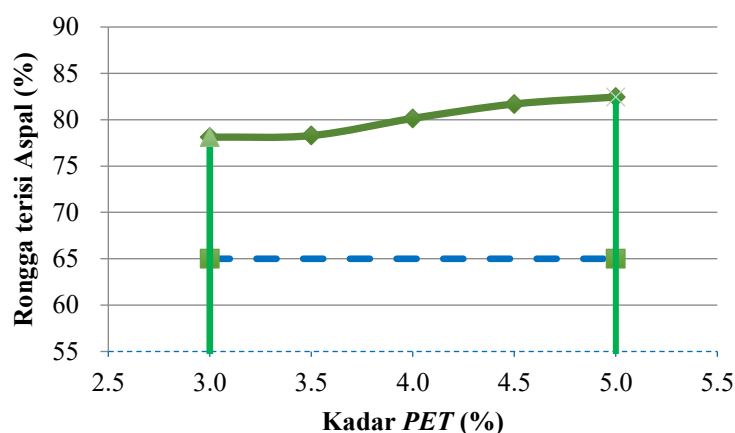
Berdasarkan grafik tersebut, terlihat bahwa semakin tinggi kadar aspal, semakin rendah nilai *VITM* campuran. Ini disebabkan oleh peningkatan kadar aspal yang menyebabkan lebih banyak aspal mengisi rongga-rongga dalam campuran. Penurunan *VITM* menandakan meningkatnya risiko *bleeding* pada campuran. Berdasarkan grafik, dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 adalah antara 3% hingga 5%.

##### 5. *Void filled with asphalt (VFWA)*

*Void filled with asphalt (VFWA)* merupakan volume pori pada campuran aspal yang telah diisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk suhu, jumlah pemadatan, kadar aspal, dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA*, semakin banyak pori yang terisi oleh aspal, sehingga kekedapannya terhadap air dan udara meningkat. Sebaliknya, jika nilai *VFWA* rendah, kekedapannya terhadap air dan udara juga rendah. Informasi tentang nilai *VFWA* dapat ditemukan dalam Gambar 5.14.

Grafik tersebut mengindikasikan bahwa ketika kadar aspal yang digunakan meningkat, nilai *VFWA* juga meningkat. Ini disebabkan oleh peningkatan jumlah aspal yang mengisi rongga di dalam campuran, sejalan dengan peningkatan kadar aspal yang digunakan. Hasil grafik menunjukkan bahwa

nilai *VFWA* dari campuran *AC-WC* memenuhi standar Spesifikasi Bina Marga 2018 Revisi 2 dengan nilai di atas 65%.



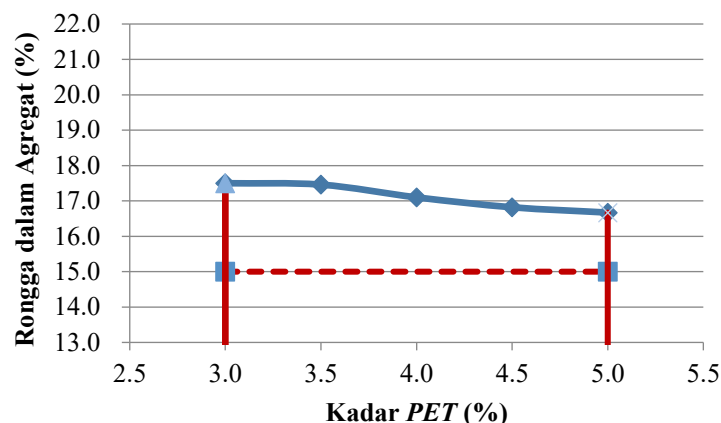
**Gambar 5. 14 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan *VFWA***

#### 6. *VMA*

merujuk pada jumlah pori di antara butiran-butiran agregat dalam campuran aspal padat, dinyatakan dalam persentase. *Voids in the mineral aggregate (VMA)* akan meningkat jika lapisan aspal lebih tebal atau jika gradasi agregat yang digunakan lebih terbuka. Jika nilai *VMA* terlalu kecil, hal ini dapat mengurangi durabilitas dan stabilitas aspal karena pori yang terlalu sempit dan membatasi kemampuan aspal untuk mengisi ruang kosong. Sebaliknya, jika nilai *VMA* terlalu besar, ini dapat mengurangi kemampuan agregat untuk mengisi dan mengunci satu sama lain. Nilai *VMA* dapat ditemukan dalam Gambar 5.15.

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *VMA* memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2 dan mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *PET*. Temuan ini inkonsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar *PET* berkontribusi pada peningkatan nilai *VMA*, karena penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah saat pemanasan aspal. Sedangkan Prameswari (2016) menggunakan pencampuran kering pada saat pencampuran dengan agregat. Hal tersebut memengaruhi peran *PET* menambah pelicin seiring

dengan kadar aspal, sehingga nilai *VMA* menurun. Grafik tersebut menegaskan bahwa campuran *AC-WC* memenuhi standar Bina Marga 2018 Revisi 2 pada kadar aspal antara 3% hingga 5%, yaitu dengan nilai *VMA* >15%.



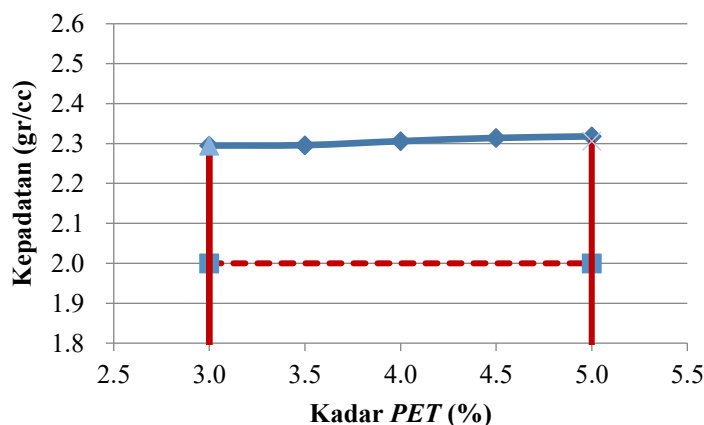
**Gambar 5. 15 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan *VMA***

Grafik tersebut menunjukkan bahwa nilai *VMA* memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 Revisi 2 dan mengalami penurunan seiring dengan penambahan kadar *PET*. Temuan ini inkonsisten dengan penelitian sebelumnya oleh Prameswari (2016) yang menunjukkan bahwa peningkatan kadar *PET* berkontribusi pada peningkatan nilai *VMA*, karena penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah saat pemanasan aspal. Sedangkan Prameswari (2016) menggunakan pencampuran kering pada saat pencampuran dengan agregat. Hal tersebut memengaruhi peran *PET* menambah pelicin seiring dengan kadar aspal, sehingga nilai *VMA* menurun. Grafik tersebut menegaskan bahwa campuran *AC-WC* memenuhi standar Bina Marga 2018 Revisi 2 pada kadar aspal antara 3% hingga 5%, yaitu dengan nilai *VMA* >15%.

#### 7. *Density*

*Density* merupakan nilai berat volume yang mengindikasikan kepadatan dari campuran beton aspal. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai *density* antara lain suhu pemadatan, komposisi bahan campuran, kandungan *filler*, energi pemadatan, dan kandungan aspal. Informasi mengenai nilai *density* dapat ditemukan dalam Gambar 5.16.

Berdasarkan grafik yang disajikan, terlihat bahwa *density* campuran *AC-WC* meningkat seiring dengan peningkatan kadar *PET*, namun peningkatannya tidak signifikan. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal yang cenderung cair, sehingga menyebabkan peningkatan *density* campuran yang lebih tinggi dan lebih padat.



**Gambar 5. 16 Grafik Hubungan Kadar *PET* dengan *Density***

#### 5.2.7. Karakteristik *Stabilitas* pada Campuran *AC-WC* dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET*.

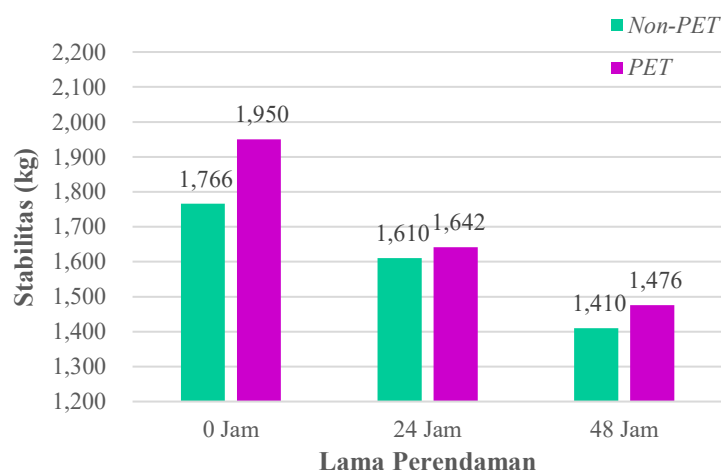
Uji Marshall dimaksudkan untuk untuk mengetahui kinerja dari campuran. Adapun parameter dari uji Marshall yang diambil dari pengujian tersebut yaitu : stabilitas (*stability*). Adapun untuk hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.17 sampai dengan Gambar 5.17 berikut.

##### 1. Pengaruh lama perendaman dan bahan tambah

Sifat stabilitas dengan tingkat penurunan tertinggi akibat variasi rendaman air hujan terjadi ketika fase dari variasi 0 jam sampai 24 jam. Gangguan yang disebabkan oleh air mengakibatkan ikatan antara agregat dan aspal melemah, yang kemudian menurunkan stabilitas kedua jenis campuran. Sifat asam dalam air hujan (dengan pH <7) juga berdampak pada kelekatan antara aspal dan agregat dalam campuran, yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas.

Puspitasari (2018) melakukan pengujian yang sama tanpa rendaman dengan bahan tambah botol plastik (*PET*) menunjukkan bahwa variasi tanpa limbah

botol plastik menghasilkan benda uji yang lebih lembek namun masih berada di atas spesifikasi.



**Gambar 5. 17 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET* dengan Variasi Rendaman Air Hujan Terhadap Nilai Stabilitas**

Dari Gambar 5.17, terlihat bahwa nilai stabilitas kedua jenis aspal mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya durasi perendaman dalam air hujan. Sifat *PET* yang plastis mengakibatkan nilai stabilitas yang terjadi pada campuran dengan bahan tambah cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan *Non-PET*. Akan tetapi ada indikasi bahwa nilai dengan bahan tambah *PET* akan lebih rendah seiring bertambahnya lama rendaman.

Sifat asam dalam air hujan dengan  $\text{pH} < 7$  juga berdampak pada kelekatan antara aspal dan agregat dalam campuran, yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Dibuktikan, bahwa salah satu sifat asam yaitu menghasilkan ion  $\text{H}^+$  bila dilarutkan. Ion  $\text{H}^+$  adalah ion hidrogen, yang merupakan inti atom hidrogen yang terpisah dari elektronnya. Inti hidrogen terdiri dari proton, yang merupakan partikel dengan muatan listrik positif (Teori Asam Basa Bronsted-Lowry). Oleh karena itu, partikel atom akan melepas ikatan ion  $\text{H}^+$  dalam campuran.

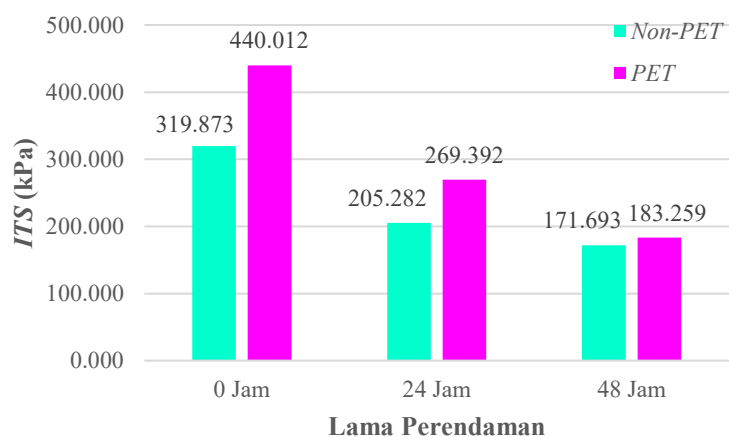
Hasil analisis *anova* menunjukkan bahwa stabilitas campuran *Non-PET* terhadap semua variasi rendaman secara signifikan, dengan nilai  $0,009 < 0,05$ .

Selain itu, nilai F hitung sebesar 11,656 yang melebihi nilai F tabel sebesar 5,14. Oleh karena itu, hipotesis alternatif (H1) diterima, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam campuran *Non-PET* terhadap semua variasi rendaman air hujan.

#### 5.2.8. Karakteristik *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-WC dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET*

*Indirect tensile strength* adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *PET* dan *Non-PET* dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.

##### 1. Pengaruh lama perendaman dan bahan tambah



**Gambar 5. 18 Grafik Pengaruh Campuran dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET* dengan Variasi Rendaman Air Hujan Terhadap Nilai *ITS***

Berdasarkan Gambar 5.18, terlihat bahwa nilai *ITS* kedua jenis aspal mengalami penurunan yang signifikan seiring bertambahnya lama perendaman dalam air hujan, meskipun penurunan tidak begitu signifikan pada variasi rendaman antara 24 jam dan 48 jam. Gangguan air mengakibatkan penurunan ikatan antara agregat dan aspal akibat perendaman air hujan, yang pada gilirannya menurunkan nilai *ITS* kedua jenis campuran tersebut. Sifat asam pada air hujan dengan  $\text{pH} < 7$  mempengaruhi daya tarik antara aspal dan

agregat campuran, sehingga nilai *ITS* mengalami penurunan. Di sisi lain, sifat plastis pada *PET* menunjukkan bahwa nilai *ITS* pada semua variasi rendaman lebih tinggi daripada campuran tanpa bahan tambah *PET*.

- a. Hasil analisis *anova* menunjukkan bahwa nilai *ITS* campuran *Non-PET* terhadap semua variasi rendaman secara signifikan, dengan nilai  $0,001 < 0,05$ . Selain itu, nilai *F* hitung sebesar 27,859 yang melebihi nilai *F* tabel sebesar 5,14. Oleh karena itu, hipotesis (*H1*) diterima, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam campuran *Non-PET* terhadap semua variasi rendaman air hujan. Di sisi lain, nilai *ITS* campuran *PET* terhadap semua variasi rendaman secara signifikan, dengan nilai  $0,002 < 0,05$ . Selain itu, nilai *F* hitung sebesar 21,451 yang melebihi nilai *F* tabel 5,14. Oleh karena itu, hipotesis (*H1*) diterima, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam nilai *ITS* campuran *PET* terhadap semua variasi rendaman air hujan.
- b. Hasil analisis *anova* menunjukkan bahwa nilai *ITS* variasi rendaman 0 jam terhadap semua jenis aspal secara signifikan, dengan nilai  $0,016 < 0,05$ . Selain itu, nilai *F* hitung sebesar 15,842 yang melebihi dari nilai *F* tabel sebesar 7,71. Oleh karena itu, hipotesis alternatif (*H1*) diterima, menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam nilai *ITS* variasi rendaman 0 jam terhadap semua jenis aspal.

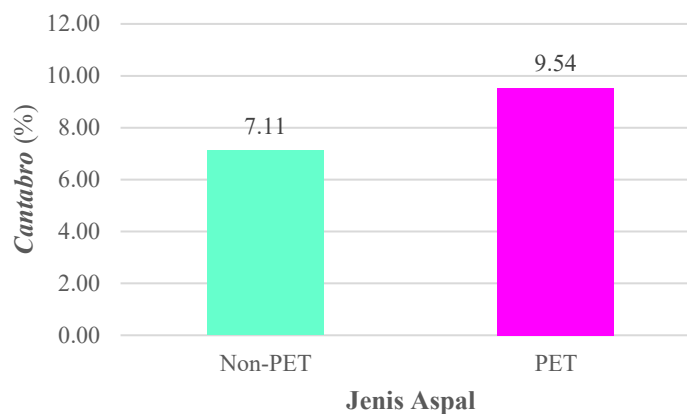
#### 5.2.9. Karakteristik Cantabro Campuran *AC-WC* dengan Bahan Tambah *PET* dan *Non-PET*

Pengujian *cantabro* bertujuan untuk menggambarkan tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang-ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian *Cantabro Lossi* dapat dilihat pada Gambar 5. 19.

Berdasarkan grafik di atas dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *PET* pada campuran menyebabkan nilai *Cantabro Loss* menjadi semakin besar. Hal ini menunjukkan dengan penambahan *PET* campuran menjadi



lebih mudah aus dikarenakan dua jenis bahan yang belum menjadi homogen sepenuhnya.



**Gambar 5. 1918 Grafik Pengaruh Penambahan Bahan Tambah *PET* terhadap *Cantabro***

Hasil analisis *anova* menunjukkan bahwa nilai *Cantabro Loss* terhadap penambahan bahan tambah *PET* tidak signifikan, dengan nilai  $0,169 > 0,05$ . Selain itu, nilai *F* hitung sebesar 2,802 yang kurang dari nilai *F* tabel sebesar 7,71. Oleh karena itu, hipotesis ( $H_0$ ) diterima, menunjukkan tidak adanya perbedaan yang signifikan dalam nilai *Cantabro Loss* terhadap penambahan bahan tambah *PET*.

### 5.3. Tinjauan Karakteristik Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah *PET*

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis data dapat diketahui bahwa penambahan *PET* dengan kadar optimum sebesar 4% terhadap berat aspal optimum menyebabkan kenaikan pada stabilitas benda uji yang menunjukkan penambahan *PET* maupun *Non-PET* campuran secara signifikan terhadap semua variasi rendaman. Disisi lain, parameter *density* mengalami perubahan tidak signifikan. Akan tetapi berdasarkan parameter variasi rendaman 0, 24, dan 48 jam terhadap masing-masing jenis aspal menunjukkan hasil analisis statistik *anova* tidak signifikan berarti tidak terlalu berpengaruh perbedaan antara aspal *Non-PET* dan *PET* terhadap masing-masing variasi rendaman.

Pada nilai *ITS* dengan parameter semua variasi rendaman terhadap masing-masing jenis aspal menunjukkan hasil yang signifikan. Sejalan dengan itu, nilai *ITS* berdasarkan parameter variasi rendaman 0 jam terhadap semua jenis aspal juga menunjukkan hasil yang signifikan. Namun demikian, pada parameter variasi rendaman 24 dan 48 jam terhadap semua jenis aspal, tidak menunjukkan signifikansi. Hal ini mengindikasikan bahwa daya ikat aspal dengan penambahan *PET* pada variasi rendaman 0 jam memengaruhi nilai *ITS*. Namun, penambahan *PET* tersebut tidak mampu lagi mempertahankan daya ikat pada rentang variasi rendaman 24 jam ke atas.

## **BAB VI**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

#### **6.1. Kesimpulan**

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *AC-WC* dengan menggunakan *PET* sebagai bahan tambah campuran pada kadar aspal optimum dan *PET* optimum terhadap variasi rendaman air hujan dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Pengujian karakteristik Stabilitas aspal *Non-PET* akibat variasi rendaman air hujan menunjukkan nilai stabilitas mengalami penurunan yang signifikan. Sejalan dengan itu, nilai stabilitas aspal *PET* akibat variasi rendaman air hujan menunjukkan nilai stabilitas mengalami penurunan yang signifikan.
2. Disisi lain, pengaruh penambahan *PET* pada masing-masing variasi rendaman air hujan 0, 24, dan 48 Jam pada nilai stabilitas menunjukkan hasil yang tidak signifikan.
3. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* akibat penambahan *PET* pada masing-masing variasi rendaman air hujan menunjukkan pengaruh yang signifikan pada variasi rendaman 0 jam, akan tetapi lainnya tidak. Disisi lain, masing-masing jenis aspal terhadap semua jenis variasi rendaman menunjukkan hasil yang signifikan.
4. Nilai *Cantabro Loss* akibat penambahan *PET* pada campuran mengalami kenaikan yang tidak signifikan yang menunjukkan bahwa campuran tahan terhadap benturan dari repetisi beban akan tetapi nilai *Cantabro Loss* pada aspal *PET* lebih besar maka dari itu lebih cepat aus.

#### **6.2. Saran**

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *PET* sebagai bahan tambah campuran *AC-WC* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 modifikasi, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Pada penelitian selanjutnya agar dilakukan penggunaan jenis *PET* yang lebih heterogen agar dapat menjadi referensi dan dapat lebih mudah dalam segi penggunaan secara komersial di lapangannya.
2. Penambahan pengujian *IRS* agar dapat diketahui kemampuan campuran dalam menahan beban kendaraan pada titik suhu kritis.

## DAFTAR PUSTAKA

- American Society for Testing and Materials. 1974. *ASTM C33/C33M-08 Standard Specification for Concrete Agregates*. West Conshohocken: ASTM International
- Arifin, Z. Jakfar, L., Martina, G. 2008. *Pengaruh Kandungan Air Hujan terhadap Nilai Karakteristik Marshall dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) Campuran Lapis Aspal Beton (Laston)*. Jurnal Rekayasa Sipil, Volume 2, No. 1 Tahun 2008, ISSN 1978 – 5658, hal. 39-45.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1983. *Manual Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983*. Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010 Divisi 6 Perkerasan Aspal (Revisi 3)*. Direktorat Jendral Bina Marga.
- Direktorat Jendral Bina Marga Revisi 2, 2018. *Spesifikasi Umum Divisi 6*. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Fauziah, M., dan Safitri. A. 2016. Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Retona Blend 55 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Hujan. *Proceedings of the 19th International Symposium of FSTPT Islamic University of Indonesia*. 11-13 October 2016.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau. *Civil Engineering and Environment Symposium 2019*. ISBN: 978-623-7263-09-8. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Manan, S. 2019. Pengaruh Penggunaan Limbah Plastik (*PET*) Sebagai Bahan Tambah Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Bahan Ikat Pen 60/70. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mentari. 2018. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Penurunan Kinerja Campuran *Superpave* Yang Menggunakan Limbah Ban Karet Sebagai Additive. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.
- Mujiarto. 2005. *Sifat dan Karakteristik Material Plastik dan Bahan Aditif*. Semarang: AMNI.

- Nasution, M., Muis, Z., Dan Lubis, A. 2017. Pengaruh Penambahan Plastik *PET* (Polyethylene Terephthalate) Terhadap Karakteristik Campuran Laston AC-WC. *Tugas Akhir*. Universitas Sumatera Utara.
- Nugroho, A. N. (2018). *Pemkot Gencarkan Gerakan Pengurangan Sampah Plastik*. Retrieved from [http: Pemkot Gencarkan Gerakan Pengurangan Sampah Plastik - Tribunjogja.com \(tribunnews.com\)](http://PemkotGencarkanGerakanPenguranganSampahPlastik-Tribunjogja.com)
- NurLaily, I. and Rahardjo, B., 2017. Pengaruh Lama Perendaman Air Hujan Terhadap Kinerja Laston (*AC-WC*) Berdasarkan Uji Marshall. *Bangunan*, 22(1), pp.1-12.
- Pasereng, I. S. (2014). *Studi Pengaruh Genangan Banjir Jalan Terhadap Kinerja Campuran Perkerasan Beraspal di Kota Makassar*. Tugas Akhir, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanudin, Makassar.
- Prameswari, P.A., 2016. *Pengaruh pemanfaatan PET pada laston lapis pengikat terhadap parameter Marshall* (Doctoral dissertation, FAKULTAS TEKNIK). Universitas Lampung.
- Prasetyaningtyas, K. P. (2023). *Buletin Hujan Bulanan – Updated Juni 2023*. Retrieved from <http://182.16.248.153/berita/?p=buletin-hujan-bulanan-updated-juni-2023-2&lang=ID&s=detil>
- Pau, D. I., dan Arifin, S. (2002) Analisa Pengaruh Air Hujan Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Concrete Wearing Course (*AC-WC*)
- Puspitasari, T.R., Wibisono, G., dan Malik, A. 2018. Pengaruh Penambahan Limbah Botol Plastik Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Beton Aspal Lapis Pengikat. *Jurnal FTEKNIK*, Vol. 5, Edisi 2 Juli s/d Desember 2018, 1-9.
- Saputro, D. T., Suparma, L. B., & Satyarno, I. (2022). Pengaruh Proses Pencampuran Kering Dan Basah Terhadap Kekesatan *AC-WC* Limbah Plastik. *Jurnal Transportasi*, 22(2), 97-108.
- Standar Nasional Indonesia. 1997. Metode Pengujian Agregat Halus Atau Pasir Yang Mengandung Bahan Plastik Dengan Cara Setara Pasir. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2002. *Spesifikasi Bahan Pengisi Untuk Campuran Beraspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Batas Plastik dan Indeks Plastisitas Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.

- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Penentuan Batas Cair Tanah*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2008. *Cara Uji Keausan Agregat Dengan Mesin Abrasi Los Angeles*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Daktilitas Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Titik Nyala dan Titik Bakar Dengan Alat Cleveland Open Cup*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Titik Lembek Aspal Dengan Alat Cincin dan Bola (Ring and Ball)*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Berat Jenis Aspal Keras*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Cara Uji Penetrasi Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta. Standar Nasional Indonesia. 2011. *Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Metode Uji Untuk Analisis Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. 2012. *Metode Pengujian Untuk Analisa Saringan Agregat Halus dan Kasar*. Penerbit Badan Standardisasi Nasional. Jakarta.
- Sugiyono, D. (2010). Memahami penelitian kualitatif.
- Suhardi. S., Pratomo. P., dan Ali. H. 2016. Studi Karakteristik *Marshall* Pada Campuran Aspal Dengan Penambahan Limbah Botol Plastik. *JRSDD*, Edisi Juni 2016, Vol. 4, No. 2.
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Grani. Jakarta.
- Susanto, I., dan Suaryana, N. 2019. Evaluasi Kinerja Campuran Beraspal Lapis Aus (*AC-WC*) dengan Bahan Tambah Limbah Plastik Kresek. *Journal homepage: <http://iptek.ITS.ac.id/index.php/jats>*.
- Yusuf, N., dan Fauziah, M. 2018. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt Yang menggunakan Bahan Ikatan Aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12, Batam, Volume 2, September 2018, ISBN: 978-602-60662-3-7*.

## LAMPIRAN



Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011


- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,01	20,01
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	44,97	43,97
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	20,96	23,96
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,29	21,09
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,28	1,08
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	45,13	43,89
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	19,84	22,8
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,12	1,16
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,14	0,931
10	Rata-rata BJ Aspal	1,037	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalah. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 2 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	50,5 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	126 detik	126 detik		
3	15 °C	238 detik	238 detik		
4	20 °C	342 detik	342 detik		
5	25 °C	456 detik	456 detik		
6	30 °C	572 detik	572 detik		
7	35 °C	675 detik	675 detik		
8	40 °C	787 detik	787 detik		
9	45 °C	896 detik	896 detik	49°C	
10	50 °C	931 detik	931 detik		52°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Pen 60/70

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	335 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	332 °C	336 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	332 °C	336 °C	

Disahkan Oleh  
 Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
 Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
 Kalab. Jalan Raya  
  
 Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
 Peneliti  
  
 Fathoni Abdul Mukti  
 NIM : 20 511 420



Lampiran 4 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

RUJUKAN: AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	61	63			
2	63	64			
3	64	62			
4	62	64			
5	61	63			
Rata2	62,2	63,2			
Rata2	62,7				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil




Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kabab. Jalan Kaya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti



Fathoni Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Lampiran 5 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

**PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE**

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan		
			Waktu		Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20	WIB	28 °C
		Selesai	13.30	WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30	WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40	WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45	WIB	28 °C
		Selesai	14.15	WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15	WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30	WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	66,880 gr	56,370 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	68,310 gr	58,210 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,430 gr	1,840 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,550 gr	0,540 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,560 gr	0,560 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,020 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,699 %	1,087 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,301 %	98,913 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,107 %		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE**

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 - 74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70
- 3 Diperiksa tg : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu $25^{\circ}\text{C}$	60 menit	suhu water bath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu $25^{\circ}\text{C}$ , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	110 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	110 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	110 cm	

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti



Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	20,65	23,85
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	43,57	46,07
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,92	22,22
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	22,04	25,39
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,39	1,54
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	43,62	46,05
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,58	20,66
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,34	1,56
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,04	0,987
10	Rata-rata BJ Aspal	1,012	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Kusnari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti



Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL**  
RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	50,5 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0	0		
2	10 °C	98	98		
3	15 °C	194	194		
4	20 °C	281	281		
5	25 °C	380	380		
6	30 °C	482	482		
7	35 °C	595	595		
8	40 °C	711	711		
9	45 °C	825	825	47°C	
10	50 °C	853	960		50°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh  
 Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
 Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
 Kalab. Jalan Raya  
  
 Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
 Peneliti  
  
 Fathoni Abdul Mukti  
 NIM : 20 511 420





Lampiran 9 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	335 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	330 °C	338 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	330 °C	338 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

RUJUKAN; AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	57	67			
2	59	67			
3	58	65			
4	60	64			
5	64,5	63,5			
Rata2	59,7	65,3			
Rata2	62,5				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 11 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup> dalam TCE

**PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE**

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan		
			Waktu		Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20	WIB	28 °C
		Selesai	13.30	WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30	WIB	28 °C
3	Pelarutan	Mulai	13.40	WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45	WIB	28 °C
		Selesai	14.15	WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15	WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30	WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	65,980 gr	63,580 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	67,720 gr	65,020 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,740 gr	1,440 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,550 gr	0,550 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,560 gr	0,570 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,020 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,575 %	1,389 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,425 %	98,611 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,018 %		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathori Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420



Lampiran 12 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE**

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran 0,5 x 0,5 cm<sup>2</sup>
- 3 Diperiksa tg : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans ± 135°C
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang ± 28°C
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water bath ± 25°C
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu 25°C, kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat ± 25°C

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	152,5 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	152,5 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	110 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM, ASEAN Eng  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kaiab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri  
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk  
3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,03	20,66
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,12	43,55
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	23,09	22,89
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,62	22,37
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,59	1,71
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,27	43,66
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,65	21,29
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,44	1,6
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,10	1,069
10	Rata-rata BJ Aspal	1,086	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusriani, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 14 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	48,5 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	135 detik	135 detik		
3	15 °C	240 detik	240 detik		
4	20 °C	349 detik	349 detik		
5	25 °C	449 detik	449 detik		
6	30 °C	564 detik	564 detik		
7	35 °C	683 detik	683 detik		
8	40 °C	805 detik	805 detik		
9	45 °C	905 detik	905 detik	48°C	
10	50 °C	925 detik	925 detik		49°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti



Lampiran 15 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	328 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	321 °C	328 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	321 °C	328 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Borlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 16 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**  
RUJUKAN: AASHTO T 49-68, ASTM D 5-71

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	80	61			
2	72	63			
3	73	71			
4	70	72			
5	77	70			
Rata2	74,4	67,4			
Rata2	70,9				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Kaya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 17 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk dalam TCE

**PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE**

RUJUKAN : AASHTO T - 44 - 70 ; ASTM D - 165 - 42

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk
- 3 Diuji Pada : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan		
			Waktu		Suhu
1	Persiapan	Mulai	13.20	WIB	28 °C
		Selesai	13.30	WIB	28 °C
2	Penimbangan	Mulai	13.30	WIB	28 °C
		Mulai	13.40	WIB	28 °C
4	Penyaringan	Mulai	13.45	WIB	28 °C
		Selesai	14.15	WIB	28 °C
5	Di Oven	Mulai	14.15	WIB	130 °C
6	Peminbangan	Mulai	14.30	WIB	28 °C

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	58,580 gr	56,110 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,110 gr	57,530 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,530 gr	1,420 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,540 gr	0,550 gr	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,550 gr	0,560 gr	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,010 gr	0,010 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,654 %	0,704 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,346 %	99,296 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,321	%	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kaltab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 18 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi Ukuran Bubuk

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE**

RUJUKAN : AASHTO : T - 51 -74 ; ASTM D - 113 - 69

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap + Modifikasi Mandiri
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen Modifikasi Ukuran Bubuk
- 3 Diperiksa tg : 2 Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu $25^{\circ}\text{C}$	60 menit	suhu water bath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji daktilitas pada suhu $25^{\circ}\text{C}$ , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	103,7 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	107,9 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	105,8 cm	

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

If Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kاتب, Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 19 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR**

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1611,11		1611,11
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1009,00		1009,00
3	Berat benda uji dikering oven (BK) gr	1582,35		1582,35
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,628		2,628
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,676		2,676
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,760		2,760
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,818		1,818
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,694		2,694

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NM : 20 511 420

Lampiran 20 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

**PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL**

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda Uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	08.00 WIB	
	Selesai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
2	<b>Didiamkan Pada Suhu Ruang</b>			
	Mulai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
3	<b>Perendaman benda uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	99%	
2	Sampel 2	97%	
	Rata-rata	98%	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusbari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Lampiran 21 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)


AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm ( 2.5" )			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm ( 2" )			
3	50.8 mm ( 2" )	37.5 mm ( 1.5" )			
4	37.5 mm ( 1.5" )	25.4 mm ( 1" )			
5	25.4 mm ( 1" )	19.0 mm ( 3/4" )			
6	19.0 mm ( 3/4" )	12.5 mm ( 0.5" )	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm ( 0.5" )	09.5 mm ( 3/8" )	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm ( 3/8" )	06.3 mm ( 1/4" )			
9	06.3 mm ( 1/4" )	04.75 mm ( 4" )			
10	04.75 mm ( No.4)	02.36 mm ( No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI ( A )		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4926,00	4356.50	
13	KEAUSAN $100x = \frac{(A - B)}{A} \times 100\%$		1,480	12,870	
17	Rata-rata Keausan (%)		7,18		

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnani, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kabab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2024  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 22 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS**

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,00		
2	Berat Vienometer + Air (B) gr	693,00		
3	Berat Vienometer + Air + benda uji (BT) gr	1002,00		
4	Berat benda uji kering oven (BK)	495,00		
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,592		2,592
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,618		2,618
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,661		2,661
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,010		1,010
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,626		2,626

Disahkan Oleh  
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Ketab. Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2023  
Peneliti  
  
Fatmahi Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Lampiran 23 Pemeriksaan Sand Equivalent

**PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT**

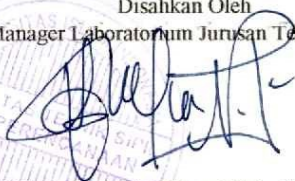
RUJUKAN : SNI 3423-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : 2024


No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl <sub>2</sub> selama (± 10.1 menit).	Mulai	15.40	
		Selesai	15.50	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl <sub>2</sub> )	Mulai	15.55	
		Selesai	16.15	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi	4,40		4,40
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)	4,05		4,05
6	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ %$	92,05		92,05
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE	7,95		7,95

Yogyakarta, 2024


Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Peneliti

  
Fathoni Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Lampiran 24 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER DEBU***

RUJUKAN : SNI 2441-2011

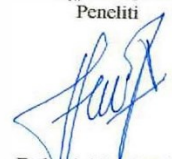
- 1 Jenis Material : *Filler Abu Batu*
- 2 Sumber Material : *Clereng*
- 3 Diuji Pada : *2024*

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,35	24,56	
2	Berat Vicnometer + Air gr	42,91	46,97	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,56	22,41	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	29,31	31,12	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	8,960	6,560	7,76
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	48,350	50,890	49,62
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,040	19,770	19,41
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	3,520	2,640	3,08
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,545	2,485	2,515

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101



Mengetahui  
Kahar. Jalan Raya  
  
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NTK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2023  
Peneliti  
  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420





Lampiran 25 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO CAMPURAN ASPAL PANAS  
DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Maks. Campuran	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk	( % )			Stabilitas		Kelelehan Plastis ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga di dalam Camp (VITM)	2 Agregat (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFA)	di Baca	di Sesuaikan		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B + B/C}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$C - H \times 100 / C$	$100 - \frac{B \times H / T}{H \times (100 - B) / Gsb}$	$\frac{B \times H / T}{(B \times H / T) + H}$	Data Pembe. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembe. Lab	M
1	65,43	5,00	2,455	1.176,27	667,88	1.183,35	515,47	2,282				58,0	1.646,4	2,10	
2	70,23			1.153,22	675,52	1.169,16	493,64	2,336				57,0	1.618,0	2,06	
3	67,56			1.183,71	673,53	1.194,43	520,90	2,272				56,0	1.589,6	2,05	
1	67,74	5,50	2,437	1.171,07	672,31	1.182,31		2,296	6,46	16,14	63,15	57,0	1.617,0	2,07	781,16
2	66,7			1.171,98	671,09	1.184,03	512,94	2,285				59,0	1.777,0	2,20	
3	64,13			1.172,90	669,48	1.181,10	511,62	2,293				60,0	1.807,1	2,11	
1	65,23			1.158,18	665,60	1.170,22	504,62	2,295				59,0	1.777,0	2,23	
2	65,35			1.167,69	668,72	1.178,45		2,291	5,99	16,76	66,98	59,3	1.787,0	2,18	819,72
3	65,40	6,00	2,420	1.174,14	689,47	1.184,52	495,05	2,372				61,0	1.888,7	2,30	
1	64,6			1.154,46	667,17	1.183,54	516,37	2,236				61,0	1.888,7	2,24	
2	63,15			1.134,18	647,73	1.142,98	495,25	2,290				63,0	1.950,7	2,34	
3	64,38			1.154,26	668,12	1.170,35		2,299	4,99	16,91	72,72	61,7	1.909,0	2,30	830,00
1	64,8	6,50	2,403	1.165,46	674,89	1.173,26	498,37	2,339				60,5	1.923,9	2,48	
2	63,73			1.175,60	669,72	1.186,96	517,24	2,273				62,0	1.971,6	2,52	
3	62,90			1.141,86	656,76	1.149,35	492,59	2,318				61,0	1.939,8	2,54	
1	63,81			1.160,97	667,12	1.169,85		2,310	3,86	16,96	78,95	61,2	1.945,0	2,62	771,83
2	62,6	7,00	2,386	1.136,23	650,34	1.143,17	492,83	2,306				59,0	1.944,2	2,58	
3	64,2			1.155,80	660,40	1.165,04	504,64	2,290				60,0	1.977,2	2,60	
1	62,43			1.165,24	663,70	1.171,41	507,71	2,295				58,5	1.927,8	2,67	
2	63,08			1.152,42	658,15	1.159,87		2,297	3,73	17,87	80,61	59,2	1.949,0	2,62	743,89
									3-5	15	65		min 800	2-4	200 - 350

No	Jeni Agregat yang dipakai	Proporsi Camp.	Bj Bulk	Bj Apparent
1	Agregat Kasar	39,00	2,628	2,760
2	Agregat Halus	54,50	2,592	2,661
3	Filler	6,50	2,515	2,515

$$Gsb = \frac{39,00 + 54,5 + 6,50}{2,628 + 2,592 + 2,515} = 2,601$$

$$Gse = \frac{39,00 + 54,5 + 6,50}{2,760 + 2,661 + 2,515} = 2,689$$

$$Gsb + Gsa = 2,601 + 2,689 = 5,290$$

$$Gse = \frac{5,290}{2} = 2,645$$

Penetrasi Aspal	60 - 70
Bj Aspal ( T )	1,037
konversi proving ring	32,608

lbw ke kg : 0,454  
Kalibrasi proving ring : 32,6082

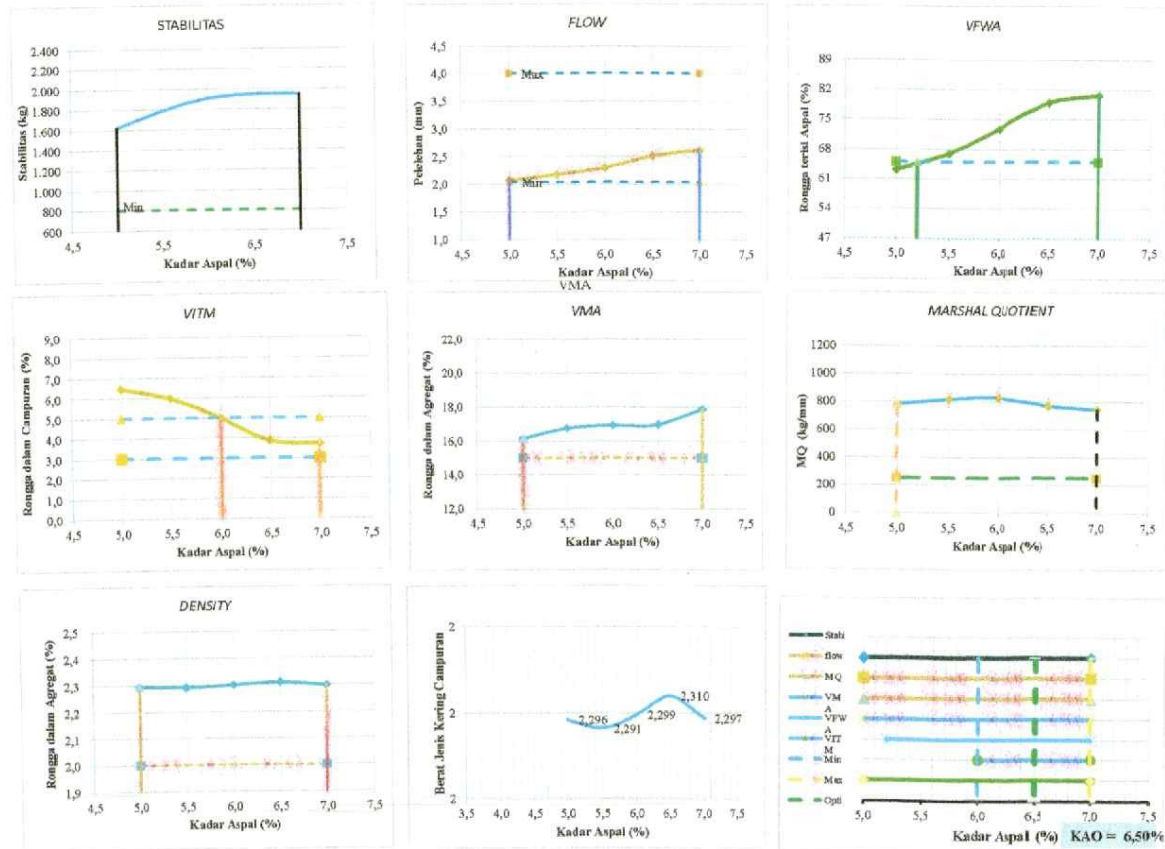
Dijadikan Oleh  
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Subhani, S.T., Eng. IPM, ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Katalin Jalan Raya  
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti  
Fathoni Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024



VMA bisa naik karena VFVA tinggi atau VITM tinggi

KAO = 6,500	6,00	6,5000
Ej. Camp Aspal = 2,310	2,299	2,31

Disahkan Oleh  
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berhan Kusnani, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Ketua Lab. Jalan Raya



Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti



Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420



Lampiran 26 Sifat Campuran Aspal Dengan Metode Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KPO CAMPURAN ASPAL PANAS  
DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelahan Plastis ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )	
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm camp (VTM)	2 Aggrt (VMA)	Rongga teris Aspal (VFA)	di Baca	di Sesuaikan			
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
			100	Data	Data	Data	F - E	D / G	C - H x 100	100 - (H x (100-B) / Gsb)	B x H / T (B x H / T) x 100	Data Pembe Provs. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembe. Lab	M	
			% Total Campuran	100-B + B	Timbangan Laborat	Timbangan Laborat	Timbangan Laborat								N	
1	62,20	3,0	6,50	2,394	1.175,27	666,88	1.182,35	515,47	2,280			45,0	1.476,6	2,20		
2	65,87	PET	Aspal		1.152,22	674,52	1.168,16	493,64	2,334			49,0	1.607,8	2,24		
3	67,90				1.182,71	672,53	1.193,43	520,90	2,271			48,0	1.575,0	2,43		
	63,25				1.170,07	671,31	1.181,31	2,295		4,13	17,5	78,11	47,3	1.553,0	2,29	678,17
1	63,10	3,5	6,50	2,394	1.170,98	670,09	1.183,03	512,94	2,283			55,0	1.815,8	2,45		
2	63,07	PET	Aspal		1.171,90	668,48	1.180,10	511,62	2,291			53,0	1.749,8	2,54		
3	63,67				1.157,18	669,60	1.169,22	499,62	2,316			52,0	1.716,8	2,77		
	63,28				1.166,69	669,39	1.177,45	2,296		4,09	17,46	78,29	53,3	1.760,0	2,59	679,54
1	63,07	4,0	6,50	2,394	1.173,14	688,47	1.183,52	495,05	2,370			57,6	1.890,0	2,55		
2	65,30	PET	Aspal		1.153,46	673,17	1.182,54	509,37	2,264			56,7	1.860,5	2,56		
3	63,43				1.132,18	646,73	1.141,98	495,25	2,286			59,7	1.958,9	2,67		
	63,25				1.152,93	669,46	1.169,35	2,306		3,67	17,1	80,14	58,0	1.903,0	2,60	731,92
1	63,41	4,5	6,50	2,394	1.164,46	673,89	1.172,26	498,37	2,337			62,4	2.001,1	2,67		
2	63,58	PET	Aspal		1.174,60	668,72	1.185,96	517,24	2,271			61,6	1.975,4	2,74		
3	64,15				1.140,86	659,54	1.148,35	488,81	2,334			63,8	2.044,4	2,59		
	63,71				1.159,97	667,38	1.168,86	2,314		3,33	16,82	81,70	62,6	2.006,0	2,67	751,31
1	65,13	5,0	6,50	2,394	1.145,23	669,52	1.152,17	482,65	2,373			63,7	2.026,1	2,90		
2	64,98	PET	Aspal		1.154,80	659,40	1.164,04	504,64	2,288			64,6	2.054,7	3,13		
3	63,34				1.164,24	662,70	1.170,41	507,71	2,293			64,0	2.035,6	3,01		
	64,48				1.154,76	663,87	1.162,21	2,318		3,17	16,67	82,45	64,1	2.038,0	3,02	674,83
												min 800	2 - 4	200 - 350		

No	Jeni Agregat yang dipakai	Proporsi Camp.	Bj Bulk	Bj Apparent
1	Agregat Kasar	39,00	2,628	2,760
2	Agregat Halus	54,50	2,592	2,661
3	Filler	6,50	2,515	2,515
		100		

$$Gsb = \frac{39,00}{2,628} + \frac{54,5}{2,592} + \frac{6,50}{2,515} = 2,601$$

$$Gsa = \frac{39,00}{2,760} + \frac{54,5}{2,661} + \frac{6,50}{2,515} = 2,689$$

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} = \frac{2,601 + 2,689}{2} = 2,645$$

Penetrasi Aspal	60 - 70
Bj Aspal (T)	1,012
konversi proving ring	32,608

lbw lx kg 0,454  
Kalibrasi proving ring 32,6082

Diajukan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kusum, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Ket. B. Jalan Raya  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

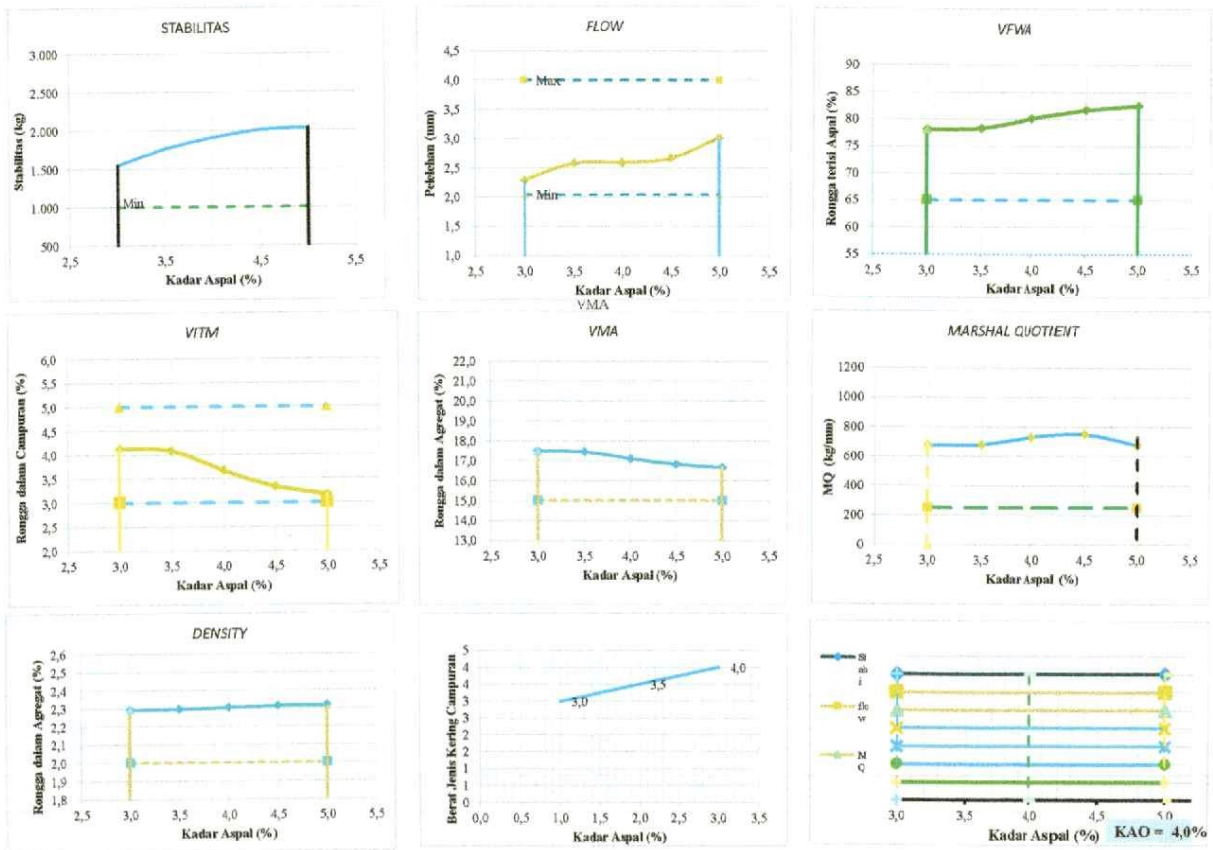


# FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftp.uui.ac.id

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024



VMA bisa naik karena VFA tinggi atau VITM tinggi

KAO = 4,000 # 6,50  
Bj. Camp Aspal = #DIV/0! # 2,306



Dibahkan Oleh  
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Berlian Kusnari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kedua Jalan Raya  
*[Signature]*  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta April 2024  
Peneliti  
*[Signature]*  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 26 511 420



27 Sifat Campuran Aspal NON-PET Dengan Metode Marshall

HASIL PENGUJIAN MARSHALL NON-PET CAMPURAN ASPAL PANAS  
DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelehar ( Flow )	Marshall ( MQ )
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm camp (VITM)	2	Rongga teris Aspal (VFWA)	di MEAS	di Sesuaikan		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B + Gse}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$\frac{C - H \times 100}{C}$	$\frac{100 - (H \times (100 - B))}{Gsb}$	$\frac{B \times H / T}{(B \times H / T) / I}$	Data Pembe. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembe. Lab	M
1	62,900	6,50	2,403	1.153,66	669,31	1.156,03	486,72	2,370	1,36	14,8	91,61	55,0	1.694,5	2,35	721,08
2	67,200			1.172,01	666,41	1.176,56	510,15	2,297	4,40	17,43	76,59	63,0	1.941,0	2,30	843,92
3	63,567			1.166,06	664,54	1.169,64	505,10	2,309	3,90	17	78,77	54,0	1.663,7	2,44	681,86
	64,556			1.163,91	666,75	1.167,41		2,325	3,23	16,42	81,86	57,3	1.766,0	2,37	745,15
1	64,630	6,50	2,403	1.150,31	671,43	1.159,91	488,48	2,355	1,99	15,34	88,12	52,0	1.590,4	2,17	732,90
2	64,767			1.178,23	678,52	1.185,73	507,21	2,323	3,32	16,49	81,43	54,0	1.651,6	2,14	771,76
3	65,030			1.171,84	661,43	1.180,19	518,76	2,259	5,98	18,79	70,31	52,0	1.590,4	2,15	739,72
	64,809			1.166,79	670,46	1.175,28		2,312	3,77	16,89	79,36	52,7	1.610,0	2,16	745,37
1	64,867	6,50	2,403	1.172,15	665,42	1.181,92	516,50	2,269	5,56	18,43	71,89	47,0	1.430,9	2,11	678,14
2	64,133			1.166,65	677,52	1.175,97	498,45	2,341	2,57	15,85	85,10	46,0	1.400,4	2,15	651,36
3	65,900			1.174,05	673,51	1.185,69	512,18	2,292	4,61	17,61	75,71	46,0	1.400,4	2,09	670,06
	64,967			1.170,95	672,15	1.181,19		2,300	4,27	17,32	77,15	46,3	1.410,0	2,12	665,09

No	Jeni Agregat yang dipakai	Proporsi Camp.	Bj Bulk	Bj Apparent
1	Agregat Kasar	39,00	2,628	2,760
2	Agregat Halus	54,50	2,592	2,661
3	Filler	6,50	2,515	2,515
		100		

$$Gsb = \frac{100}{\frac{39,00}{2,628} + \frac{54,5}{2,592} + \frac{6,50}{2,515}} = 2,601$$

$$Gsa = \frac{100}{\frac{39,00}{2,760} + \frac{54,5}{2,661} + \frac{6,50}{2,515}} = 2,689$$

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} = \frac{2,601 + 2,689}{2} = 2,645$$

Penetrasi Aspal	60 - 70
Bj. Aspal ( T )	1,037
konversi proving ring	32,608

lbv ke kg : 0,454  
Kalibrasi proving ring : 32,6082

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kaltab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti  
*[Signature]*  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

HASIL PENGUJIAN MARSHALL PET CAMPURAN ASPAL PANAS  
DENGAN METODE MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Pekerjaan : Tugas Akhir  
Penyedia Jasa :  
Item Pekerjaan : Marshall AC-WC

Dikerjakan oleh : Fathoni Abdul Mukti  
Diperiksa oleh : Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
Tanggal : April 2024

No. Benda Uji	Tinggi Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelahan Marshall Quotient	
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm camp (VITM)	2 Agrgt (VMA)	Rongga tersi Aspal (VFWA)	di Baca	di Sesuaikan	Plastis ( Flow )	Quotient ( MQ )
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B + \frac{B}{T}}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$\frac{C-H \times 100}{C}$	$\frac{100 - (H \times (100-B) / Gsb)}{100}$	$\frac{B \times H / T}{(B \times H / T) - I}$	Data Pemb. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. Lab	M
1	62,80	6,50	2,421	1.167,14	684,52	1.177,42	492,90	2,368	2,17	14,88	86,68	61,0	1.929,0	2,89	667,47
2	66,43			1.195,67	681,41	1.199,36	517,95	2,308	4,64	17,03	74,79	62,0	1.960,6	2,98	657,92
3	62,40			1.147,80	658,52	1.150,29	491,77	2,334	3,57	16,1	79,59	62,0	1.960,6	3,01	651,36
	63,88			1.170,20	674,82	1.175,69		2,336	3,49	16,03	79,97	61,7	1.950,0	2,96	658,78
1	65,27	6,50	2,421	1.180,02	679,15	1.189,24	510,09	2,313	4,44	16,85	75,65	55,0	1.642,0	3,90	421,03
2	66,50			1.175,82	676,27	1.187,05	510,78	2,302	4,89	17,25	73,73	54,0	1.612,1	1,25	1289,72
3	65,27			1.178,55	687,86	1.187,37	499,51	2,359	2,54	15,2	84,71	56,0	1.671,9	2,10	796,12
	65,68			1.178,13	681,09	1.187,89		2,324	3,98	16,46	77,69	55,0	1.642,0	2,42	678,51
1	65,57	6,50	2,421	1.175,90	680,13	1.187,33	507,20	2,318	4,23	16,67	76,57	49,0	1.437,6	2,10	684,56
2	66,27			1.186,14	685,75	1.195,08	509,33	2,329	3,78	16,28	78,61	55,0	1.613,6	2,35	686,64
3	67,10			1.182,98	680,35	1.191,33	510,98	2,315	4,36	16,78	76,00	47,0	1.378,9	2,35	586,77
	66,31			1.181,67	682,08	1.191,25		2,320	4,15	16,6	76,93	50,3	1.476,0	2,27	650,22
									3-5	15	65		min 800	2 - 4	200 - 350

No	Jeni Agregat yang dipakai	Proporsi Camp.	Bj Bulk	Bj Apparent
1	Agregat Kasar	39,00	2,628	2,760
2	Agregat Halus	54,50	2,592	2,661
3	Filler	6,50	2,515	2,515

$$Gsb = \frac{39,00}{2,628} + \frac{54,5}{2,592} + \frac{6,50}{2,515} = 2,601$$

$$Gsa = \frac{39,00}{2,760} + \frac{54,5}{2,661} + \frac{6,50}{2,515} = 2,689$$

$$Gse = \frac{Gsb + Gsa}{2} = \frac{2,601 + 2,689}{2} = 2,645$$

Penetrasi Aspal	60 - 70
Bj. Aspal ( T )	1,09
konversi proving ring	32,608


lbv ke kg 0,454  
Kalibrasi proving ring 32.6082

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalah Jalan Raya  
  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti

  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

Lampiran 29 Rekapitulasi Marshall PET dan NON-PET

**REKAPITULASI MARSHALL PET DAN NON-PET**

MARSHALL NON-PET								
	Rendaman	Stabilitas	Flow	VFWA	VITM	VMA	M-Q	Density
Non-PET	0 Jam	1.766	2.370	81,857	3,230	16,420	745,148	2,325
	24 Jam	1.610	2,160	79,356	3,770	16,890	745,370	2,312
	48 Jam	1.410	2,120	77,149	4,270	17,320	665,094	2,300
	Spec	>800	2-4	>65	3-5	>15	>250	
MARSHALL PET								
	Rendaman	Stabilitas	Flow	VFWA	VITM	VMA	M-Q	Density
PET	0 Jam	1.950	2,960	79,966	3,490	16,030	658,784	2,336
	24 Jam	1.642	2,420	77,689	3,980	16,460	678,512	2,324
	48 Jam	1.476	2,270	76,925	4,150	16,600	650,220	2,320
	Spec	>800	2-4	>65	3-5	>15	>250	
MARSHALL PET DAN NON-PET (0 JAM)								
JENIS CAMPURAN	Stabilitas	Flow	VFWA	VITM	VMA	M-Q	Density	
1 Non-PET	1.766	2,370	81,857	3,230	16,420	745,148	2,325	
2 PET	1.950	2,960	79,966	3,490	16,030	658,784	2,336	
Spec	>800	2-4	>65	3-5	>15	>250		
MARSHALL PET DAN NON-PET (24 JAM)								
JENIS CAMPURAN	Stabilitas	Flow	VFWA	VITM	VMA	M-Q	Density	
1 Non-PET	1.610	2,160	79,356	3,770	16,890	745,370	2,312	
2 PET	1.642	2,420	77,689	3,980	16,460	678,512	2,324	
Spec	>800	2-4	>65	3-5	>15	>250		
MARSHALL PET DAN NON-PET (48 JAM)								
JENIS CAMPURAN	Stabilitas	Flow	VFWA	VITM	VMA	M-Q	Density	
1 Non-PET	1.410	2,120	77,149	4,270	17,320	665,094	2,300	
2 PET	1.476	2,270	76,925	4,150	16,600	650,220	2,320	
Spec	>800	2-4	>65	3-5	>15	>250		

Disahkan Oleh  
Mangga Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berhan Kusham, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101




Mengetahui  
Kata. Jalan Raya  
Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307



Yogyakarta, April 2024  
Peneliti  
Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420





UNIVERSITAS  
ISLAM  
INDONESIA

Lampiran 30 Pengujian ITS NON-PET

FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN ITS NON-PET

	Persen Aspal	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (inci)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM		
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Mean	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	
		Tebal Sampel		Koreksi			Tebal Sampel		Koreksi			Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampel		Koreksi		
0 jam Non-PET	6,35%	1	65,71	65,65	65,45	65,60	0,95	3,79	3,87	3,96	3,87	0,16	16	19,89	318,16	137,18	137,33	600	65,1	66,7	0,96	0,93	3,7	4	0,164	0,16	331,57	319,87
		2	66,66	65,97	66,01	66,21	0,94	3,69	3,78	3,86	3,78	0,16	16	19,89	318,16	135,51			65,1	66,7	0,96	0,93	3,6	3,9	0,16	0,156	316,45	
		3	67,24	68,24	67,23	67,57	0,91	3,65	3,98	3,56	3,73	0,15	17	19,89	338,05	139,27			65,7	68,3	0,93	0,89	3,5	4	0,156	0,152	311,60	
24 jam Non-PET	6,35%	1	64,50	64,70	65,50	64,90	0,97	4,01	4,02	4,01	4,01	0,155	9	19,89	178,97	78,34	87,31	600	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,1560	0,1520	184,03	205,28
		2	64,30	65,70	64,20	64,73	0,97	4,01	4,02	4,02	4,02	0,16	11	19,89	218,74	96,16			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	226,28	
		3	65,70	64,80	63,70	64,73	0,97	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	10	19,89	198,85	87,42			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	205,54	
48 jam Non-PET	6,35%	1	65,10	66,00	67,00	66,03	0,94	4,03	4,04	4,05	4,04	0,154	11	19,89	218,74	93,51	74,39	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,1560	0,1520	214,03	171,69
		2	64,60	65,10	64,60	64,77	0,97	4,04	4,05	4,05	4,05	0,15	7	19,89	139,20	61,14			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,156	0,152	142,69	
		3	65,20	65,80	66,00	65,67	0,95	4,05	4,04	4,03	4,04	0,15	8	19,89	159,08	68,51			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	157,96	

Dibahkan Oleh  
Murni Laboratorium Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Derban Kusni, S.T., Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Klub Jajar Raya  
*[Signature]*  
Muhammad Asbi Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti  
*[Signature]*  
Fatmahan Abdul Mubdi  
NIK : 20 511 420





FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 31 Pengujian ITS PET

HASIL PENGUJIAN ITS PET

	Persen Aspal	Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 0 JAM		
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2			
0 jam PET	6,5%	1	69,90	70,19	69,67	69,92	0,86	4,04	4,06	4,04	4,05	0,15	23	19,89	457,36	178,13	201,00	600	68,3	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,156	0,152	385,09	440,01
		2	68,08	67,08	69,67	68,28	0,89	4,01	4,02	4,01	4,01	0,16	25	19,89	497,13	200,82			66,7	68,3	0,93	0,89	4	4,1	0,156	0,152	448,44	
		3	69,98	69,98	70,13	70,03	0,86	4,03	4,02	4,02	4,02	0,16	29	19,89	576,67	224,05			68,3	71,4	0,89	0,83	4	4,1	0,156	0,152	486,51	
24 jam PET	6,5%	1	65,40	65,40	65,40	65,40	0,95	4,06	4,06	4,04	4,05	0,154	15	19,89	298,28	129,13	116,86	600	65,10	66,70	0,96	0,93	4,00	4,10	0,156	0,152	297,92	269,39
		2	65,90	63,80	66,10	65,27	0,96	4,03	4,06	4,06	4,05	0,154	11	19,89	218,74	94,94			65,10	66,70	0,96	0,93	4,00	4,10	0,156	0,152	219,69	
		3	67,10	65,70	66,50	66,43	0,94	4,01	4,01	4,01	4,01	0,156	15	19,89	298,28	126,50			65,10	66,70	0,96	0,93	4,00	4,10	0,156	0,152	290,57	
48 jam PET	6,5%	1	66,90	66,90	64,90	66,23	0,94	4,05	4,07	4,05	4,06	0,154	7	19,89	139,20	59,27	79,72	600	65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	134,92	183,26
		2	65,80	66,00	65,50	65,77	0,95	4,02	4,06	4,04	4,04	0,154	9	19,89	178,97	76,92			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	177,09	
		3	66,80	65,10	64,80	65,57	0,95	4,05	4,02	4,05	4,04	0,154	12	19,89	238,62	102,96			65,1	66,7	0,96	0,93	4	4,1	0,156	0,152	237,77	

Diajukan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Heri Nur Kusnan, M.Eng. IEM, ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

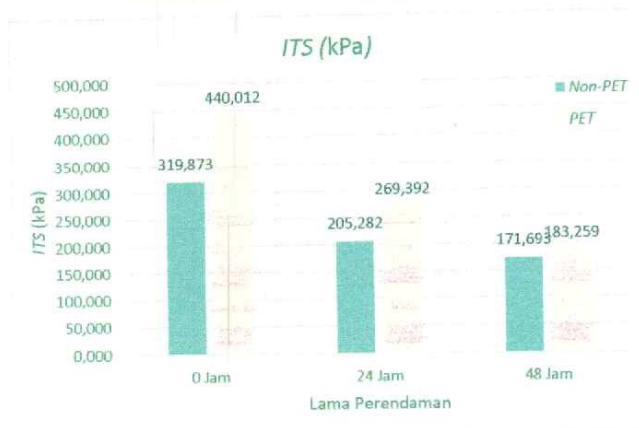
Mengetahui  
Kalab. Ilmu Bina  
*[Signature]*  
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2014  
Peneliti  
*[Signature]*  
Fathoni Abdul Muhi  
NIK : 20 511 420

Lampiran 32 Rekapitulasi Pengujian ITS PET dan NON-PET

**REKAPITULASI ITS PET DAN NON-PET**

Lama Rendaman	Non-PET	PET
0 Jam	319,873	440,012
24 Jam	205,282	269,392
48 Jam	171,693	183,259



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIK : 20 511 420

Lampiran 33 Rekapitulasi Pengujian *Cantabro Loss* PET dan NON-PET

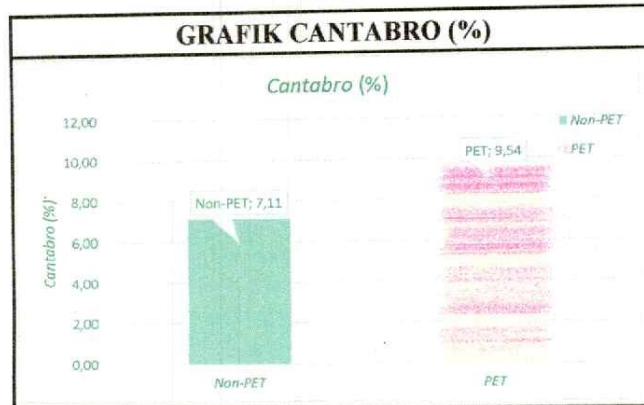
**REKAPITULASI CANTABRO LOSS PET DAN NON-PET**

**CANTABRO LOSS**

	SEBELUM	SESUDAH	CANTABRO LOSS (%)
PET	1177,99	1036,65	11,998
	1175,30	1078,10	8,270
	1196,42	1096,50	8,352
	<b>1183,24</b>	<b>1070,42</b>	<b>9,540</b>
NON-PET	1179,64	1113,50	5,607
	1165,45	1070,68	8,132
	1167,10	1078,40	7,600
	<b>1170,73</b>	<b>1087,53</b>	<b>7,113</b>

Jenis Aspal	Cantabro (%)
Non-PET	7,11
PET	9,54

**GRAFIK CANTABRO (%)**



Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kaluh, Jalan Raya

Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, April 2024  
Peneliti

Fathoni Abdul Mukti  
NIM : 20 511 420

## Lampiran 34 Surat Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Hartsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km. 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext.3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id

Nomor : 184/Sek. Prodi PSTS/20/TA/X/2023  
Hal : Permohonan Izin Pemakaian Laboratorium

Kepada Yth:  
KEPALA LABORATORIUM JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

*Assalamu'alaikum Wr. Wb.*

Yang bertanda tangan dibawah ini:

NAMA : FATHONI ABDUL MUKTI  
NIM : 20511420  
JUDUL TUGAS AKHIR : KINERJA CAMPURAN AC-WC DENGAN BAHAN IKAT ASPAL MODIFIKASI  
BERBAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK  
DOSEN PEMBIMBING : BERLIAN KUSHARI, S.T., M. ENG

Sehubungan dengan Penelitian yang akan dilakukan untuk menyusun Tugas Akhir, maka melalui surat ini saya bermaksud mengajukan permohonan izin peminjaman peralatan beserta fasilitas di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Islam Indonesia guna mendukung penyelesaian penyusunan Laporan Tugas Akhir.

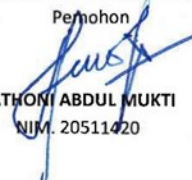
Demikian permohonan ini kami sampaikan, atas bantuan dan kerjasamanya kami ucapkan banyak terima kasih.

*Wassalamu'alaikum Wr. Wb.*

  
 Sekretaris Program Teknik Sipil – Program Sarjana,  
 DINIA ANGGRAHENI, S.T., M. ENG

Yogyakarta, 17 Oktober 2023

Permohon

  
 FATHONI ABDUL MUKTI  
 NIM. 20511420

Lampiran 35 Time Schedule

No	Uraian Kegiatan	Jam Kerja (Jam)	I				II				III				IV				V				VI				KET
			M1	M2	M3	M4	M5	M6	M7	M8	M9	M10	M11	M12	M13	M14	M15	M16	M17	M18	M19	M20	M21	M22	M23	M24	
<b>A</b>	<b>Pekerjaan Persiapan</b>	<b>14.00</b>																									
1	Testing alat	4.00	2.00	2.00																							
2	Kalibrasi alat	2.00		1.00	1.00																						
3	Persiapan bahan yang digunakan	8.00	2.00	2.00	2.00	2.00																					
<b>B</b>	<b>Pengumpulan Data</b>	<b>66.00</b>																									
1	Analisis perencanaan campuran untuk mencari nilai KAO dan KPO	8.00				6.00	2.00																				
2	Pembuatan benda uji KAO dan KPO	10.00					5.00	5.00																			
3	Pengujian Marshall	10.00						6.00	4.00																		
4	Pengujian ITS	8.00							4.00	4.00																	
5	Pengujian TSR	10.00								2.00	4.00	4.00															
6	Pengujian IRS	10.00									4.00	6.00															
7	Pengujian Cantabro Loss	10.00										4.00	6.00														
<b>C</b>	<b>Analisa dan Pembahasan</b>	<b>40.00</b>																									
1	Analisis karakteristik Marshall Test	11.00											4.00	7.00													
2	Analisis pengujian ITS	7.00												4.00	3.00												
3	Analisis pengujian TSR	8.00													4.00	4.00											
4	Analisis pengujian IRS	7.00														4.00	3.00										
5	Analisis pengujian Cantabro Loss	7.00															3.00	4.00									
<b>D</b>	<b>Penyusunan Laporan</b>	<b>17.00</b>																									
1	Laporan sementara	8.00																			2.00	2.00	4.00				
2	Laporan akhir	9.00																						3.00	3.00	3.00	
	<b>Rencana Mingguan</b>	<b>137.00</b>	4.00	4.00	3.00	3.00	6.00	7.00	11.00	8.00	6.00	4.00	8.00	10.00	10.00	11.00	7.00	8.00	6.00	4.00	2.00	2.00	4.00				
	<b>Jam Kerja Kumulatif</b>	<b>137.00</b>	4.00	8.00	11.00	14.00	20.00	27.00	38.00	46.00	52.00	56.00	64.00	74.00	84.00	95.00	102.00	110.00	116.00	120.00	122.00	124.00	128.00	131.00	134.00	137.00	

## Lampiran 36 Surat Keterangan Hasil Cek Plagiasi



Direktorat Perpustakaan Universitas Islam Indonesia  
Gedung Moh. Hatta  
Jl. Kaliurang Km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext.2301  
F. (0274) 898444 psw.2091  
E. perpustakaan@uii.ac.id  
W. library.uui.ac.id

### SURAT KETERANGAN HASIL CEK PLAGIASI

Nomor: 2338662105/Perpus./10/Dir.Perpus/II/2024

*Bismillahirrahmaanirrahiim*

*Assalamualaikum Wr. Wb.*

Dengan ini, menerangkan Bahwa:

Nama : Fathoni Abdul Mukti  
Nomor Mahasiswa : 20511420  
Pembimbing : Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM, ASEAN Eng.  
Fakultas / Prodi : Teknik Sipil dan Perencanaan/ TEKNIK SIPIL  
Judul Karya Ilmiah : KINERJA CAMPURAN AC-WC DENGAN BAHAN IKAT ASPAL  
MODIFIKASI BERBAHAN TAMBAH LIMBAH PLASTIK DENGAN  
VARIASI RENDAMAN AIR HUJAN

Karya ilmiah yang bersangkutan di atas telah melalui proses cek plagiasi menggunakan **Turnitin** dengan hasil kemiripan (*similarity*) sebesar **20 (Dua Puluh) %**.

Demikian Surat Keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

*Wassalamualaikum Wr. Wb.*

Yogyakarta, 4/3/2024

Direktur



Muhammad Jamil, SIP.

### Lampiran 37 Hasil Uji *Anova Non-PET* Terhadap Karakteristik *Marshall*

1. Stabilitas campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

Stabilitas

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	191442.889	2	95721.444	11.656	.009
Within Groups	49272.000	6	8212.000		
Total	240714.889	8			

2. *Flow* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

Flow

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.106	2	.053	25.715	.001
Within Groups	.012	6	.002		
Total	.119	8			

3. *VITM* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

VITM

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.562	2	.781	.259	.780
Within Groups	18.099	6	3.017		
Total	19.661	8			

4. *VFWA* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

VFWA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	30.488	2	15.244	.263	.777
Within Groups	348.291	6	58.048		
Total	378.778	8			

5. *VMA* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

VMA

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1.163	2	.581	.258	.781
Within Groups	13.525	6	2.254		
Total	14.688	8			

6. *MQ* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

MARSHAL QUOTIENT

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	13453.952	2	6726.976	2.598	.154
Within Groups	15536.086	6	2589.348		
Total	28990.038	8			

7. *Density* campuran *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

**ANOVA**

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	2	.000	.260	.779
Within Groups	.011	6	.002		
Total	.011	8			



### Lampiran 38 Hasil Uji *Anova PET* Terhadap Karakteristik *Marshall*

1. Stabilitas campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

#### ANOVA

Stabilitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	346338.889	2	173169.444	32.092	<.001
Within Groups	32376.667	6	5396.111		
Total	378715.556	8			

2. *Flow* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

#### ANOVA

Flow					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.798	2	.399	.645	.557
Within Groups	3.711	6	.619		
Total	4.510	8			

3. *VITM* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

#### ANOVA

VITM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.976	2	.488	.218	.811
Within Groups	13.450	6	2.242		
Total	14.426	8			

4. *VFWA* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

#### ANOVA

VFWA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11.942	2	5.971	.142	.870
Within Groups	251.810	6	41.968		
Total	263.752	8			

5. *VMA* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.

#### ANOVA

VMA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.747	2	.373	.221	.808
Within Groups	10.160	6	1.693		
Total	10.906	8			

6. *MQ* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.**ANOVA**

Marshall Quotient

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	64741.235	2	32370.617	.503	.628
Within Groups	386296.927	6	64382.821		
Total	451038.161	8			

7. *Density* campuran *PET* terhadap variasi rendaman air hujan.**ANOVA**

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	2	.000	.267	.775
Within Groups	.004	6	.001		
Total	.004	8			

### Lampiran 39 Hasil Uji *Anova* Variasi Rendaman 0 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik *Marshall*

1. Stabilitas variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Stabilitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	50600.167	1	50600.167	4.329	.106
Within Groups	46751.333	4	11687.833		
Total	97351.500	5			

2. *Flow* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Flow					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.534	1	.534	119.556	<.001
Within Groups	.018	4	.004		
Total	.552	5			

3. *VITM* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VITM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	3.375	1	3.375	.875	.402
Within Groups	15.422	4	3.855		
Total	18.797	5			

4. *VFWA* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VFWA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	71.899	1	71.899	.945	.386
Within Groups	304.360	4	76.090		
Total	376.259	5			

5. *VMA* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VMA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.714	1	.714	.246	.646
Within Groups	11.599	4	2.900		
Total	12.313	5			

6. *MQ* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Marshall Quotient

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	12159.902	1	12159.902	3.371	.140
Within Groups	14428.362	4	3607.090		
Total	26588.264	5			

7. *Density* variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	.064	.812
Within Groups	.009	4	.002		
Total	.009	5			

### Lampiran 40 Hasil Uji *Anova* Variasi Rendaman 24 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik *Marshall*

1. Stabilitas variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Stabilitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	1472.667	1	1472.667	1.350	.310
Within Groups	4362.667	4	1090.667		
Total	5835.333	5			

2. *Flow* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Flow					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.104	1	.104	.114	.753
Within Groups	3.662	4	.916		
Total	3.766	5			

3. *VITM* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VITM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.056	1	.056	.020	.895
Within Groups	11.313	4	2.828		
Total	11.369	5			

4. *VFWA* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VFWA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	5.434	1	5.434	.104	.763
Within Groups	209.078	4	52.269		
Total	214.512	5			

5. *VMA* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VMA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.295	1	.295	.139	.728
Within Groups	8.470	4	2.118		
Total	8.765	5			

6. *MQ* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Marshall Quotient

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	11483.500	1	11483.500	.121	.746
Within Groups	380512.986	4	95128.246		
Total	391996.486	5			

7. *Density* variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.000	1	.000	.084	.786
Within Groups	.007	4	.002		
Total	.007	5			

### Lampiran 41 Hasil Uji *Anova* Variasi Rendaman 48 Jam Terhadap Jenis Aspal Pada Karakteristik *Marshall*

1. Stabilitas variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Stabilitas					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6666.667	1	6666.667	.873	.403
Within Groups	30534.667	4	7633.667		
Total	37201.333	5			

2. *Flow* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

Flow					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.034	1	.034	3.101	.153
Within Groups	.044	4	.011		
Total	.077	5			

3. *VITM* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VITM					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.022	1	.022	.018	.900
Within Groups	4.815	4	1.204		
Total	4.837	5			

4. *VFWA* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VFWA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.482	1	.482	.022	.889
Within Groups	86.830	4	21.708		
Total	87.312	5			

5. *VMA* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

#### ANOVA

VMA					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.770	1	.770	.852	.408
Within Groups	3.615	4	.904		
Total	4.386	5			

6. *MQ* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Marshall Quotient

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	288.288	1	288.288	.167	.703
Within Groups	6891.124	4	1722.781		
Total	7179.412	5			

7. *Density* variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal.**ANOVA**

Density

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	.001	1	.001	1.225	.330
Within Groups	.003	4	.001		
Total	.003	5			



### Lampiran 42 Hasil Uji *Anova Indirect Tensile Ratio (ITS)*

1. *ITS* dengan jenis aspal *Non-PET* terhadap variasi rendaman air hujan

#### ANOVA

ITS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	36284.667	2	18142.333	27.859	<.001
Within Groups	3907.333	6	651.222		
Total	40192.000	8			

2. *ITS* dengan jenis aspal *PET* terhadap variasi rendaman air hujan

#### ANOVA

ITS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	102452.410	2	51226.205	21.451	.002
Within Groups	14328.329	6	2388.055		
Total	116780.739	8			

3. *ITS* dengan variasi rendaman air hujan 0 jam terhadap jenis aspal

#### ANOVA

ITS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	21650.429	1	21650.429	15.842	.016
Within Groups	5466.501	4	1366.625		
Total	27116.930	5			

4. *ITS* dengan variasi rendaman air hujan 24 jam terhadap jenis aspal

#### ANOVA

ITS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	6165.138	1	6165.138	5.332	.082
Within Groups	4625.273	4	1156.318		
Total	10790.411	5			

5. *ITS* dengan variasi rendaman air hujan 48 jam terhadap jenis aspal

#### ANOVA

ITS					
	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	200.682	1	200.682	.098	.770
Within Groups	8202.385	4	2050.596		
Total	8403.067	5			

**Lampiran 43 Hasil Uji *Anova Cantabro Loss***

1. *Cantabro Loss* terhadap jenis aspal.

**ANOVA**

Cantabro Loss

	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	8.833	1	8.833	2.802	.169
Within Groups	12.611	4	3.153		
Total	21.444	5			