

**TESIS**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK FISIK DAN  
MEKANIK CAMPURAN AC-WC DAN CAMPURAN ASPAL  
PORUS DENGAN VARIASI BAHAN IKAT**

***(STUDY COMPARISON OF PHYSICAL AND MECHANICAL  
CHARACTERISTICS OF AC-WC MIXTURE AND PORUS  
ASPHALT MIXTURE WITH VARIATIONS OF BINDING  
MATERIAL)***



**Disusun oleh :**

**MATRIS DERIANZA HAFIDZ**

**19 914 041**

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER**

**FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN**

**UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

**YOGYAKARTA**

**2021**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK FISIK DAN  
MEKANIK CAMPURAN AC-WC DAN CAMPURAN ASPAL  
PORUS DENGAN VARIASI BAHAN IKAT**



Diperiksa dan disetujui oleh:

**MIFTAHUL FAUZIAH, S.T., M.T., Ph.D.**

Dosen Pembimbing I

Tanggal: \_\_\_\_\_

**Ir. SUBARKAH, M.T.**

Dosen Pembimbing II

Tanggal: \_\_\_\_\_

## TESIS

### STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK FISIK DAN MEKANIK CAMPURAN AC-WC DAN CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN VARIASI BAHAN IKAT

Disusun oleh:

**MATRIS DERIANZA HAFIDZ**  
**19 914 041**

Telah diuji oleh Dewan Penguji  
Pada tanggal 28 Agustus 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

#### Susunan Dewan Penguji

Pembimbing I

Pembimbing II

Penguji

**Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.**

**Ir. Subarkah, M.T.**

**Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.**

Yogyakarta,  
Universitas Islam Indonesia  
Program Studi Teknik Sipil, Program Magister  
Ketua Program,

**Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D., IP-M**

## PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapat gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program *software* komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila kemudian terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta,

Yang membuat pernyataan,

MATERAI  
6000

**MATRIS DERIANZA HAFIDZ**

NIM : 19914041

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kepada sang kholik tuhan semesta alam, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan tugas akhir tingkat magister (Tesis) dengan judul Studi Perbandingan Karakteristik Fisik dan Mekanik Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus dengan Variasi Bahan Ikat. Tesis ini merupakan salah satu syarat untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan tesis ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat doa, dukungan, saran, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan tesis ini. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing I dan Bapak Ir. Subrakah, M.T. selaku dosen pembimbing II, yang senantiasa memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku dosen penguji tesis, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari.
3. Ibu Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Dan seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.

Penulis berharap agar Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 28 Agustus 2021  
Penulis

Matris Derianza Hafidz  
19914041

## DAFTAR ISI

□	
LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
LEMBAR PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Masalah	6
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 Campuran AC-WC	7
2.2 Campuran Aspal Porus	8
2.3 Pengaruh Jenis Campuran dan Gradasi Terhadap Kinerja Perkerasan	9
2.4 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Kinerja Perkerasan	10
2.5 Durabilitas Campuran Aspal	12
2.6 Analisis Mekanistik dengan Program KENPAVE	12
2.7 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	14
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>17</b>
3.1 Perkerasan Jalan	17
3.2 Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)	17
3.3 Aspal Porus	18

3.4	Bahan Penyusun Campuran	20
3.4.1	Agregat	20
3.4.2	Aspal	22
3.5	Pengujian <i>Marshall</i>	23
3.5.1	Stabilitas ( <i>Stability</i> )	23
3.5.2	Kelelahan ( <i>Flow</i> )	24
3.5.3	<i>Marshall Question (MQ)</i>	24
3.5.4	Pengujian <i>Void in the Total Mix (VIM)</i>	24
3.5.5	Pengujian <i>Void In Mineral Aggregate (VMA)</i>	25
3.5.6	Void Filled With Asphalt (VFWA)	25
3.5.7	Pengujian Kepadatan ( <i>Density</i> )	26
3.6	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	27
3.7	Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	27
3.8	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	27
3.9	Tahanan Tarik dan Ketahanan Campuran Setelah Perendaman	28
3.9.1	<i>Immersion Test (IRS)</i>	29
3.9.2	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	29
3.9.3	<i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	30
3.10	<i>Stiffness Modulus</i>	30
3.11	Program KENPAVE	31
3.11.1	Program <i>KENLAYER</i>	32
3.11.2	Analisis Kerusakan	34
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>37</b>
4.1	Metode Penelitian	37
4.2	Metode Pengambilan Data	37
4.3	Tahapan Penelitian	37
4.3.1	Pengujian Bahan	38
4.3.2	Persiapan Alat	40
4.3.3	Perencanaan Campuran	41
4.4	Jumlah Benda Uji	44
4.5	Pengujian Campuran untuk Mencari KAO	45
4.5.1	Pengujian <i>Marshall</i>	45

4.5.2	Pengujian <i>Cantabro</i>	46
4.5.3	Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	46
4.6	Analisis untuk Menentukan KAO	47
4.7	Pengujian pada Kondisi KAO	48
4.7.1	Pengujian <i>Marshall</i>	48
4.7.2	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	48
4.7.3	Pengujian <i>Immersion</i>	48
4.7.4	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	48
4.7.5	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	48
4.8	Analisis Data	49
4.9	Analisis Statistik	53
4.10	Bagan Alir Penelitian	55
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		<b>56</b>
5.1	Hasil Pengujian Bahan dan Campuran	56
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	56
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	56
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran AC-WC dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55	57
5.1.4	Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55	60
5.1.5	Nilai Kadar Aspal Optimum Seluruh Campuran	64
5.1.6	Hasil Pengujian Seluruh Campuran	65
5.1.7	Hasil Analisis Statistik	67
5.2	Pembahasan	68
5.2.1	Karakteristik Agregat Kasar	68
5.2.2	Karakteristik Agregat Halus	69
5.2.3	Perbandingan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70 dengan Aspal Starbit E-55	70
5.2.4	Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Pen 60/70 dan Starbit E-55	74

5.2.5	Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>CL</i> , dan <i>AFD</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus Menggunakan Pen 60/70 dan Starbit E-55	81
5.2.6	Karakteristik <i>Marshall Standard</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55	91
5.2.7	Karakteristik <i>Index Retained Strength (IRS)</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55	101
5.2.8	Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55	103
5.2.9	Karakteristik <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55	104
5.2.10	Karakteristik <i>Cantabro Loss (CL)</i> pada Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55	106
5.2.11	Karakteristik <i>Stiffness Modulus Bitumen</i> dan <i>Stiffness Modulus Mixture</i> pada Setiap Campuran dengan Variasi Kecepatan.	108
5.2.12	Perbandingan Nilai Beban Gandar Maksimum (ESAL) pada Perkerasan Eksisting dengan Setiap Campuran	111
5.3	Tinjauan Karakteristik Campuran <i>AC-WC</i> dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55	113
	<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>	<b>116</b>
6.1	Kesimpulan	116
6.2	Saran	118
	<b>DAFTAR PUSTAKA</b>	<b>119</b>
	<b>LAMPIRAN</b>	<b>124</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Pengaruh Gradasi dan Bahan Ikat Terhadap Kinerja Campuran	14
Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	18
Tabel 3.2 Ketentuan Campuran Aspal Porus	19
Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar	21
Tabel 3.4 Spesifikasi Agregat Halus	22
Tabel 3.5 Persyaratan Aspal Keras	23
Tabel 3.6 Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Aspal Porus	28
Tabel 3.7 Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Lapis Aspal Beton	28
Tabel 3.8 Satuan English dan SI	33
Tabel 4.1 Gradasi Rencana Campuran AC-WC	41
Tabel 4.2 Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus	43
Tabel 4.3 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari Kadar Aspal Optimu	44
Tabel 4.4 Jumlah Benda Uji pada Kondisi Kadar Aspal Optimum	45
Tabel 4.5 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Tempel-Pakem	51
Tabel 4.6 Data Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana	52
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55	56
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	57
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus	57
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	57
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 untuk Menentukan KAO	58
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO	58
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 untuk Menentukan KAO	60
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO	60

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Cantabro Loss Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO	61
Tabel 5.10 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO	61
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik <i>VITM</i> , <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO	64
Tabel 5.12 Nilai Kadar Aspal Optimum Seluruh Campuran	64
Tabel 5.13 Hasil Pengujian Marshall Standard	66
Tabel 5.14 Hasil Pengujian <i>Immersion/Indeks Retained Strength (IRS)</i>	66
Tabel 5.15 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	66
Tabel 5.16 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	66
Tabel 5.17 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	67
Tabel 5.18 Hasil Analisis Perhitungan <i>Stiffness Modulus</i>	67
Tabel 5.19 Hasil Uji Signifikansi Perbedaan antara Aspal Starbit E-55 Terhadap Aspal Pen 60/70	68
Tabel 5.20 Hasil Uji Signifikansi untuk Pengaruh Jenis Aspal dan Jenis Campuran Terhadap Kinerja Campuran	68
Tabel 5.21 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi	74
Tabel 5.22 Analisis Kerusakan dan Beban Lalu Lintas	111
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Seluruh Campuran	114

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Tampilan Program KENPAVE	32
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Rencana Campuran AC-WC	42
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus	43
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	55
Gambar 5.1 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70	59
Gambar 5.2 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Starbit E-55	59
Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VITM</i> Campuran Aspal Porus	62
Gambar 5.4 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Cantabro</i> <i>Loss</i> Campuran Aspal Porus	62
Gambar 5.5 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Asphalt</i> <i>Flow Down</i> Campuran Aspal Porus	63
Gambar 5.6 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Campuran AC-WC	74
Gambar 5.7 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Flow</i> pada Campuran AC-WC	75
Gambar 5.8 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VITM</i> pada Campuran AC-WC	76
Gambar 5.9 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VMA</i> pada Campuran AC-WC	77
Gambar 5.10 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VFWA</i> pada Campuran AC-WC	78
Gambar 5.11 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Density</i> pada Campuran AC-WC	79
Gambar 5.12 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Marshall</i> <i>Quotient (MQ)</i> pada Campuran AC-WC	80

Gambar 5.13 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VITM Campuran Aspal Porus	82
Gambar 5.14 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai VFWA Campuran Aspal Porus	83
Gambar 5.15 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai VMA Campuran Aspal Porus	84
Gambar 5.16 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai <i>Density</i> Campuran Aspal Porus	85
Gambar 5.17 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai Stabilitas Campuran Aspal Porus	86
Gambar 5.18 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai <i>Flow</i> Campuran Aspal Porus	87
Gambar 5.19 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan <i>Marshall Quotient</i> Campuran Aspal Porus	88
Gambar 5.20 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai <i>Cantabro Loss</i> Campuran Aspal Porus	89
Gambar 5.21 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan <i>Asphalt Flow Down</i> Campuran Aspal Porus	91
Gambar 5.22 Perbandingan Nilai VITM Seluruh Campuran Kondisi KAO	92
Gambar 5.23 Perbandingan Nilai VFWA Seluruh Campuran Kondisi KAO	94
Gambar 5.24 Perbandingan Nilai VMA Seluruh Campuran Kondisi KAO	95
Gambar 5.25 Perbandingan Nilai <i>Density</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	96
Gambar 5.26 Perbandingan Nilai Stabilitas Seluruh Campuran Kondisi KAO	97
Gambar 5.27 Perbandingan Nilai <i>flow</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	99
Gambar 5.28 Perbandingan Nilai <i>MQ</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	100
Gambar 5.29 Perbandingan Nilai <i>IRS</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	101
Gambar 5.30 Perbandingan Nilai <i>ITS</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	103
Gambar 5.31 Perbandingan Nilai <i>TSR</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	105
Gambar 5.32 Perbandingan Nilai <i>Cantabro Loss</i> Seluruh Campuran Kondisi KAO	106
Gambar 5.33 Perbandingan Nilai <i>Stiffness Modulus of Bitumen</i> dengan Variasi Kecepatan	108

Gambar 5.34 Perbandingan Nilai <i>Stiffness Modulus of Mixture</i> dengan Variasi Kecepatan	110
Gambar 5.35 Grafik Perbandingan Nilai Repetisi Beban Rencana pada Campuran AC-WC	112
Gambar 5.36 Grafik Perbandingan Nilai Repetisi Beban Rencana pada Campuran Aspal Porus	112



## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Filler Clereng	125
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	126
Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	127
Lampiran 4 Pemeriksaan Sand Equivalent	128
Lampiran 5 Pemeriksaan Keausan Agregat	129
Lampiran 6 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	130
Lampiran 7 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE	131
Lampiran 8 Pemeriksaan Daktilitas	132
Lampiran 9 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal	133
Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal	134
Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	135
Lampiran 12 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	136
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	137
Lampiran 14 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE	138
Lampiran 15 Pemeriksaan Daktilitas	139
Lampiran 16 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal	140
Lampiran 17 Pemeriksaan Penetrasi Aspal	141
Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	142
Lampiran 19 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	143
Lampiran 20 Pengujian Marshall Campuran Aspal Porus untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70	144
Lampiran 21 Pengujian Marshall Campuran Aspal Porus untuk Menentukan KAO pada Starbit E-55	145
Lampiran 22 Pengujian Marshall Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70	146
Lampiran 23 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Starbit E-55	147
Lampiran 24 Pengujian Cantabro dalam Mencari KAO pada Aspal Pen 60/70	148

Lampiran 25 Pengujian Cantabro dalam Mencari KAO pada Starbit E-55	149
Lampiran 26 Pengujian Asphalt Flow Down dalam Mencari KAO pada Aspal Pen 60/70	150
Lampiran 27 Pengujian Asphalt Flow Down dalam Mencari KAO pada Starbit E- 55	151
Lampiran 28 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO	152
Lampiran 29 Hasil Pengujian Immersion Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO	153
Lampiran 30 Hasil Pengujian ITS dan TSR Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO	154
Lampiran 31 Hasil Pengujian Cantabro Loss Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO	155
Lampiran 32 Hasil Analisis Perhitungan Stiffness Modulus	156
Lampiran 33 Hasil Analisis Nilai Beban Gandar Menggunakan KENPAVE	157
Lampiran 34 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Stabilitas	158
Lampiran 35 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Flow	159
Lampiran 36 Uji Signifikansi Campuran Terhadap MQ	160
Lampiran 37 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VITM	161
Lampiran 38 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VFWA	162
Lampiran 39 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VMA	163
Lampiran 40 Uji Signifikansi Campuran Terhadap DENSITY	164
Lampiran 41 Uji Signifikansi Campuran Terhadap IRS	165
Lampiran 42 Uji Signifikansi Campuran Terhadap ITS	166
Lampiran 43 Uji Signifikansi Campuran Terhadap CANTABRO LOSS	167
Lampiran 44 Uji Signifikansi Campuran Terhadap TSR	168

## ABSTRAK

Kinerja perkerasan lentur dipengaruhi oleh pemilihan jenis material dan gradasi. Campuran *AC-WC* memiliki kinerja struktural yang baik, namun sering terjadi genangan air akibat curah hujan tinggi. Aspal porus merupakan solusi yang dikembangkan untuk menanggulangi genangan pada permukaan jalan. Namun kinerja struktural aspal porus tidak lebih baik dari *AC-WC*. Sehingga digunakan aspal Starbit E-55 untuk meningkatkan kinerja campuran. Tujuan penelitian ini adalah mengetahui karakteristik fisik dan mekanik campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus dengan variasi bahan ikat aspal Starbit E-55 dan aspal pen 60/70.

Penelitian ini memiliki lima tahapan, pertama melakukan pengujian sifat material. Kedua, menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada setiap campuran, campuran *AC-WC* berpedoman pada Bina Marga 2018, sedangkan campuran aspal porus berdasarkan metode *AAPA* (2004). Ketiga, melakukan pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR* pada kondisi KAO. Keempat melakukan analisis perhitungan *Stiffness Modulus*, dan melakukan analisis mekanistik empiris menggunakan *KENPAVE* untuk mengetahui beban gandar maksimal. Kelima, melakukan pembahasan dan kesimpulan.

Berdasarkan hasil penelitian, Starbit E-55 memiliki angka penetrasi yang lebih rendah, dan titik lembek, titik nyala dan indeks penetrasi yang lebih besar dari pen 60/70. Pada campuran *AC-WC* penggunaan Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas lebih besar 11%, dan *ITS* 18% dibandingkan penggunaan pen 60/70. Sedangkan penggunaan Starbit E-55 pada campuran aspal porus memiliki nilai stabilitas lebih tinggi 22%, dan *CL* lebih dari 30% dibandingkan penggunaan pen 60/70. Hasil perhitungan *stiffness modulus*, Starbit E-55 lebih kaku dibandingkan dengan pen 60/70. Campuran yang menggunakan Starbit E-55 menjadi lebih stabil. Hal ini menunjukkan Starbit E-55 lebih efektif meningkatkan kinerja seluruh campuran.

**Kata-kata Kunci:** Aspal Porus, Starbit E-55, *Marshall*, *IRS*, *TSR* dan *Stiffness Modulus*

## **ABSTRACT**

*The performance of flexible pavement is influenced by the choice of material type and gradation. The AC-WC mixture has good structural performance, but waterlogging often occurs due to high rainfall. Porous asphalt is a solution to overcome puddles on the road surface. However, the structural performance of porous asphalt is not better than AC-WC. So that Starbit E-55 asphalt is used to improve the performance of the mixture. The purpose of this study was to determine the physical and mechanical characteristics of AC-WC mixture and porous asphalt mixture with variations of Starbit E-55 and pen 60/70 as asphalt binder.*

*This research has five stages, the first is to test the material properties. Second, to determine the optimum asphalt content (OAC) in each mixture, the AC-WC mixture is guided by Bina Marga 2018, while the porous asphalt mixture is based on the AAPA (2004). Third, testing Marshall, IRS, ITS, TSR under OAC conditions. Fourth, analyze the Stiffness modulus calculation, and perform an empirical mechanistic analysis using KENPAVE to determine the maximum axle load. Fifth, conduct discussions and conclusions.*

*Based on the research results, Starbit E-55 has a lower penetration rate, and a higher softening point, flash point and penetration index than pen 60/70. In the AC-WC mixture the use of Starbit E-55 has a greater stability value of 11%, and ITS 18% compared to the use of a pen 60/70. Meanwhile, the use of Starbit E-55 in the porous asphalt mixture has a higher stability value of 22%, and CL more than 30% compared to the use of pen 60/70. The results of the calculation of stiffness modulus, Starbit E-55 is stiffer than the pen 60/70. Mixes using the Starbit E-55 become more stable. This shows that the Starbit E-55 is more effective at improving the performance of the entire mix.*

**Keywords: Porous Asphalt, Starbit E-55, Marshall, IRS, TSR and Stiffness modulus**

# **BAB I**

## **PENDAHULUAN**

### **1.1 Latar Belakang**

Infrastruktur jalan raya merupakan faktor penting dalam mempercepat pertumbuhan ekonomi nasional. Banyak jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten maupun kota yang sedang dibangun untuk mendukung kebutuhan pertumbuhan nasional. Dalam pembangunan jalan raya, dibutuhkan perencanaan, pelaksanaan dan pemeliharaan yang tepat, agar dapat memberikan pelayanan yang baik bagi pengguna jalan. Akan tetapi pada kenyataannya, banyak ruas jalan di Indonesia yang mengalami kerusakan baik secara struktural maupun fungsional, lebih parah lagi kerusakan tersebut terjadi pada masa layan jalan. Ketika ruas jalan mengalami kerusakan dan penurunan performasi, maka berdampak pada pelayanan jalan dan arus lalu lintas.

Perkerasan lentur yang sering kali digunakan di Indonesia adalah campuran aspal konvensional dengan gradasi AC-WC. Dalam pelaksanaannya, material campuran AC-WC biasanya menggunakan bahan ikat aspal konvensional penetrasi 60/70, dengan ketentuan dan standarisasi yang telah diatur oleh Bina Marga. Akan tetapi, kerusakan infrastruktur jalan atau perkerasan di Indonesia masih saja terjadi bahkan semakin banyak kerusakan yang dikeluhkan oleh pengguna jalan di Indonesia. Menurut Mulyono (2006), faktor dominan penyebab kerusakan jalan terdiri dari 3 (tiga) faktor utama yaitu faktor mutu konstruksi perkerasan, faktor air drainase permukaan jalan dan faktor repetisi beban kendaraan. Dari ketiga faktor tersebut, pada umumnya kerusakan jalan terjadi akibat perubahan cuaca yang diiringi peningkatan volume lalu lintas. Perubahan cuaca akan mempengaruhi kinerja perkerasan khususnya pada ketahanan perkerasan, factor utama kerusakan perkerasan akibat cuaca adalah air dan suhu. Air yang tergenang akan merusak lapisan perkerasan, mulai dari bagian luar hingga yang terdalam. Ketahanan perkerasan akan semakin menurun akibat dari genangan air, bahkan perkerasan akan cepat dan mudah mengalami pengelupasan. Ditambah lagi dengan

meningkatnya pertumbuhan volume kendaraan yang tidak terkendali yang menyebabkan beban kendaraan yang berulang melintasi lapis perkerasan.

Inovasi pemilihan dan pencampuran material yang tepat guna adalah salah satu upaya untuk mempertahankan kondisi dan performansi pelayanan jalan, campuran tersebut harus memiliki kinerja struktural dan fungsional yang baik. Salah satu solusi yang sedang dikembangkan di dunia dalam mengatasi permasalahan perkerasan lentur akibat air adalah campuran aspal berpori. Campuran perkerasan tersebut memiliki kemampuan mengalirkan genangan air akibat hujan, dengan stabilitas dan ketahanan yang cukup baik. Aspal porus sedang dikembangkan sebagai salah satu teknologi perkerasan lentur yang dapat meminimalisir dampak buruk sarana transportasi khususnya yang disebabkan oleh air (genangan). Aspal porus merupakan desain campuran beraspal dengan presentase agregat kasar yang lebih banyak dibandingkan dengan kandungan agregat halus, sehingga menghasilkan rongga yang besar agar bisa mengalirkan air (Noris, 2017). Akan tetapi campuran dengan kandungan rongga atau pori dalam jumlah yang besar mengakibatkan nilai stabilitas yang rendah. Menurut penelitian yang dilakukan Djakfar dkk (2013) terkait kinerja campuran aspal porus, jika dibandingkan dengan struktur campuran aspal konvensional, dapat diketahui nilai stabilitas campuran aspal porus adalah 480 kg. Sedangkan persyaratan nilai stabilitas yang ditentukan oleh Bina Marga untuk campuran beraspal konvensional adalah 800 kg. Oleh karena itu, diperlukan variasi material yang dapat meningkatkan kinerja struktural aspal porus, misalnya dengan penggunaan bahan aditif atau pemilihan dan penggunaan bahan ikat dengan mutu dan kualitas tinggi, sehingga dapat menjawab permasalahan tersebut. Dalam penelitian ini digunakan variasi bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dan bahan ikat yang memiliki mutu lebih tinggi yaitu Starbit-E55. Penggunaan aspal Starbit-E55 diprediksi dapat meningkatkan performa struktural kinerja campuran aspal porus. Aspal Starbit E-55 merupakan aspal polimer komersial yang sudah diberikan bahan tambah, sehingga memiliki kualitas yang lebih baik dari aspal konvensional penetrasi 60/70.

Sesuai dengan uraian di atas, pada penelitian ini akan dibahas tentang perbandingan kinerja campuran aspal porus dan campuran AC-WC dengan variasi

bahan ikat aspal konvensional penetrasi 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55. Dengan penelitian ini diharapkan dapat diketahui pemilihan dan penggunaan material yang tepat guna, sehingga dapat ditemukan solusi untuk permasalahan perkerasan lentur yang terjadi di Indonesia.

## 1.2 Rumusan Masalah

Dalam penelitian ini dibuat suatu rumusan masalah yang digunakan sebagai pertanyaan penelitian (*research question*). Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall* pada bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?
2. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *IRS (Indeks or Retained Strength)* pada bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *IRS (Indeks or Retained Strength)* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?
3. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?
4. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?
5. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *Cantabro Loss* pada bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal

polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *Cantabro Loss* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?

6. Bagaimana perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *Stiffness Modulus* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, serta bagaimana perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *Stiffness Modulus* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus?
7. Bagaimana kekuatan campuran aspal porus dan campuran AC-WC dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55 apabila diterapkan pada ruas jalan?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus.
2. Mengetahui perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *IRS (Indeks or Retained Sterngth)* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *IRS (Indeks or Retained Sterngth)* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus.
3. Mengetahui perbedaan jenis campuran AC-WC dengan campuran aspal porus terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus.

4. Mengetahui perbedaan jenis campuran *AC-WC* dengan campuran aspal porus terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus.
5. Mengetahui perbedaan jenis campuran *AC-WC* dengan campuran aspal porus terhadap *Cantabro Loss* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *Cantabro Loss* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus.
6. Mengetahui perbedaan jenis campuran *AC-WC* dengan campuran aspal porus terhadap *Stiffness Modulus* pada bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55, dan mengetahui perbedaan jenis bahan ikat aspal penetrasi 60/70 dengan aspal polimer Starbit E-55 terhadap *Stiffness Modulus* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus.
7. Mengetahui kekuatan campuran aspal porus dan campuran *AC-WC* dengan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55 apabila diterapkan pada ruas jalan.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Memperluas pemahaman dan pengetahuan tentang kinerja karakteristik perkerasan lentur, dengan gradasi dan bahan ikat yang berbeda.
2. Meningkatkan pengetahuan penggunaan bahan ikat aspal polimer dan pengembangannya.
3. Meningkatkan dan mengembangkan kualitas teknologi campuran aspal porus.
4. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai perbandingan penggunaan aspal polimer terhadap kekuatan dan keawetan campuran aspal porus dan campuran *AC-WC*.

### 1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari tujuan awal yang ingin dicapai. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Campuran yang diteliti adalah campuran aspal porus dan campuran *AC-WC*.
2. Lapisan yang diteliti adalah lapisan permukaan (*Surface Course*).
3. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal pen 60/70 dan aspal Starbit E-55.
4. Material yang digunakan sebagai agregat kasar, agregat halus dan *filler* berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
5. Rendaman yang digunakan pada pengujian *Indeks Retained Strength* dan *Tensile Strength Ratio* adalah 24 jam.
6. Spesifikasi aspal porus sesuai standar *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* 2004.
7. Spesifikasi campuran *AC-WC* sesuai standar Bina Marga 2018.
8. Analisis mekanistik menggunakan program *KENPAVE*.
9. Data LHR yang digunakan adalah data sekunder tugas akhir tahun 2019.
10. Tidak memperhitungkan *overlay* dan redesain.

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Campuran AC-WC**

Campuran AC-WC merupakan campuran yang sangat umum digunakan pada perkerasan lentur di Indonesia. Campuran AC-WC didesain untuk melayani lalu lintas berat, oleh karena itu campuran AC-WC memiliki kestabilan dan ketahanan yang baik. Namun sering kali terjadi kerusakan akibat perubahan suhu dan repetisi beban gandar yang melintas. Banyak peneliti yang melakukan penelitian terhadap campuran AC-WC, sebagai upaya meningkatkan kinerja campuran AC-WC. Hadiwardoyo, dkk (2016) telah melakukan penelitian terhadap campuran AC-WC. Dalam penelitiannya dilakukan penambahan aditif berupa *crumb rubber powder (CRP)* dan *buton asphalt natural rubber (BNA-R)* pada campuran AC-WC. Berdasarkan penelitian yang dilakukan, campuran AC-WC memiliki kinerja yang lebih baik dalam stabilitas *Marshall* dan durabilitas terhadap rendaman dengan menggunakan bahan tambah berupa (*CRP*) dan (*BNA-R*).

Berbeda dengan penelitian yang dilakukan Hadiwardoyo (2016), Novrianto (2016) melakukan penelitian terhadap campuran AC-WC mengenai pengaruh penambahan limbah plastik sebagai bahan tambah pada beton aspal AC-WC dengan *filler gypsum*. Dari hasil pengujian diperoleh nilai *density*, stabilitas dan *Marshall Quotient (MQ)* memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010. Namun berdasarkan penelitian tersebut, penggunaan *LDPE* tidak terlalu mempengaruhi kinerja campuran AC-WC. Adapun penelitian lain mengenai inovasi terhadap campuran AC-WC dilakukan oleh Leng dkk (2014). Penelitian tersebut mempelajari tentang *Mechanical Property Characterization of Warm Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives*. Bahan aditif yang digunakan adalah *Evotherm 3G* dan *Rediset LQ-1106*. Berdasarkan hasil penelitian tersebut dapat diketahui dengan penggunaan bahan aditif tersebut dapat meningkatkan nilai *ITS*.

## 2.2 Campuran Aspal Porus

Campuran aspal porus adalah campuran perkerasan lentur yang didesain untuk mengatasi masalah genangan air pada lapis perkerasan. Campuran aspal porus didesain memiliki rongga yang lebih besar dari pada campuran lain pada umumnya. Hal tersebut bertujuan untuk mengalirkan air pada lapis perkerasan sehingga tidak terjadi genangan serta memiliki kekesatan permukaan yang lebih kasar dan dapat mengurangi kebisingan. Akan tetapi hal tersebut menyebabkan campuran aspal porus menjadi tidak padat, sehingga aspal porus cenderung kurang stabil dalam melayani lalu lintas berat. Menurut Djumari (2009) lapis permukaan jalan yang dapat meloloskan air ke dalam lapisan atas (*wearing coarse*) secara vertikal dan horizontal melalui pori-pori udara kapiler dengan lapisan perkerasannya sebagai sistem drainase. Aspal porus merupakan solusi yang efektif untuk meningkatkan keselamatan lalu lintas pada kondisi cuaca yang sangat buruk (hujan deras dan licin). Penelitian terdahulu yang dilakukan terhadap campuran aspal porus sangat banyak, dengan berbagai variasi seperti pada beberapa penelitian berikut.

Cheng dkk (2019) melakukan penelitian mengenai *Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions*. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Permeability, Marshall Test, Low-Temperature Crack Resistance, Rutting Test* dan *Cantabro Test*. Dari hasil penelitian dapat diketahui bahwa campuran aspal porus mudah mengalami retak dan disintegrasi pada suhu dingin. Oleh karena itu dilakukan penambahan aditif berupa *Crumb-Rubber-SBS* dan *Steel slag* sebagai agregat. Berdasarkan penelitian tersebut dapat disimpulkan penambahan aditif dapat meningkatkan ketahanan retak, mengurangi sensitivitas air, meningkatkan permeabilitas, dan meningkatkan modulus. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Shuky (2016) mengenai *Experimental Evaluation of Anti-Stripping Additives on Porous Asphalt Mixtures*. Penelitian dilakukan terhadap campuran aspal porus dengan membandingkan penggunaan aditif *anti-stripping* diatomit, campuran kapur dan semen. Pengujian yang dilakukan adalah *Scanning Electron Microscopy (SEM) Test* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX)*.

Berdasarkan penelitian tersebut campuran aspal porus menggunakan kapur menghasilkan permeabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap keausan dibandingkan dengan menggunakan semen dan diatomit. Namun penggunaan *anti-stripping* diatomit dapat meningkatkan modulus elastisitas.

### 2.3 Pengaruh Jenis Campuran dan Gradasi Terhadap Kinerja Perkerasan

Penelitian mengenai pengaruh gradasi terhadap kinerja perkerasan lentur telah dilakukan oleh Golalipour dkk. (2012). Penelitian tersebut mempelajari tentang pengaruh gradasi agregat terhadap kinerja campuran dengan gradasi *Hot Mix Asphalt*. Berdasarkan penelitiannya, setiap campuran dengan gradasi yang berbeda akan memperoleh kadar aspal optimum yang berbeda juga. Hasil penelitian yang dilakukan Golalipour menunjukkan bahwa gradasi yang menggunakan batas atas memiliki stabilitas yang lebih tinggi, dengan nilai *flow* yang lebih rendah sehingga perkerasan lebih stabil dan kaku. Sedangkan gradasi dengan batas bawah memiliki nilai *VITM* dan *VMA* yang lebih besar, sehingga mudah terjadi *permanent deformation*. Adapun penelitian lain mengenai pengaruh jenis campuran dan gradasi terhadap kinerja perkerasan lentur dilakukan oleh Khan dan Hussain (2019). Dalam penelitiannya, Khan dan Hussain (2019) menggunakan lima gradasi yang berbeda dengan variasi dua jenis bahan ikat yang berbeda. Kadar aspal optimum yang diperoleh berdasarkan pengujian *Marshall* bervariasi pada setiap gradasi dan bahan ikatnya. Dari hasil penelitiannya dapat diketahui kinerja dan karakteristik campuran setiap variasi pun beragam. Hal tersebut diperoleh berdasarkan hasil pengujian *TSR* dan kedalaman *rutting* dengan menggunakan *Hamburg Wheel Tracket Test*. Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa perkerasan dengan bahan ikat *NRL 40/50* bergradasi *NHA-A* merupakan campuran yang memiliki performa terbaik dalam mempertahankan kedalaman *rutting*. Perkerasan dengan bahan ikat *Parco 60/70* bergradasi *SP-1* memiliki nilai *TSR* tertinggi.

Adapun penelitian yang dilakukan oleh Hasan dkk (2016) terhadap campuran aspal porus dengan menggunakan gradasi berbeda dari empat negara. Gradasi yang digunakan adalah *AAPA* (2004), *Malaysia Puplic Works Department* (2008), *ASTM D 7064* (2013), dan *Singapore Land Transport Authority* (2010). Berdasarkan hasil

penelitian diperoleh nilai kadar aspal optimum secara berturut-turut yaitu, 5,25%, 5%, 4,75%, dan 5,25%. Campuran aspal porus dengan menggunakan gradasi AAPA (2004) memiliki koefisien permeabilitas tertinggi yaitu sebesar 174 m/hari. Dengan rongga udara horizontal sebesar 19,71% dan rongga udara vertikal sebesar 18,71%.

#### **2.4 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Kinerja Perkerasan**

Penelitian mengenai pengaruh bahan ikat terhadap kinerja perkerasan dilakukan oleh Fauziah dan Hafidz (2020) yaitu mengenai efektifitas penggunaan aspal modifikasi dengan bahan *anti stripping* pada campuran aspal porus. Dalam penelitiannya digunakan bahan tambah atau aditif berupa cairan *anti stripping Wetfix-be*. Penelitian dilakukan berdasarkan standar gradasi aspal porus spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* 2004. Hasil pengujian bahan aspal modifikasi dengan bahan tambah *anti stripping Wetfix-be* memiliki kekerasan yang lebih baik dibandingkan dengan aspal keras murni penetrasi 60/70, akan tetapi bahan ikat menjadi lebih peka terhadap temperatur. Dari penelitian tersebut diketahui bahwa efektifitas penambahan *anti stripping Wetfix-be* pada aspal penetrasi 60/70 adalah sebanyak 0,3% dari berat aspal. Berdasarkan hasil dari pengujian diperoleh peningkatan kinerja campuran. Peningkatan nilai stabilitas sebesar 16,12%, peningkatan nilai *ITS* sebesar 11,81%, peningkatan nilai *cantabro loss* sebesar 40,23% dan peningkatan koefisien peremabilitas. Dapat disimpulkan penambahan 0,3% *anti stripping Wetfix-be* terhadap bahan ikat dengan gradasi campuran aspal porus, dapat meningkatkan kinerja struktural dan fungsional campuran. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Nurcahya dkk. (2014), yaitu mengenai analisis kinerja campuran aspal porus menggunakan aspal pen 60/70 dan aspal modifikasi. Menurut penelitiannya, campuran aspal porus dengan menggunakan aspal modifikasi *elvaloy* akan mempengaruhi kepadatan campuran dan nilai stabilitas *Marshall*. Dari hasil pengujian dapat diketahui dengan penambahan kadar aspal modifikasi *elvaloy* 2,5% dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran, akan tetapi kepadatan sedikit mengalami penurunan. Studi lain mengenai pengaruh bahan ikat terhadap kinerja campuran dilakukan oleh Harmadhana (2016). Harmadhana melakukan penelitian dengan menggunakan

bahan tambah *crumb rubber* berupa ban karet bekas yang dicampurkan pada bahan ikat aspal pen 60/70. Berdasarkan hasil dari pengujian pada aspal yang ditambah dengan ban karet didapatkan nilai stabilitas tertinggi pada penambahan 5,5% *crumb rubber* terhadap berat bahan ikat.

Sementara penggunaan aspal Starbit E-55 telah diteliti oleh Pangraya (2015) yaitu mengenai perbandingan penggunaan aspal polimer Starbit E-55 dengan penggunaan aspal penetrasi 60/70 pada lapis perkerasan AC-WC. Campuran AC-WC didesain berdasarkan standar dan ketentuan spesifikasi umum Bina Marga 2010. Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui campuran AC-WC yang menggunakan aspal polimer Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas dan kekakuan yang lebih tinggi. Kemudian ketahanan terhadap rendaman hingga 14 hari campuran AC-WC menggunakan bahan ikat Starbit E-55 juga lebih baik yaitu sebesar 81,37% dibandingkan dengan menggunakan bahan ikat aspal pertamina penetrasi 60/70 yaitu sebesar 75,54%. Adapun penelitian lain dilakukan oleh Fauziah dan Hadi (2019). Penelitian tersebut menggunakan gradasi campuran superpave dengan standar SHRP A-407 (1994). Berdasarkan hasil uji, penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dapat meningkatkan nilai stabilitas *marshall* dan *durability*, nilai *ITS* sebesar 45%, dan nilai *cantabro loss* sebesar 22%. Berbeda dengan penelitian di atas, penelitian menggunakan aspal polimer starbit dengan nilai penetrasi lain dilakukan oleh Sentana dan Subarkah (2020), aspal polimer starbit yang digunakan adalah Starbit E-60. Penelitian tersebut mengenai perbandingan penggunaan agregat kasar batu zeolite dan agregat kasar Clereng dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan starbit E-60 pada campuran AC-BC. Penelitian ini menyimpulkan bahwa nilai Stabilitas, *Cantabro*, *Immersion*, dan *Indirect Tensile Strength* campuran berbahan ikat aspal Starbit E60 lebih baik dibanding dengan campuran berbahan ikat aspal Pen 60/70.

## 2.5 Durabilitas Campuran Aspal

Durabilitas perkerasan merupakan kemampuan perkerasan dalam mempertahankan fungsi dan bentuknya dari perubahan cuaca dan peningkatan beban kendaraan. Sifat durabilitas diperlukan untuk menahan keausan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca, air, dan perubahan temperatur atau keausan yang disebabkan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan aspal (*Asphalt Institute MS-22, 2001*). Durabilitas perkerasan lentur dipengaruhi oleh selimut aspal, kandungan rongga, kepadatan dan kekedapan campuran. Faktor yang mempengaruhi durabilitas campuran aspal sebagai berikut (Sukirman, 2003).

1. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik, tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin.
2. *Voids In Mix (VIM)* kecil, sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk kedalam campuran. Besarnya pori-pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam aspal beton, yang mengakibatkan semakin mudahnya selimut aspal beroksidasi dengan udara dan menjadi getas dan durabilitasnya menurun.
3. *Voids Mineral Aggregate (VMA)* besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

Adapun factor internal perkerasan yang mempengaruhi keawetan antara lain adalah gradasi, kelekatan antara agregat dan aspal, dan kandungan kadar aspal. Rendahnya ketahanan lapisan aspal merupakan salah satu penyebab utama kerusakan jalan, sehingga jalan tidak dapat memberikan pelayanan sesuai fungsinya.

## 2.6 Analisis Mekanistik dengan Program KENPAVE

Analisis mekanistik merupakan metode yang mengembangkan kaidah teoritis dan karakteristik material perkerasan, yang dihitung secara eksak terhadap respon struktur perkerasan dan beban sumbu kendaraan. Metode mekanistik dapat memprediksi dan memperkirakan jenis kerusakan, berdasarkan data lapangan dan

laboratorium. Perhitungan metode mekanistik pada umumnya menggunakan metode lapis banyak (*multilayer*). Konsep tersebut berasumsi bahwa setiap lapis perkerasan memiliki sifat homogen, isotropis, dan linier elastik yang berarti akan kembali ke bentuk aslinya ketika beban dihilangkan. Dalam permodelan lapis perkerasan jalan dan lapisan elastis ini diperlukan data input untuk mengetahui tegangan dan regangan pada struktur perkerasan dan respon terhadap beban parameter-parameter yang digunakan adalah sebagai berikut (Widodo, 2018).

1. Parameter setiap lapisan, antara lain adalah sebagai berikut.
  - a. Modulus elastisitas.
  - b. *Poisson ratio*.
2. Ketebalan setiap lapisan.
3. Kondisi beban.

Analisis mekanistik dapat dilakukan dengan menggunakan program *KENPAVE*. *KENPAVE* merupakan program yang dikembangkan oleh Dr. Yang Huang *Profesor Emeritus* dari *Civil Engineering University of Kentucky*. *KENPAVE* juga merupakan program analisis untuk perkerasan yang berdasarkan pada metode mekanistik.

## 2.7 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

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

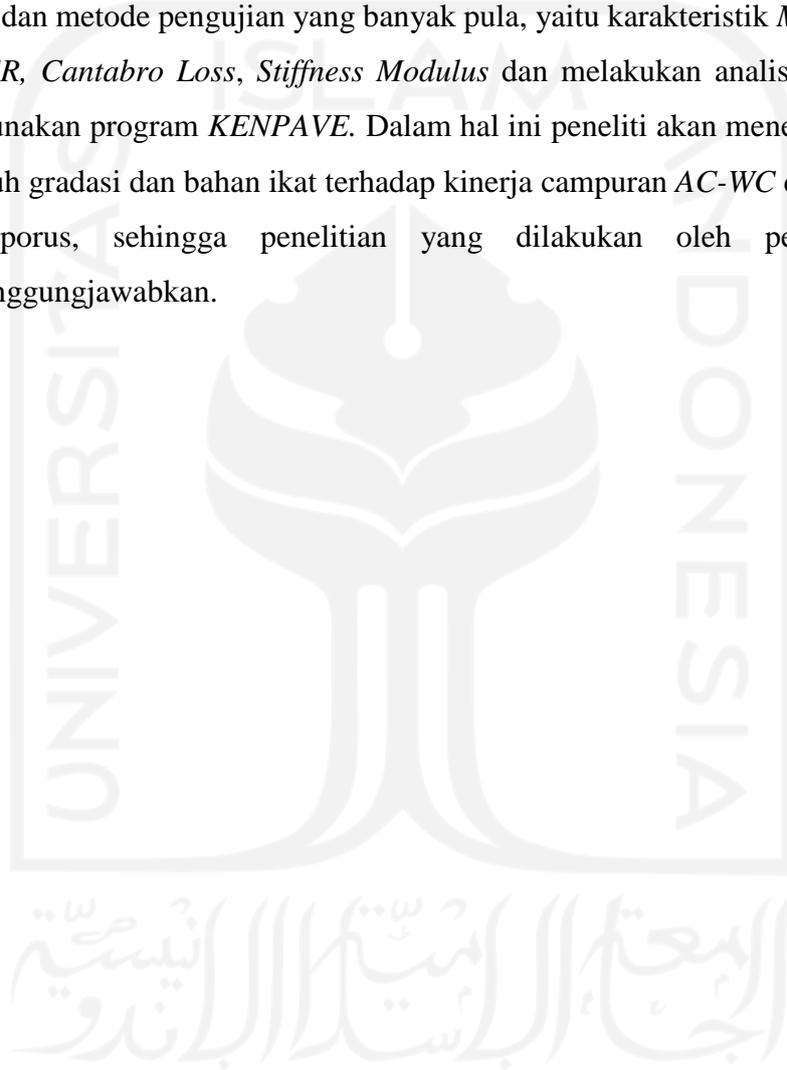
**Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Pengaruh Gradasi dan Bahan Ikat Terhadap Kinerja Campuran**

No	Aspek	Leng dkk (2014)	Pangaraya (2015)	Fauziah dan Hadi (2019)	Nurchaya dkk (2015)	Cheng dkk (2019)	Shuky (2016)	Golalipur dkk (2012)	Hasan N. A. dkk (2016)	Peneliti (2020)
1	Judul	<i>Mechanical Property Characterization of Warm Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives.</i>	<i>Laboratorium Study Of Asphalt Starbit E-55 Polymer Modified Application On Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)</i>	Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> antara yang menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau	Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer <i>Elvaloy</i>	<i>Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions</i>	<i>Experimental Evaluation of Anti-Stripping Additives on Porous Asphalt Mixtures</i>	<i>Effect of Aggregate Gradation on Rutting of Asphalt Pavements</i>	<i>Air Voids Characterisation And Permeability Of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries</i>	Studi Perbandingan Kinerja Karakteristik Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus dengan Variasi Bahan Ikat
2	Jenis Campuran	AC-WC	AC-WC	<i>Superpave</i>	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	<i>Hot Mix Asphalt</i>	Aspal Porus	AC-WC dan Aspal Porus
3	Bahan Ikat	<i>Modified Bitumen with Chemical Additive</i>	Starbit E-55	Starbit E-55	Aspal Pen 60/70	<i>Modified Bitumen dengan Steel Slag dan Crumb-Rubber</i>	<i>Modified Bitumen dengan diatomit dan campuran kapur semen.</i>	Aspal Pen 60/70	<i>Bitumen (PG 76)</i>	Aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55
4	Parameter Yang Diukur	<i>Modulus Resilen, Indirect Tension Strength (ITS) dan Wheel Tracking</i>	<i>Marshall, Indirect Tensile Strength, Immersion Retained Strength dan Tensile Strength Ratio</i>	<i>Marshall, ITS, IRS, Cantabro Loss</i>	<i>Marshall, Cantabro Loss, Asphalt Drain Down, Perendaman Marshall,</i>	<i>Permeability, Marshall Test, Low-Temperature Crack Resistance, Rutting Test dan Cantabro Test.</i>	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM) Test dan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX).</i>	<i>Marshall Test, dan Dynamic Creep Test</i>	<i>Permeability Test, dan Image analysis technique Using X-ray CT</i>	<i>Marshall Test, Cantabro Loss, IRS, ITS, TSR, dan Stiffness Modulus</i>

**Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Pengaruh Gradasi dan Bahan Ikat Terhadap Kinerja Campuran**

No	Aspek	Leng dkk (2014)	Pangaraya (2015)	Fauziah dan Hadi (2019)	Nurchahaya dkk (2015)	Cheng dkk (2019)	Shuky (2016)	Golalipur dkk (2012)	Hasan N. A. dkk (2016)	Peneliti (2020)
5	Hasil	Hasil penelitian menunjukkan penggunaan bahan aditif <i>Evotherm 3G</i> dan Rediset LQ-1106 (bahan kimia) dapat meningkatkan nilai <i>ITS</i>	Hasil penelitian menunjukkan campuran AC-WC menggunakan aspal polimer Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas, kekakuan yang lebih tinggi, dan lebih tahan terhaap rendaman.	Hasil uji menunjukkan penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dapat meningkatkan nilai stabilitas marshall dan durability, nilai <i>ITS</i> sebesar 45%, dan nilai cantabro loss sebesar 22%.	hasil pengujian dapat diketahui dengan penambahan kadar aspal modifikasi elvaloy 2,5% dapat meningkatkan nilai stabilitas campuran, akan tetapi kepadatan sedikit mengalami penurunan.	Hasil penelitian menunjukkan penambahan aditif dapat meningkatkan ketahanan retak, mengurangi sensitivitas air, meningkatkan permeabilitas, dan meningkatkan modulus	Hasil penelitian menunjukkan campuran aspal porus menggunakan kapur menghasilkan permeabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap keausan dibandingkan dengan menggunakan semen dan diatomit. Namun penggunaan anti-stripping diatomit dapat meningkatkan modulus elastisitas	Hasil penelitian menunjukkan gradasi yang menggunakan batas atas memiliki stabilitas yang lebih tinggi, dengan nilai flow yang lebih rendah sehingga perkerasan lebih stabil dan kaku. Sedangkan gradasi dengan batas bawah memiliki nilai VITM dan VMA yang lebih besar, sehingga mudah terjadi permanent deformation	Hasil penelitian menunjukkan kadar aspal optimum yang diperoleh dipengaruhi oleh gradasi yang digunakan, dan campuran aspal porus yang menggunakan gradasi <i>AAPA</i> (2004) memiliki koefisien permeabilitas tertinggi.	-

Pada penelitian ini memiliki beberapa kesamaan dengan penelitian sebelumnya yaitu menggunakan gradasi campuran AC-WC dan campuran Aspal Porus dengan varian bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55. Sedangkan perbedaan dengan penelitian terdahulu adalah bahan ikat dan juga agregat yang digunakan. Selain itu parameter yang diteliti pada penelitian ini memiliki variable uji lebih banyak dan metode pengujian yang banyak pula, yaitu karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro Loss*, *Stiffness Modulus* dan melakukan analisis mekanistik menggunakan program *KENPAVE*. Dalam hal ini peneliti akan meneliti mengenai pengaruh gradasi dan bahan ikat terhadap kinerja campuran AC-WC dan campuran aspal porus, sehingga penelitian yang dilakukan oleh peneliti dapat dipertanggungjawabkan.



## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan merupakan lapisan yang direncanakan untuk melayani beban kendaraan yang terletak di atas tanah dasar. Material penyusun perkerasan adalah agregat, aspal dan bahan tambah lainnya. Secara umum perkerasan jalan terbagi menjadi dua jenis yaitu perkerasan lentur dan perkerasan kaku. Perkerasan lentur adalah perkerasan yang didesain menggunakan aspal sebagai bahan pengikat dan cenderung bersifat lentur. Sedangkan perkerasan kaku merupakan perkerasan yang komposisinya menggunakan semen sebagai bahan ikatnya. Seiring dengan perkembangan teknologi, perkerasan jalan semakin memiliki banyak inovasi dan modifikasi. Jenis perkerasan jalan dengan aspal berfungsi memikul dan menyebarkan beban lalu lintas tanah dasar. Salah satu jenis perkerasan lentur yang seering diterapkan di Indonesia adalah jenis perkerasan AC-WC. Adapun perkerasan lain yang dapat diterapkan di Indonesia yang memiliki intensitas hujan tinggi adalah campuran bergradasi porus, guna mengurangi genanganair pada lapisan perkerasan.

#### **3.2 Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)**

Aspal beton (*Asphalt Concrete* atau AC) yang disebut juga dengan Laston (Lapisan Aspal Beton) merupakan lapis permukaan struktural atau lapis pondasi atas. Laston pada lapisan aus disebut dengan AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*) merupakan lapisan perkerasan lentur yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus. Tebal minum lapis aus perkerasan adalah 4 mm berdasarkan Bina Marga 2018.

Bina Marga 2018 juga memberikan persyaratan untuk sifat-sifat campuran laston dalam lapis perkerasan. Sifat campuran yang dimaksud dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut ini.

**Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)**

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal ( <i>refusal</i> )	Min.	2		

Sumber : Bina Marga 2018 revisi 3, divisi 6

### 3.3 Aspal Porus

Aspal porus merupakan campuran perkerasan lentur yang direncanakan memiliki rongga yang lebih besar dibandingkan jenis perkerasan yang lain. Campuran aspal porus mengandung proporsi agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat halus, sehingga bersifat porus. Aspal porus didesain agar lapisan perkerasan dapat melewati air saat terjadi genangan pada permukaan jalan. Aspal porus memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan, terutama ketika terjadi genangan akibat hujan. Aspal porus juga memiliki kekesatan yang lebih kasar dan dapat mengurangi kebisingan. Kandungan rongga pori dalam

jumlah yang besar diharapkan menghasilkan kondisi permukaan agak kasar, sehingga akan mempunyai tingkat kekesatan yang tinggi. Selain itu pori yang tinggi diharapkan dapat berfungsi sebagai saluran drainase di dalam campuran (Djumari, 2009).

Negara besar di dunia seperti Inggris, Belanda, Kanada, Spanyol, Belgia, Prancis, dan juga Italia telah meneliti bahkan menerapkan campuran aspal porus pada infrastruktur jalan raya di negaranya. Sedangkan negara di benua Asia, penggunaan campuran ini masih baru. Negara asia yang mengawali penerapan campuran aspal porus adalah Jepang dan Korea selatan pada tahun 1990. Akan tetapi, ada beberapa faktor yang menyebabkan jenis campuran ini lambat perkembangannya, misalnya kurang ekonomis, baik dalam pembangunannya maupun erawatannya (Hardiman, 2004).

Terdapat perbedaan antara campuran aspal porus dengan campuran aspal konvensional yang digunakan di Indonesia. Salah satu letak perbedaannya adalah pemilihan jenis gradasi agregat. Pada campuran aspal konvensional biasanya menggunakan gradasi agregat yaitu gradasi rapat (*dense graded*), sedangkan pada campuran aspal porus menggunakan gradasi agregat yaitu gradasi terbuka (*open graded*). Berikut ini adalah ketentuan atau spesifikasi dari campuran aspal porus *AAPA* dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut.

**Tabel 3.2 Ketentuan Campuran Aspal Porus**

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>Contabro Loss</i> (%)	Maks. 35
2	Uji Aliran Aspal Kebawah (%)	Maks. 0,3
3	Kadar Rongga di Dalam Campuran ( <i>VIM</i> %)	18 – 25
4	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
5	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 6
6	Kekakuan <i>Marshall</i> (kg/mm)	Maks. 400
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association* (2004)

### 3.4 Bahan Penyusun Campuran

Bahan penyusun campuran aspal di Indonesia mengacu pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Sedangkan metode dan spesifikasi untuk campuran aspal porus mengacu berdasarkan ketentuan pada *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*, 2004. Standar tersebut dimaksudkan sebagai acuan bagi perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan pada penelitian ini. Spesifikasi tersebut mencakup persyaratan bahan campuran AC-WC dan campuran aspal porus yang terdiri dari bahan ikat (aspal) dan gradasi agregat campuran dan sifat-sifat campuran.

#### 3.4.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2003).

##### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar secara umum yaitu batuan yang tertahan pada saringan no. 4 (4,75 mm) pada saat penyaringan menurut Bina Marga 2018 atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran merupakan penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca, dengan demikian membuat campuran lebih *durable* dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan. Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.3 di bawah ini.

**Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar**

Pengujian			Standar	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat		SNI 3407 : 2008	Maks. 12 %
	Magnesium sulfat			Maks. 18 %
Abrasi dengan Mesin Los Angles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417 : 2008	Maks. 6 %
		500 putaran		Maks. 30 %
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi	100 putaran		Maks. 8 %
		500 putaran		Maks. 40 %
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal			SNI 2439 : 2011	Min. 95%
Butiran Kasar Agregat Kasar	SMA	SNI 7619 : 2012	100/90 *)	
	Lainnya		95/90 **)	
Partikel Pipih dan Lonjong (**)	SMA	ASTM D-4791	Maks. 5 %	
	Lainnya		Maks. 10 %	
Material Lolos Saringan No. 200			SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga (2018)

Catatan :

(\*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dari 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

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

## 2. Agregat Halus

Agregat halus dapat berupa butir-butiran batu pecah, pasir alam atau campuran dari keduanya. Agregat halus adalah material yang lolos saringan no. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada saringan no. 200 (0,075 mm). Fungsi agregat halus adalah mendukung stabilitas, mengurangi deformasi permanen dari campuran

melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Sama seperti agregat kasar, agregat halus juga memiliki ketentuan agar memenuhi syarat sebagai material perkerasan jalan. Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.4 di bawah ini.

**Tabel 3.4 Spesifikasi Agregat Halus**

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material Lolos Saringan No. 200	SNI ASTM C117 : 2012	Maks. 10%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasat	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Kumpulan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

Sumber : Bina Marga (2018)

### 3. Gradasi

Gradasi merupakan distribusi dari variasi butir berdasarkan ukurannya. Gradasi agregat berpengaruh terhadap besarnya rongga dalam suatu campuran dan dapat menentukan *workability* serta stabilitas campuran. Pada penelitian ini digunakan jenis gradasi rapat (*dense graded*) bagi campuran AC-WC dengan berpedoman pada persyaratan Bina Marga 2018 dan gradasi terbuka (*open graded*) bagi campuran aspal porus dengan berpedoman pada persyaratan menurut *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004.

#### 3.4.2 Aspal

Menurut Sukirman (2003) aspal merupakan material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utamanya adalah bitumen. Aspal didefinisikan sebagai suatu cairan yang lekat atau berbentuk padat, yang terdiri dari *hydrocarbons* atau turunannya, terlarut dalam *trichloro-ethylene* dan bersifat tidak mudah menguap serta lunak secara bertahap jika dipanaskan. Aspal berwarna hitam atau kecoklatan, memiliki sifat kedap air dan *adhesive* (*British Standart, 1989*). Aspal berasal dari alam yang dioleh melalui pengolahan minyak bumi. Adapun aspal yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti dalam Tabel 3.5 berikut.

**Tabel 3.5 Persyaratan Aspal Keras**

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1.	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	SNI – 2456 : 2011	60 - 70
2.	Viskositas Kinetis 135° C	ASTM D2170-10	≥ 300
3.	Titik Lembek (°C)	SNI – 2456 : 2011	≥ 48
4.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2456 : 2011	≥ 100
5.	Titik Nyala (°C)	SNI – 2456 : 2011	≥ 232
6.	Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
7.	Berat Jenis	SNI – 2456 : 2011	≥ 1,0
8.	Penetrasi 25° C (% semula)	SNI – 2456 : 2011	≥ 54
9.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2456 : 2011	≥ 50

Sumber: Bina Marga (2018)

### 3.5 Pengujian *Marshall*

Uji *Marshall* dimaksudkan guna mengetahui kinerja dari campuran aspal porous. Adapun beberapa parameter *Marshall Test* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler With Asphaly*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), dan kepadatan (*density*). Berikut ini merupakan penjelasan pengujian karakteristik *Marshall*.

#### 3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan menopang beban tanpa terjadinya *deformasi permanent*. Nilai stabilitas yang diperoleh dengan cara dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

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

Keterangan:

- q = Stabilitas (kg)
- p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
- s = Koreksi tebal benda uji
- 0,4536 = Konversi satuan dari *lb* ke kg

### 3.5.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi akibat pembebanan yang semakin besar. Perkerasan yang memiliki nilai *flow* yang rendah cenderung lebih kaku dan getas. Sedangkan perkerasan yang memiliki nilai *flow* tinggi cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk apabila dibebani. Angka *flow* didapatkan dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

### 3.5.3 Marshall Question (*MQ*)

*Marshall Question* merupakan ukuran kekakuan paa sebuah perkerasan berdasarkan perbandingan nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan mempengaruhi fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* maka campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.2)$$

Keterangan:

*MQ* = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

q = Nilai stabilitas (kg)

r = Nilai *flow* (mm)

### 3.5.4 Pengujian *Void in the Total Mix (VIM)*

*Void in the Total Mix (VIM)* adalah presentase rongga udara yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* yang tinggi menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran. Hal tersebut dapat mengakibatkan campuran mudah dilalui air dan udara yang menyebabkan perkerasan mudah mengalami oksidasi. Sedangkan nilai *VIM* yang rendah menunjukkan perkerasan sangat rapat dan cenderung mudah mengalami *bleeding*. Nilai *VIM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4 sebagai berikut.

$$n = 100 - \left( 100 - \frac{g}{h} \right) \quad (3.3)$$

$$h = 100 - \left( \frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}} \right) \quad (3.4)$$

Keterangan:

n = Nilai *VIM* (%)

g = Berat isi sampel (gr/cc)

h = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

### 3.5.5 Pengujian *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

*VMA* merupakan presentase rongga udara yang ada di antara butir-butir agregat dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal terhadap volume campuran agregat aspal. Adapun nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan dari Persamaan 3.5 dan 3.6 berikut ini.

$$l = 100 - j \quad (3.5)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.6)$$

Keterangan:

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

*b* = presentase aspal terhadap campuran (%), dan

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

### 3.5.6 *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

*VFWA* merupakan presentase rongga terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Semakin besar nilai *VFWA* pada suatu campuran maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga mengakibatkan campuran menjadi kedap air, sedangkan jika nilai *VFWA* ada campuran rendah maka kedap terhadap air dan udara juga rendah. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.7 sampai 3.11 berikut ini.

Persentase aspal terhadap campuran

$$h = \frac{a}{100+a} \times 100 \quad (3.7)$$

Keterangan:

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

Persentase aspal terhadap agregat

$$m = 100 \times \frac{i}{l} \quad (3.8)$$

$$i = \frac{b \times g}{BJ \text{ Aspal}} \quad (3.9)$$

$$l = 100 - j \quad (3.10)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.11)$$

Keterangan:

m = VFWA (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.

### 3.5.7 Pengujian Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik. Adapun nilai *density* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.12 dan 3.13 berikut ini.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.12)$$

$$f = d - e \quad (3.13)$$

Keterangan:

g = Nilai *density* (gr/cc),

c = Berat benda uji sebelum direndam (gr),

d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr),

e = Berat dalam air (gr), dan

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

### 3.6 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *Cantabro Loss* dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Nilai karakteristik *Cantabro Test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 dengan mengacu pada ASTM C-131 seperti berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.14)$$

Keterangan:

$L$	= Persentase kehilangan berat (%)
$M_o$	= Berat sebelum diabrasi (gr)
$M_i$	= Berat setelah diabrasi (gr)

### 3.7 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

*AFD* bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Nilai *AFD* dihitung berdasarkan Persamaan 3.15 mengacu pada AASHTO T 305 sebagai berikut.

$$AFD = \left( \frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \% \quad (3.15)$$

Keterangan:

$AFD$	= nilai <i>asphalt flow down</i> (%)
$m_1$	= Berat cetakan nampan (gr)
$m_2$	= Berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr)
$m_3$	= Berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr)

### 3.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO campuran *AC-WC* diperoleh berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, berdasarkan spesifikasi dan metode yang ditentukan Bina Marga 2018. Sedangkan KAO campuran aspal porus berdasarkan spesifikasi dan metode *AAPA (2004)*. Dalam metodenya, digunakan tiga parameter yaitu *VIM* (kadar rongga), *Cantabro Loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir) dan *Asphalt Flow Down*

(aliran aspal ke bawah). Nilai spesifikasi penentuan KAO aspal porus dengan metode *AAPA* disajikan pada Tabel 3.6 berikut. Sedangkan spesifikasi penentuan KAO AC-WC dengan standar dan metode Bina Marga dapat dilihat pada Tabel 3.7.

**Tabel 3.6 Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Aspal Porus**

No	Spesifikasi	Syarat
1	Kadar Rongga Udara ( <i>VIM</i> %)	18 – 25
2	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	< 35
3	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	< 0,3

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association (2004)*

**Tabel 3.7 Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Lapis Aspal Beton**

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Lapis Pondasi
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam Agregat ( <i>VMA</i> ) (%)	Min.	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6

Sumber: Bina Marga (2018)

### 3.9 Tahanan Tarik dan Ketahanan Campuran Setelah Perendaman

Adapun beberapa pengujian durabilitas aspal pada penelitian ini adalah *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*.

### 3.9.1 *Immersion Test (IRS)*

Pengujian perendaman *Marshall* dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan atau keawetan aspal terhadap pengaruh kerusakan oleh air, suhu dan cuaca. Di laboratorium disimulasikan dengan merendam selama benda uji 0,5 jam dan 24 jam dengan suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ . Hasil Perbandingan rendaman selama 0,5 jam (perendaman standar) dengan 24 jam (stabilitas rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut stabilitas *Marshall Sisa/Index of retained strength (IRS)*.

Kehilangan stabilitas akibat perendaman menggambarkan tingkat kerusakan oleh pengaruh air. Indeks kekuatan sisa sebesar 90 % merupakan nilai minimum yang disyaratkan Bina marga, karena pada nilai ini campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan. *Index of Retained Strength (IRS)* dihitung menggunakan Persamaan 3.16 berdasarkan RSNI M-01-2003 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.16)$$

Keterangan:

$S_1$  = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam

$S_2$  = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

### 3.9.2 *Indirect Tensile Strength (ITS)*

*Indirect Tensile Strength* merupakan pengujian kemampuan aspal beton untuk menahan beban berupa tarik. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang berbentuk silinder. Pembebanan ini sejajar dengan diameter vertikal dari benda uji sampai titik batas kerusakan yang diindikasikan dengan terjadinya retak pada arah vertikal benda uji. Hasil keretakan benda uji, terbelah umumnya terjadi sepanjang bidang diameter. Kerusakan ini menandai beban maksimum yang dapat ditahan campuran yang mengindikasikan kuat tarik dari campuran. Dari pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami *failure*, dapat diperoleh nilai *ITS* dengan menggunakan Persamaan 3.17 berikut.

$$\text{ITS} = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.17)$$

Keterangan:

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

- $P_{maks}$  = Beban puncak (kg)  
 $t$  = Tinggi sampel (cm)  
 $d$  = Diameter benda uji (cm)

### 3.9.3 Tensile Strength Ratio (TSR)

Berpedoman pada SNI 6753 : 2015, metode pengujian *TSR* adalah dengan merendam benda uji selama 24 jam dengan suhu  $\pm 60^{\circ}\text{C}$ . Hasil Perbandingan rendaman selama 30 menit (*ITS* standar) dengan 24 jam (*ITS* rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut *Tensile Strength Ratio (TSR)*. *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai *TSR* harus lebih besar dari 80%. Nilai *TSR* didapat melalui Persamaan 3.18 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100 \% \quad (3.18)$$

Keterangan:

- $TSR$  = *Tensile Strength Ratio* ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
 $ITS_o$  = Kekuatan tarik tidak langsung awal ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )  
 $ITS_n$  = Kekuatan tarik tidak langsung awal ( $\text{kg}/\text{cm}^2$ )

### 3.10 Stiffness Modulus

*Stiffness* merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan renggang pada tegangan tinggi dengan tidak diikuti regangan yang besar atau Kemampuan mempertahankan terhadap deformasi. Material dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi berdeformasi lebih kecil terhadap beban jika dibandingkan dengan material dengan modulus elastisitas lebih rendah. Dalam campuran perkerasan terdapat dua kekakuan, yaitu *Stiffness modulus of bitumen* dan *stiffness modulus of mixture*. *Stiffness modulus of bitumen* adalah sifat kekakuan yang dimiliki oleh bitumen atau bahan ikat yang dipengaruhi beberapa faktor, yaitu lama pembebanan oleh roda kendaraan, temperatur permukaan perkerasan, temperatur pada *softening point*, dan *penetration index*. *Stiffness modulus of mixture* merupakan kekakuan campuran perkerasan yang mampu menopang beban roda kendaraan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu *Sbit*, konsentrasi volume agregat padat,

konsentrasi volume bitumen, dan konsentrasi rongga dalam campuran agregat dan bitumen.

Adapun cara menentukan *Stiffness modulus of bitumen* dengan menggunakan persamaan *Ullidtz* sebagai berikut.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-P_{lr}} \times (S_{Pr} - T)^5 \quad (3.19)$$

Rumus ini berlaku apabila:

$$S_{Pr} - T = 20^{\circ}\text{C} - 60^{\circ}\text{C}$$

$$S_{Pr} = 98,4 - 26,35 \times \log Pr \quad (3.20)$$

$$t = 0,01 \text{ detik s/d} 0,1 \text{ detik}$$

$$P_{lr} = -1 \text{ s/d} +1$$

$$\begin{aligned} P_{lr} &= \text{Recoverde penetration index asphalt} \\ &= \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times S_{Pr}}{50 \log Pr - S_{Pr} - 120,4} \end{aligned} \quad (3.21)$$

Keterangan:

$S_{Pr}$  = Recovered Spftening Point of Asphalt

$T$  = Temperatur aspal

$Pr$  = Recovered Penetration pada saat suhu  $25^{\circ}\text{C}$   
 $= 0,65 \times P_i$

$P_i$  = Penetrasi Awal

$t$  = Lama pembebanan

Setelah *modulus stiffness of bitumen* dihitung, kemudian dilakukan perhitungan nilai *modulus stiffness of mixture* dengan menggunakan persamaan *Nottingham* (1984) sebagai berikut.

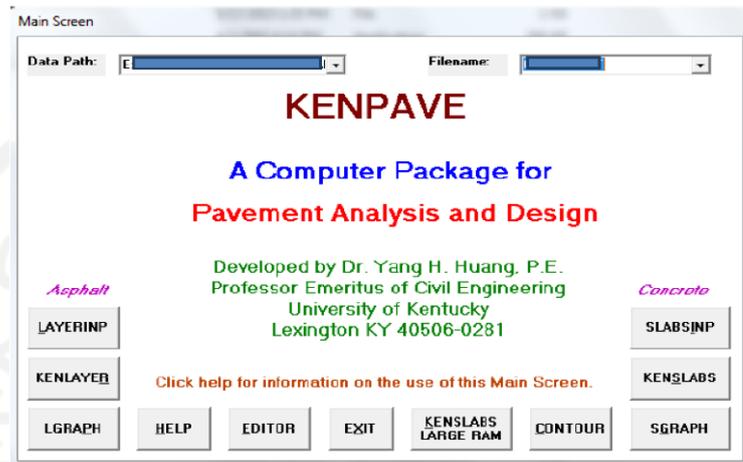
$$S_{mix} = S_{bit} \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)}\right)^5 \quad (3.22)$$

$$n = 0,83 \times \log\left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}}\right) \quad (3.23)$$

### 3.11 Program KENPAVE

Penelitian ini menggunakan program *KENPAVE* bagian *KENLAYER* yaitu program analisis yang menghitung sistem banyak lapis (*multi layers*) pada

perkerasan lentur. Program ini juga dapat digunakan untuk menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan akibat beban tertentu. Di bawah ini merupakan tampilan layar pada program *KENPAVE* dapat dilihat pada Gambar 3.1.



**Gambar 3.1 Tampilan Program *KENPAVE***

### 3.11.1 Program *KENLAYER*

Program komputer *KENLAYER* diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur. Penggunaan *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada tiap lapis yang berbeda, seperti linier, non linier atau viskoelastis, dan juga empat jenis sumbu roda yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu tripel. Penjelasan dari menu–menu yang ada di dalam *LAYERINP* adalah sebagai berikut

#### 1. *File*

Menu ini untuk *file* yang akan diinput. *New* untuk *file* baru dan *Old* untuk *file* yang sudah ada.

#### 2. *General*

Menu ini memuat informasi umum mengenai perkerasan yang akan dianalisis. Dalam menu *general* terdapat menu yang harus diinput adalah sebagai berikut.

a. *Titel* : Judul dari analisis

b. *MATL* : Tipe dari material. (1) jika seluruh lapis merupakan linier elastis, (2) jika lapisan merupakan non linear elastis, (3) jika lapisan merupakan viskoelastis, (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan diatas.

- c. NDAMA : Analisis kerusakan (0) jika tidak ada kerusakan analisis (1) terdapat kerusakan analisis, ada hasil *print out* (2) terdapat kerusakan analisis, ada hasil *print out* lebih detail.
- d. DEL : Akurasi hasil. Standar akurasi 0,001.
- e. NL : Jumlah layer/lapis, maksimum 19 lapisan
- f. NZ : Letak koordinat arah Z yang akan dianalisa. Jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0 karena program akan menganalisa dikoordinat yang mengalami analisa kerusakan
- g. NSTD : (1) untuk *vertical displacement*, (5) untuk *vertical displacement* dan nilai tegangan (9) untuk *vertical displacement*, nilai tegangan dan nilai regangan.
- h. NBOND : (1) jika antar semua lapis saling berhubungan/terkait (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- i. NUNIT : Satuan yang di gunakan (0) satuan *English*, (1) satuan SI. Informasi tentang satuan *English* dan SI di sajikan pada Tabel 3.8 sebagai berikut.

**Tabel 3.8 Satuan English dan SI**

Satuan	Satuan <i>English</i>	Satuan SI
Panjang	Inch	Cm
Tekanan	Psi	KPa
Modulus	Psi	KPa

Sumber : Wikipedia

#### 4. Zcoord

Jumlah poin yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu *general*. ZC adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z dimana jarak tersebut yang akan dianalisa oleh program.

#### 5. Layer

TH adalah tebal tiap layer/lapis dan PR adalah *poisson's ratio* tiap layer.

#### 6. Interface

Menu *interface* ini berkaitan dengan NBOND yang ada dalam menu *general*. Jika NBOND = 1, maka menu *interface* akan *default*. Jika NBOND = 2, maka menu *interface* akan keluar.

#### 7. *Moduli*

Jumlah periode dalam menu ini sama dengan jumlah NPY dalam menu *general*. Maksimum periode dalam menu ini adalah 12. E adalah modulus elastisitas tiap layer.

#### 8. *Load*

Jumlah unit yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NLG dalam menu *general*. Untuk kolom *load* (0) untuk sumbu tunggal pada tunggal tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda (2) untuk sumbu tandem (3) untuk sumbu triple. Kolom CR adalah radius kontak pembebanan. Kolom CP adalah nilai beban. Kolom YW dan XW merupakan jarak antar roda arah y dan arah x. Jika kolom *load* = 0, maka kolom YW dan XW = 0. Kolom NR dan NPT merupakan titik koordinat tahanan-regangan yang ingin ditinjau.

Parameter lain seperti *Nonlinier*, *Viscoelastic*, *Damage*, *Mohr-Coulumb* akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai dengan input nilai yang diasumsikan sebelum data ini.

#### 3.11.2 Analisis Kerusakan

Analisis kerusakan perkerasan jalan yang akan dibahas adalah *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Kerusakan perkerasan disebabkan oleh beban kendaraan. Pada analisis perhitungan dengan metode mekanistik hasil yang akan diperoleh berupa nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur. Nilai tegangan dan regangan tersebut digunakan untuk memprediksi kerusakan pada perkerasan jalan lentur.

##### 1. *Fatigue cracking*

Kerusakan retak lelah meliputi bentuk perkembangan dari retak dibawah beban berulang dan kegagalan ini ditemukan pada saat permukaan perkerasan tertutup oleh retakan dengan presentase yang tinggi. Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking*, walaupun tegangan yang terjadi masih dibawah batas

ultimatenya. Untuk material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan beban kendaraan yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas yang berbeda-beda dan bergantung pada jenis kendaraan dan terjadi secara acak. Menurut *The Asphalt Institute* (1982), retak lelah perkerasan lentur untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan dengan Persamaan 3.21 adalah sebagai berikut.

$$N_f = 0,0796 \times \varepsilon_t^{-3,921} \times E^{-0,854} \quad (3.24)$$

Keterangan:

$N_f$  = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue Cracking (ESAL)*.

$\varepsilon_t$  = *Tensile strain* di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan (cm).

$E$  = Modulus elastisitas pada lapisan permukaan atau lapisan *HMA* (KPa).

## 2. *Rutting*

*Rutting* atau retak alur pada permukaan perkerasan merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapis beraspal, lapis pondasi, dan lapis tanah dasar. Kriteria retak alur merupakan kriteria kedua yang digunakan dalam metode analitis mekanistik, untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Nilai *rutting* maksimum harus dibatasi agar tidak membahayakan pengendara saat melalui lokasi *rutting* tersebut, terutama pada kecepatan tinggi. Deformasi permanen dapat diketahui setiap lapisan dari struktur, membuat retak alur lebih sulit untuk diprediksi dibandingkan retak lelah. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Pada umumnya dinyatakan dengan istilah regangan vertikal yang berada di atas dari lapisan tanah dasar. Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah berdasarkan Persamaan 3.22 adalah sebagai berikut.

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} \times \varepsilon_c^{-4,47} \quad (3.25)$$

Keterangan:

Nr = Jumlah nilai repetisi beban yangizinkan untuk mengontrol *rutting* (ESAL).

$\epsilon_c$  = Regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar (cm).

### 3. *Permanent deformation*

Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah beban repetisi perkerasan lentur pada kerusakan *permanent deformation* berdasarkan Persamaan 3.23 adalah sebagai berikut.

$$N_d = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (3.26)$$

Keterangan:

Nd = Jumlah nilai repetisi beban yangizinkan untuk mengontrol *deformasi* (ESAL).

$\epsilon_c$  = Regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar (cm)

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Metode Penelitian**

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Zulnaidi (2007) menyatakan bahwa metode eksperimen adalah prosedur penelitian yang dilakukan untuk mengungkap hubungan sebab akibat dari dua variabel atau lebih. Metode yang dilakukan adalah dengan membuat sampel benda uji dengan jumlah tertentu dan variabel tertentu yang kemudian diuji untuk mendapatkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah untuk mengetahui perbandingan kinerja dari setiap benda uji.

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

Pengambilan data dalam penelitian dapat menggunakan berbagai cara, tergantung dari jenis data yang diperlukan. Jenis data yang dimaksud adalah data primer dan data sekunder. Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data primer. Data primer adalah data yang diperoleh dari suatu pengujian langsung di lokasi penelitian. Adapun langkah kerja yang dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan pemeriksaan material.
2. Mencari nilai kadar aspal optimum.
3. Melakukan pengujian *Marshall Test*.
4. Melakukan pengujian *Immersion Test*.
5. Melakukan pengujian *Indirect Tensile Strength Test*.
6. Melakukan pengujian *Cantabro*.
7. Melakukan pengujian *Tensile Strenght Ratio*.
8. Melakukan analisis *Stiffness Modulus*
9. Melakukan analisis mekanistik menggunakan program *KENPAVE*.

#### **4.3 Tahapan Penelitian**

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII),

Yogyakarta. Dalam penelitian ini bahan-bahan yang digunakan terdiri dari agregat halus, agregat kasar, dan aspal. Bahan tersebut diuji terlebih dahulu sebelum digunakan untuk pembuatan campuran aspal. Standar spesifikasi penelitian yang digunakan mengacu pada *AASHTO*, *ASTM*, Standar Nasional Indonesia (SNI) dan spesifikasi Bina Marga.

Urutan penelitian yang dilakukan di laboratorium terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut.

1. Pengujian sifat material bahan perkerasan.
2. Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO) kedua campuran dengan varian bahan ikat.
3. Pembuatan sampel campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus untuk pengujian *Marshall*, *Indirect tensile Strength*, *Index of retained strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Cantabro Loss*.
4. Melakukan analisis, pembahasan, dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian.

#### 4.3.1 Pengujian Bahan

##### 1. Pengujian Agregat

Agregat merupakan bahan penyusun utama dari lapis perkerasan jalan. Bahan penyusun lapis perkerasan jalan harus baik kualitasnya, sehingga pengujian terhadap material penyusun lapis perkerasan jalan harus dilakukan untuk mengetahui kualitas dari material yang akan dipakai. Pengujian Yang akan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus. (SNI 1969: 2008 dan SNI 1970:2008)  
Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis semu, berat jenis jenuh permukaan serta angka penyerapan.
- b. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (SNI 03-2349-1991)  
Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan angka berapa persen besarnya kelekatan agregat terhadap aspal.
- c. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles* (SNI-2417: 2008)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan.

d. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI 03-4428-1997)

Pengujian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai perbandingan pembacaan skala pasir dan pembacaan skala lumpur pada alat uji setara pasir yang dinyatakan dalam persen.

2. Pengujian Aspal

Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal Starbit E-55 dan aspal Pertamina pen 60/70. Sebelum digunakan untuk penelitian, aspal ini di uji terlebih dahulu untuk mengetahui apakah aspal tersebut memenuhi spesifikasi yang disyaratkan atau tidak. Berikut ini adalah pengujian yang akan dilakukan.

a. Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat aspal dan berat air pada volume yang sama dan suhu tertentu, berat jenis aspal nantinya berguna dalam *Marshall Test* untuk menentukan nilai *VITM*, *VFA* dan juga mempengaruhi nilai stabilitas.

b. Pengujian Penetrasi (SNI 06-2456-1991)

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan tingkat kekerasan bitumen, apakah keras atau lembek.

c. Pengujian Daktilitas (SNI 06-2432-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi dari aspal dan mendapatkan angka kelenturan yang didapat dari jarak terpanjang dari dua cetakan bitumen yang ditarik berlawanan arah. Uji ini dilakukan pada suhu 25 derajat celcius dan dengan kecepatan penarikan 50mm/menit.

d. Pengujian Titik Lembek Aspal (SNI 06-2434-1991)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui besaran titik lembek aspal yang berkisar antara 30 derajat sampai 200 derajat.

e. Pengujian Kelarutan Aspal (SNI-06-2438-1991)

Pengujian ini untuk mengetahui berapa besar kelarutan aspal pada larutan TCE.

f. Pengujian Titik Nyala dan Bakar (SNI 06-2433-1991)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui suhu dimana aspal terlihat menyala secara singkat (titik nyala) dan aspal menyala sekitar 5 detik (titik bakar).

#### 4.3.2 Persiapan Alat

Semua peralatan yang digunakan untuk penelitian ini tersedia di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Peralatan yang digunakan meliputi.

1. Seperangkat alat uji pengujian fisik agregat, meliputi mesin *Los Angeles*, saringan standar, dan tabung *Sand Equivalent*.
2. Alat uji *Marshall* yaitu seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall*. Alat uji tersebut terdiri dari cetakan benda uji *mold*, mesin tekan lengkap dengan kepala penekan berbentuk lengkung (*Breaking Head*), cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 *Pound*) dengan ketelitian 12,5 kg (25 *Pound*), dilengkapi arloji tekan ketelitian 0,0025 cm (0,0001"), Arloji kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01"). Selain itu dilengkapi juga dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 *Pound* (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), dan bak perendam.
3. Alat uji *Immersion Test* adalah seperangkat alat uji *Immersion Test*. Alat ini terdiri dari alat tekan, meliputi *proving Ring* berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg, arloji pengukuran stabilitas, arloji pengukuran kelelahan (*Flow*) dengan ketelitian 0,25 mm. Alat tersebut juga dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 *Pound* (4,536 kg) dan tinggi jatuh 10 cm, spatula, bak perendaman (*water bath*), dan oven.
4. Pengujian *Indirect Tensile Strength Test* adalah seperangkat alat uji *Tensile Strength Test*. Alat uji *Indirect Tensile Strength* terdiri dari alat tekan (*strip loading*) selebar 0,5 inch, arloji pengukuran stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*Flow*) dengan ketelitian 0,25 mm. Alat uji tersebut dilengkapi dengan alat penunjang seperti kompor pemanas, penumbuk (*compactor*)

dengan berat 10 Pound (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, dan oven.

#### 4.3.3 Perencanaan Campuran

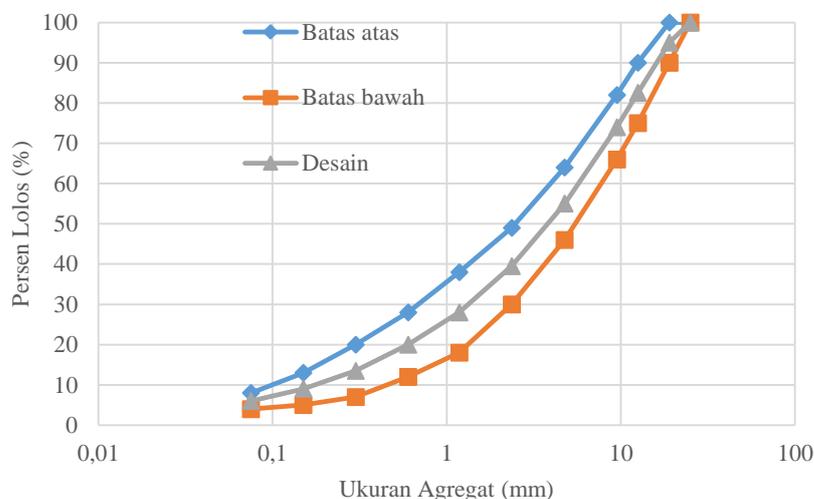
Perencanaan campuran dalam penelitian ini berpedoman pada Bina Marga 2018 untuk campuran AC-WC dan AAPA (2004) untuk campuran aspal porus. Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal yang telah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui sifat fisik material apakah sudah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Jika pengujian agregat dan aspal selesai, selanjutnya dilakukan penyaringan agregat dengan gradasi yang sudah direncanakan. Gradasi rencana untuk campuran AC-WC dan Campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.1 Gradasi Rencana Campuran AC-WC**

Ukuran saringan			Spesifikasi	
			Min	Max
1 ½"	37,5	mm	-	-
1"	25	mm	100	100
¾"	19	mm	90	100
½"	12,5	mm	75	90
⅜"	9,5	mm	66	82
No. 4	4,75	mm	46	64
No. 8	2,36	mm	30	49
No. 16	1,18	mm	18	38
No. 30	0,6	mm	12	28
No. 50	0,3	mm	7	20
No. 100	0,15	mm	5	13
No. 200	0,08	mm	4	8
Pan			0	0

Sumber: Bina Marga (2018)

Berikut ini merupakan grafik gradasi rencana yang digunakan pada campuran AC-WC dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini.



**Gambar 4.1 Grafik Gradasi Rencana Campuran AC-WC**

Dalam mencari kadar aspal optimum rencana campuran *AC-WC*, dapat diperhitungkan dengan Persamaan 4.1 berikut ini.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \quad (4.1)$$

Keterangan:

$P_b$  = Kadar aspal perkiraan,

$CA$  = Agregat kasar tertahan saringan No. 4,

$FA$  = Agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200, dan,

$Filler$  = Agregat halus lolos saringan No. 200.

Konstanta= 1 sampai 2

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (60,5) + 0,045 (33,5) + 0,18 (6) + 1 \\ &= 5,705 \\ &= 6\% \end{aligned}$$

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh kadar aspal optimum perkiraan sebesar 6%. Sehingga untuk menentukan KAO campuran *AC-WC* digunakan rentang kadar aspal 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7% terhadap berat total campuran.

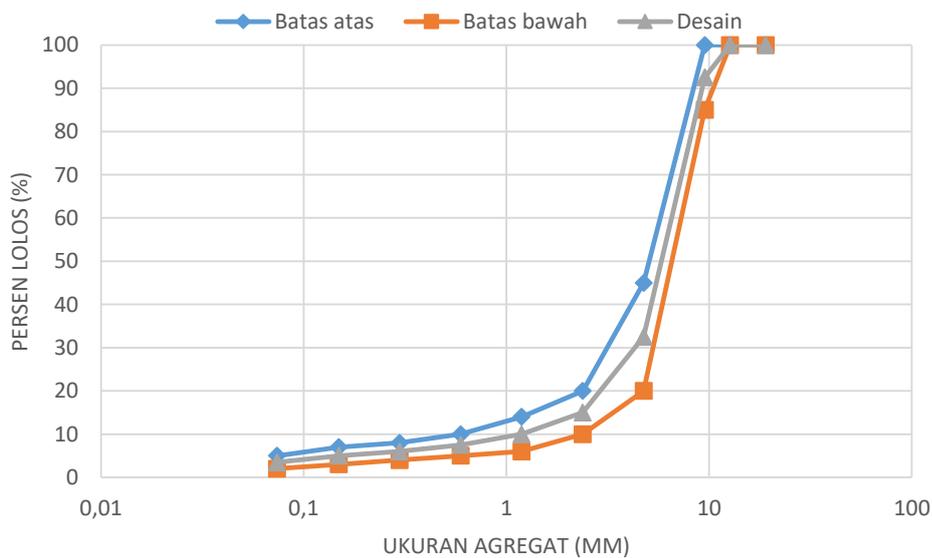
Adapun tabel gradasi rencana campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 4.2 di bawah ini.

**Tabel 4.2 Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus**

Ukuran Ayakan (mm)	Ag. Maks. 10 mm		
	Spesifikasi % Berat yang Lolos (AAPA 2004)	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
19,00	100	100	0,00
12,70	100	100	0,00
9,53	85 – 100	92,5	7,50
4,76	20 – 45	32,5	60,00
2,38	10 – 20	15	17,50
1,19	6 – 14	10	5,00
0,595	5 – 10	7,5	2,50
0,297	4 – 8	6	1,50
0,149	3 – 7	5	1,00
0,074	2 – 5	3,5	1,50
Pan			3,5
Total			100

Sumber: AAPA (2004)

Berikut ini merupakan grafik gradasi rencana yang digunakan ke dalam campuran, dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini.

**Gambar 4.2 Grafik Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan *AAPA (2004)* kadar aspal yang digunakan untuk agregat dengan ukuran maksimum 10 mm adalah pada kisaran 5% - 6,5%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 5% ; 5,5% ; 6% ; 6,5% ; 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram. Setelah penyaringan, kemudian dilakukan penimbangan dengan berat tertentu untuk masing-masing ukuran saringan dengan jenis agregat dan gradasi yang telah ditentukan oleh spesifikasi. Apabila semua bahan telah disiapkan dan memenuhi syarat, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji.

#### 4.4 Jumlah Benda Uji

Jumlah total sampel yang digunakan adalah sebanyak 180 buah, yang diantaranya digunakan untuk pengujian kadar aspal optimum guna mendapatkan nilai KAO yang valid sebanyak 120 buah spesimen dan 60 buah spesimen lainnya untuk pengujian pada kondisi KAO. Penjelasan jumlah spesimen penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan Tabel 4.4 berikut ini.

**Tabel 4.3 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari Kadar Aspal Optimum**

Kadar Aspal (%)	AC-WC		Aspal Porus					
	Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70			Starbit E-55		
	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	<i>CL</i>	<i>AFD</i>	<i>Marshall</i>	<i>CL</i>	<i>AFD</i>
5	3	3	3	3	3	3	3	3
5,5	3	3	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3	3	3
6,5	3	3	3	3	3	3	3	3
7	3	3	3	3	3	3	3	3

Setelah didapatkan nilai KAO pada masing-masing campuran dengan varian bahan ikat, selanjutnya membuat benda uji untuk dilakukan pengujian *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strenght (ITS)*, *Immersion Retained Strenght (IRS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)* dan analisis *Stiffness Modulus*. Berikut ini adalah Tabel perencanaan benda uji untuk pengujian *Marshall Test*, *ITS*, *Immersion Test* dan *Cantabro*, dapat dilihat pada Tabel 4.4 di bawah.

**Tabel 4.4 Jumlah Benda Uji pada Kondisi Kadar Aspal Optimum**

Parameter	AC-WC		Aspal Porus	
	Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70	Starbit E-55
<i>Marshall</i>	3	3	3	3
<i>Immersion Retained Strength</i>	3	3	3	3
<i>Indirect Tensile Strength</i>	3	3	3	3
<i>Tensile Strength Ratio</i>	3	3	3	3
<i>Cantabro Loss</i>	3	3	3	3

#### 4.5 Pengujian Campuran untuk Mencari KAO

Pengujian yang dilakukan untuk memperoleh kadar aspal optimum pada campuran AC-WC adalah pengujian *Marshall*. Sedangkan untuk memperoleh kadar aspal optimum pada campuran aspal porus dilakukan pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss* dan *Asphalt Flow Down*.

##### 4.5.1 Pengujian *Marshall*

Langkah-langkah pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Membersihkan benda ujidari kotoran-kotoran yang menempel.
2. Memberi tanda pada masing-masing.
3. Melakukan pengukuran ketinggian benda uji tiga kali pada tempat yang berbeda, lalu merata-rata dengan ketelitian pengukuran 0,01 mm.
4. Menimbang untuk mengetahui berat kering benda uji.
5. Merendam benda uji di dalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
6. Menimbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan isi.
7. Mengeringkan permukaan benda uji dengan kain lap yang lembab sampai kering permukaan jenuh (*SSD*).
8. Menimbang benda uji dalam kondisi *SSD*.

9. Merendam benda uji aspal panas atau benda uji dalam bak perendam selama 30 sampai pada suhu  $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
10. Sebelum pengujian, membersihkan dan melumasi terlebih dahulu batang penuntun (*Guide road*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*Test Head*), sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas. Bila dikehendaki dapat juga kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai  $38^{\circ}\text{C}$ .
11. Memasang arloji kelelahan (*Flow meter*) pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*).
12. Menaikkan kepala penekan (*Test head*) benda uji sampai menyentuh alas cincin penguji, kemudian mengatur jarum kedudukan arloji tekan pada angka nol.
13. Memulai pembebanan dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sampai pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dibaca arloji kelelahannya.
14. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji, maka hasil dapat diketahui, kemudian dilakukan proses penghitungan selanjutnya.

#### 4.5.2 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* dilakukan untuk mengetahui nilai keausan suatu campuran beton aspal. Adapun cara pengujianya sebagai berikut.

1. Benda uji ditimbang untuk mengetahui berat awal sebelum di abrasi.
2. Benda uji dimasukkan kedalam mesin *Los Angeles* dengan tanpa bola baja.
3. Benda uji diputar sebanyak 300 kali putaran.
4. Benda uji dikeluarkan lalu di timbang dan dilakukan analisis.

#### 4.5.3 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Prosedur pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut.

1. Melapisi cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dengan kertas *aluminium foil*, menimbang dan mencatat berat cetakan tersebut (m1).
2. Selanjutnya membuat campuran aspal, setelah tercampur merata campuran aspal dituangkan diatas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).

3. Memasukan cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut ke dalam oven dengan suhu  $\pm 160$  °C selama  $\pm 60$  menit.
4. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan.
5. Mengeluarkan cetakan dari dalam oven dan campuran aspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran aspal yang melekat pada *aluminium foil* ditimbang dan dicatat (m3).

#### **4.6 Analisis untuk Menentukan KAO**

##### 4.6.1 Campuran AC-WC

KAO pada campuran AC-WC ditentukan berdasarkan hasil uji seluruh parameter *Marshall Standard*. Setiap hasil uji parameter *Marshall* memiliki spesifikasi yang telah ditentukan oleh Bina Marga (2018) yang dapat dilihat pada Tabel 3.1. Nilai KAO campuran AC-WC diperoleh dengan cara menentukan nilai tengah antara nilai kadar aspal maksimum campuran dan nilai kadar aspal minimum campuran yang memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada setiap parameter *Marshall Standard*.

##### 4.6.2 Campuran Aspal Porus

KAO campuran aspal porus ditentukan berdasarkan tiga parameter pengujian, yaitu nilai *VITM*, nilai *Cantabro Loss*, dan nilai *Asphalt Flow Down*. Berikut adalah tahapan menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus :

1. KAO maksimum ditentukan berdasarkan nilai kadar aspal yang memiliki nilai *VITM 18%*.
2. KAO minimum ditentukan berdasarkan nilai kadar aspal yang memiliki nilai *Cantabro Loss 35%*.
3. KAO rerata ditentukan berdasarkan KAO maksimum dan KAO minimum.
4. Nilai rerata KAO diproyeksikan terhadap grafik *AFD*, hingga diperoleh nilai *AFD* pada kadar aspal tersebut.
5. Nilai rerata KAO dijumlahkan dengan nilai *AFD* yang diperoleh, sehingga diketahui KAO pada campuran aspal porus.

## 4.7 Pengujian pada Kondisi KAO

Dalam penelitian ini penulis melakukan 4 jenis pengujian, yaitu *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, *Tensile Strenght Ratio* dan *Cantabro*.

### 4.7.1 Pengujian *Marshall*

Langkah-langkah pengujian *Marshall* sesuai dengan penjelasan pada subbab 4.5.1.

### 4.7.2 Pengujian *Cantabro Loss*

Langkah-langkah pengujian *Marshall* sesuai dengan penjelasan pada subbab 4.5.2.

### 4.7.3 Pengujian *Immersion*

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan benda uji.
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal Menguji *Immersion Test* dengan lama perendaman 24 jam pada suhu  $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ .
3. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *ImmersionTest*.

### 4.7.4 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Langkah-langkah yang dilakukan pada tahap ini adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan bahan,
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,
4. Mendapatkan nilai pembacaan dial
5. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Indirect Tensile Strength*, dan
6. Membuat kesimpulan.

### 4.7.5 Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Pengujian ini berpedoman pada SNI 6753 : 2015. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji yang telah proses pemadatan didiamkan selama  $\pm 24$  jam, kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel.
2. Benda uji diukur tingginya dan ditimbang dalam keadaan kering untuk mengetahui berat keringnya.
3. Benda uji direndam selama  $\pm 30$  menit agar menjadi jenuh, keringkan permukaannya dengan lap kemudian ditimbang dalam keadaan jenuh permukaan (SSD).
4. Untuk benda uji *conditioned (TSR)*, benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu  $(60\pm 1)^{\circ}\text{C}$  24 jam.
5. Setelah direndam benda uji kemudian didiamkan dalam suhu ruang  $25^{\circ}\text{C}$  selama  $\pm 24$  jam.
6. Benda uji yang telah melalui proses persiapan kemudian diletakkan diantara plat beban uji dengan posisi ditengah.

Mesin penguji dinyalakan, lalu dicatat angka yang ditunjukkan arloji pada pembebanan maksimum.

#### 4.8 Analisis Data

##### 1. Karakteristik *Marshall*

Adapun karakteristik *Marshall* didapatkan dengan menganalisis hasil pengujian di laboratorium, didapatkan data sebagai berikut.

- a. Berat kering benda uji (gram)
- b. Berat benda uji dalam air (gram)
- c. Berat benda uji kering muka (gram)
- d. Tebal benda uji (mm)
- e. Pembacaan arloji stabilitas (kg)
- f. Pembacaan arloji kelelahan (mm)

Nilai-nilai karakteristik Marshall dapat dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut.

- a. Berat jenis aspal

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

dengan:

A = Berat piknometer (dengan penutup) (gram),

B = Berat piknometer berisi air (gram),

C = Berat piknometer berisi aspal (gram), dan

D = Berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

b. Berat jenis agregat

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

dengan:

F1 = Persentase agregat kasar (%),

F2 = Persentase agregat halus (%),

A = Berat jenis agregat kasar, dan

B = Berat jenis agregat halus

Berdasarkan data di atas didapatkan nilai-nilai sebagai berikut.

- a. Nilai -nilai *VMA* didapatkan dengan Persamaan 3.4
  - b. *VFWA* menggunakan Persamaan 3.3
  - c. *VITM* menggunakan Persamaan 3.6
  - d. Nilai-nilai stabilitas didapatkan dengan Persamaan 3.1
  - e. Nilai *MQ* didapat dengan Persamaan 3.2
  - f. Kelelehan (*Flow*) dibaca dari pembacaan arloji kelelehan
2. Pengujian *Immersion*
- Pada pengujian *Immersion* didapat stabilitas pada perendaman 24 jam, sehingga nanti akan didapatkan nilai *Index Retained Strenght* yang dihitung sesuai dengan Persamaan 3.16
3. Pengujian *Indirect Tensile Strenght*
- Nilai-nilai pengujian *ITS* didapatkan dengan Persamaan 3.17
4. Pengujian *Cantabro Loss*
- Nilai-nilai pengujian *Cantabro* didapatkan dengan Persamaan 3.14
5. Pengujian *Tensile Strength Ratio*
- Nilai-nilai pengujian *TSR* didapatkan dengan Persamaan 3.18
6. Analisis Perhitungan Kekakuan (*Stiffness Modulus*)
- Menghitung tingkat kekakuan bitumen maupun campuran didapatkan berdasarkan penjelasan pada subbab 3.17.

## 7. Analisis Mekanistik Menggunakan *Software KENPAVE*

Pada penelitian ini digunakan *software KENPAVE* untuk memprediksi respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas sebagai dasar analisis metode *MEPDG (Mechanistic-Empiric Pavement Design Guide)* untuk mengetahui nilai repetisi yang terjadi dan memprediksi kerusakan yang terjadi. Penelitian ini menggunakan data sekunder dari penelitian Suwanda dan Kushari (2019). Lokasi studi kasus pada penelitian ini adalah ruas Jl. Tempel – Pakem, Kab. Sleman. Adapun data LHR yang digunakan merupakan LHR 2017 yang diperoleh dari Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D.I.Yogyakarta. Ruas Jl. Tempel-Pakem merupakan jalan nasional dengan lebar jalan 7 meter, memiliki 2 lajur, terdiri dari 2 arah, dengan pertumbuhan lalu lintas sebesar 3,5% setiap tahunnya. Berikut merupakan data lalu lintas harian rerata tahun 2017 berdasarkan golongan kendaraan yang dapat dilihat pada Tabel 4.5 di bawah ini.

**Tabel 4.5 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Tempel-Pakem**

Golongan	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Unit)
1	Motor	6944
2	Sedan, Jeep	1622
3	Pick-up	252
4	Truck 2 As, Truck Kecil	531
51	Bus Kecil	18
5b	Bus Besar	9
61	Truck 2 As ( <i>Heavyweight</i> )	90
6b	Truck 2 As ( <i>Heavyweight</i> )	274
7a	Truck 3 As	22
7b	Trailer 4 As, Truck gandeng	0
7c	Truck Semi Trailer	0
8	Kendaraan Tidak Bermotor	178

Sumber: Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan D. I. Y. (2017)

Untuk memprediksi respon tegangan-regangan yang terjadi pada suatu ruas jalan diperlukan data tebal perkerasan eksisting, data *CBR* optimum, dan data prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana. Adapun data tersebut merupakan data sekunder yang diperoleh dari penelitian Suwanda dan Kushari (2019) sebagai berikut :

- a. Tebal Perkerasan Eksisting
- $AC-WC = 4 \text{ cm}$
- $AC-BC = 6 \text{ cm}$
- $AC-Base = 8 \text{ cm}$
- $LPA = 30 \text{ cm}$
- b. Nilai *CBR* Optimum sebesar 7,34%.
- c. Data prediksi jumlah kendaraan selama umur rencana dapat dilihat pada Tabel 4.6 di bawah ini

**Tabel 4.6 Data Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana**

Jenis Kendaraan	LHR 2017	ESA4	ESA5
Motor	6944	0	0
Sedan, Jeep	1622	0	0
Pick-up	252	0	0
Truck 2 As (Lightweight), Truck Kecil	531	0	0
Bus Kecil	18	22447,12	14964,76
Bus Besar	9	37411,89	37411,89
Truck 2 As (Heavyweight)	90	189699,62	189699,62
Truck 2 As (Heavyweight)	274	4764920,18	6467919,94
Truck 3 As (Lightweight)	22	474997,07	688547,67
Trailer 4 As, Truck gandeng	0	0	0
Truck Semi Trailer	0	0	0
Kendaraan Tidak Bermotor	178	0	0
<b>CESA 20 Tahun</b>		<b>5489475,91</b>	<b>7398543,88</b>

Sumber: Suwanda dan Kushari (2019)

CESA4 = 5489475,91 ESAL

CESA5 = 7.398.543,88 ESAL

Berikut merupakan langkah pengerjaan dengan menggunakan metode mekanistik dengan program *KENPAVE* (Huang, 2004):

- a. Melakukan permodelan struktur perkerasan dengan program *KENPAVE* dan pekerasan lentur dengan *KENLAYER* untuk beban yang terjadi di lapangan.
- b. Meng-*input* informasi umum tentang struktur perkerasan, yaitu judul, *file*, tipe material, analisa kerusakan, akurasi hasil analisa, jumlah *layer Z*

(kedalaman), tipe respon yang akan dianalisa, jenis ikatan lapisan, satuan yang digunakan.

- c. Meng-*input* jumlah *point* yang akan dianalisa dan jarak vertikal.
- d. Meng-*input* tebal dan nilai *poission ratio* tiap lapis perkerasan.
- e. Meng-*input* ikatan antar lapisan.
- f. Meng-*input* jumlah periode yang ditinjau dan nilai modulus elastisitas tiap *layer*.
- g. Meng-*input* info beban data lalu lintas, yaitu beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda Y dan X dan titik koordinat regangan tegangan yang di tinjau.
- h. Menentukan hasil *output deflaksi* dari *running* program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang menyebabkan kegagalan/kerusakan.

#### 4.9 Analisis Statistik

Pada penelitian ini menggunakan analisis statistik *Anova*, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh gradasi dan bahan ikat pada campuran AC-WC dan aspal porous. Data-data seperti Karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, *Index of Retained Strength*, *Index Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Stiffness Modulus* dianalisis dengan statistik *Anova* untuk dapat menyimpulkan hasil penelitian. Secara umum analisis statistik *Anova* adalah sebagai berikut.

Merumuskan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_k$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k$$

1. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.

Jika nilai F-hitung > F-tabel ; maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Jika nilai F-hitung < F-tabel ; maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.

2. Menentukan nilai  $\alpha$  atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* > 0,05 ; maka  $H_0$  ditolak dan  $H_1$  diterima.

Jika nilai signifikan atau *P-Value*  $< 0,05$  ; maka  $H_0$  diterima dan  $H_1$  ditolak.

3. Perumusan keputusan  $H_0$  dan  $H_1$

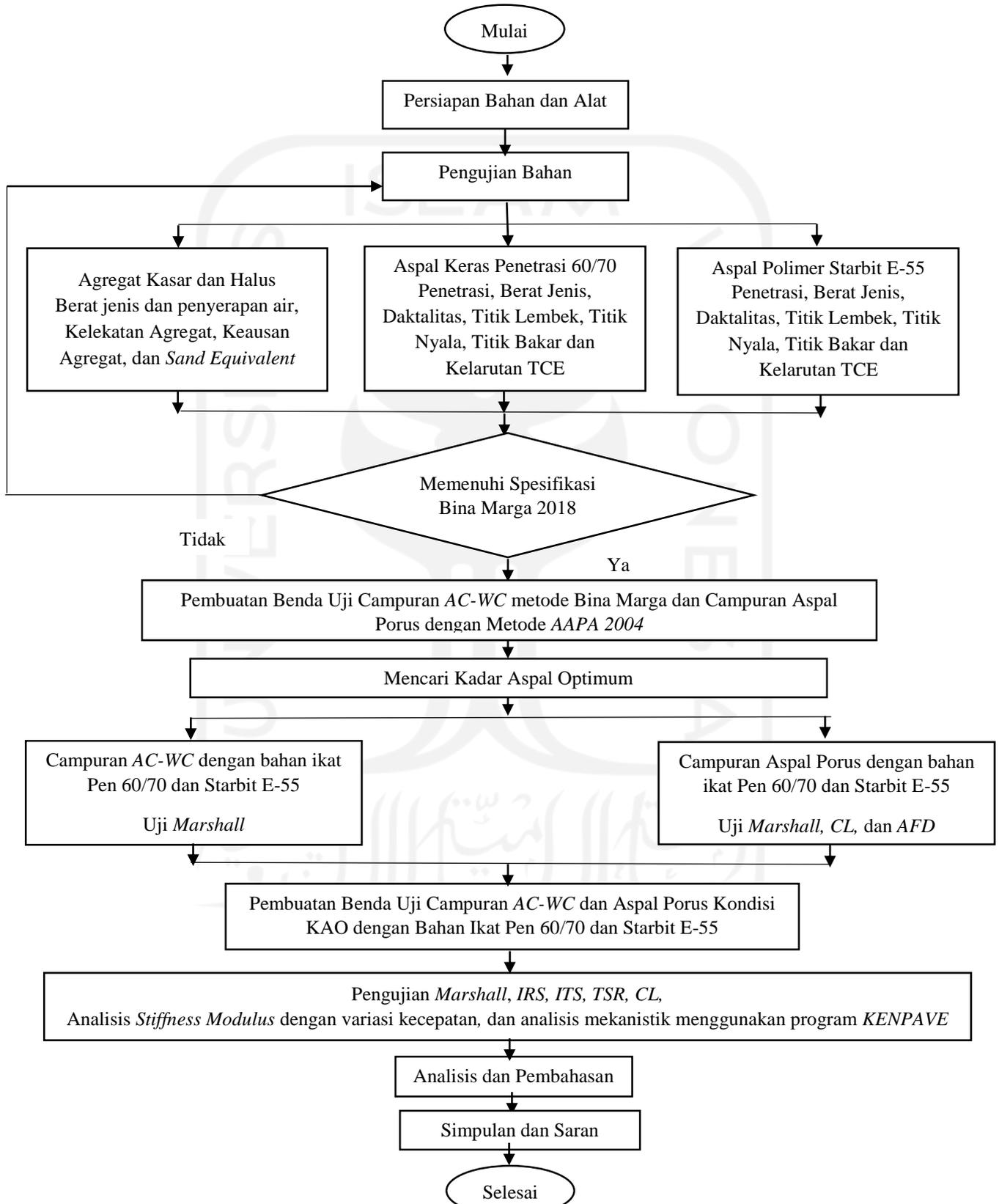
$H_0$  : Tidak ada perbedaan signifikan

$H_1$  : Ada perbedaan signifikan



#### 4.10 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir merupakan tahapan dari penelitian yang disajikan pada **Gambar 4.3**



**Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Pengujian Bahan dan Campuran

Dari pengujian bahan dan campuran yang dilakukan, diperoleh hasil sebagai berikut.

##### 5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal ini menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 yang berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah.

**Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55**

No.	Jenis Pengujian	Nilai Persyaratan	Aspal Pen 60/70	Nilai Persyaratan	Aspal Starbit E-55	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1$	1,03	$\geq 1$	1,04	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	63,1	$\geq 54$	55,8	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	$\geq 100$	164	$\geq 100$	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	$\geq 232$	285	$\geq 232$	312	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	$\geq 232$	295	$\geq 232$	325	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,12	$\geq 99$	99,53	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	$\geq 48$	49	$\geq 54$	54	Memenuhi

##### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini menggunakan agregat yang berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Di bawah ini adalah hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 5.2 sampai 5.4 berikut.

**Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6601	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$\leq 3$	1,686	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	$\geq 95$	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	$\leq 40$	12,97	Memenuhi

**Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus**

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6271	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$\leq 3$	2,35	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	$\geq 50$	91,891	Memenuhi

**Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler***

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\leq 8$	2,550	Memenuhi

#### 5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-WC dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55

Dalam menentukan kadar aspal optimum campuran AC-WC, dilakukan pengujian *Marshall*. Kemudian parameter yang digunakan adalah seluruh karakteristik *Marshall* sesuai dengan spesifikasi yang diizinkan. Adapun rekapitulasi hasil pengujian *marshall* campuran AC-WC dengan menggunakan

aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Tabel 5.5 dan Tabel 5.6 di bawah ini.

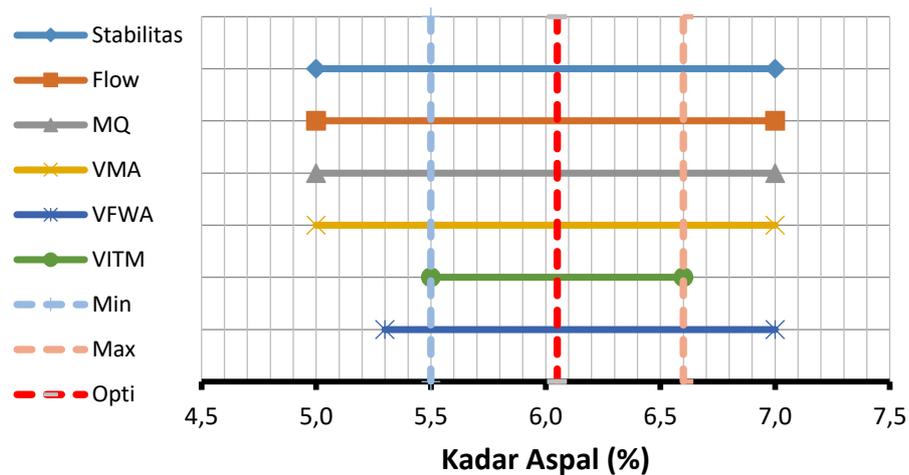
**Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 untuk Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1165	3,0	380	6,67	61,98	15,47	2,24
5,5	1248	3,2	381	5,05	70,54	15,05	2,26
6	1407	3,4	416	4,16	76,05	15,3	2,27
6,5	1259	3,5	354	3,20	81,76	15,49	2,27
7	1114	4,0	276	2,87	84,35	16,22	2,27
Spesifikasi	> 800	2 - 4	>250	3 - 5	>65	> 15	

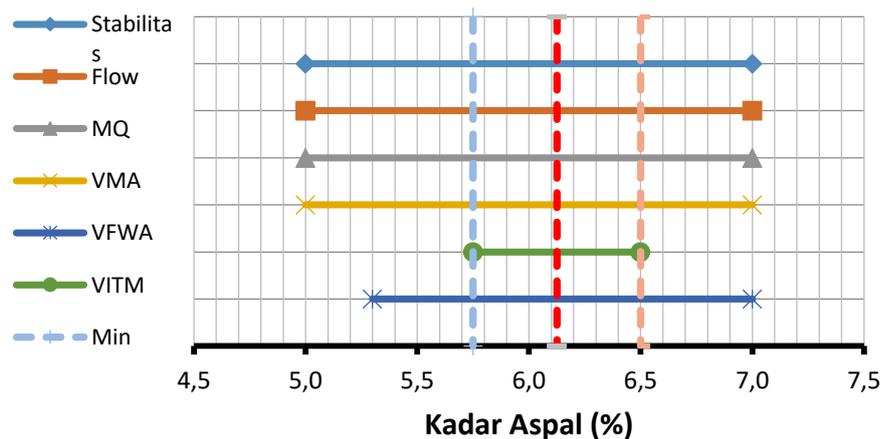
**Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1445	3,1	462	7,05	61,22	15,81	2,22
5,5	1479	3,2	467	5,78	68,11	15,7	2,23
6	1572	3,3	468	4,27	76,06	15,39	2,27
6,5	1522	3,5	420	3,87	79,36	16,07	2,26
7	1432	3,7	387	3,16	83,39	18,09	2,26
Spesifikasi	> 800	2 - 4	>250	3 - 5	>65	> 15	

Adapun grafik rekapitulasi metode penentuan kadar aspal optimum pada campuran AC-WC menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 berdasarkan parameter pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 di bawah ini.



**Gambar 5.1 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70**



**Gambar 5.2 Grafik Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Aspal Starbit E-55**

Kadar aspal optimum yang diperoleh pada campuran AC-WC menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 yaitu sebesar 6,1% dari berat total campuran. Sedangkan pada campuran AC-WC menggunakan aspal Starbit E-55 yaitu sebesar 6,2% dari berat total campuran.

#### 5.1.4 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus. Adapun parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu nilai *VITM* dari pengujian karakteristik *Marshall*, *AFD*, dan *Cantabro* yang dapat dilihat pada Tabel 5.7 sampai Tabel 5.10 berikut.

**Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 untuk Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
5	545	3,6	149	18,77	33,69	28,30	2,00
5,5	584	3,7	158	18,13	36,66	28,62	2,01
6	594	3,8	156	15,33	43,47	27,09	2,05
6,5	494	4,0	123	15,11	45,63	27,78	2,04
7	491	4,3	114	14,93	47,64	28,52	2,03
Spesifikasi	>500	2 - 6	<400	18-25			

**Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>VMA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
5	626	3,5	177	19,79	32,50	29,29	1,98
5.5	641	3,8	168	18,68	36,04	29,21	1,98

**Lanjutan Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall*  
Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Starbit E-55  
untuk Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
6	599	4,1	135	17,38	40,12	28,96	2,00
6.5	513	4,7	109	14,67	46,73	27,54	2,05
7	451	4,8	93	13,80	50,22	27,70	2,06
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25			

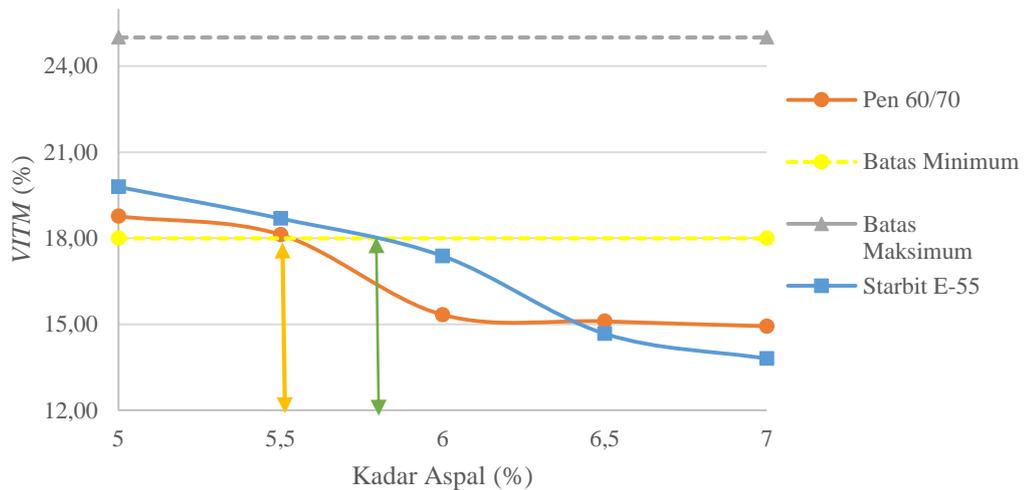
**Tabel 5.9 Hasil Pengujian Cantabro Loss Campuran Aspal Porus  
Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk  
Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Cantabro Loss</i> (%)	
	Aspal Pertamina Pen 60/70	Aspal Starbit E-55
5	38,99	11,065
5,5	29,81	6,203
6	22,19	4,942
6,5	20,15	3,951
7	15,09	2,443

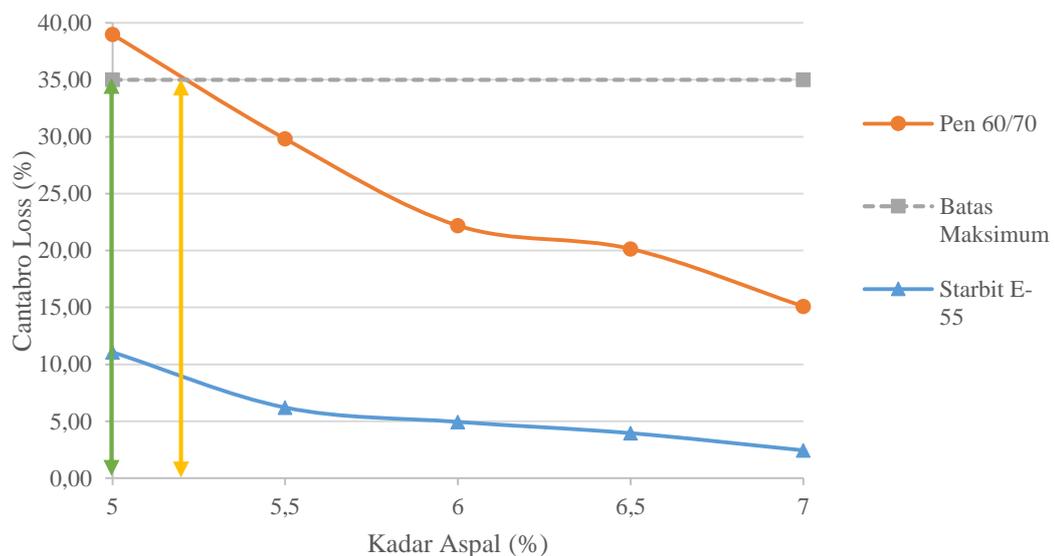
**Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus  
Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk  
Menentukan KAO**

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	
	Aspal Pertamina Pen 60/70	Aspal Starbit E-55
5	0,08	0,13
5,5	0,24	0,255
6	0,64	0,464
6,5	1,23	1,507
7	1,36	2,435

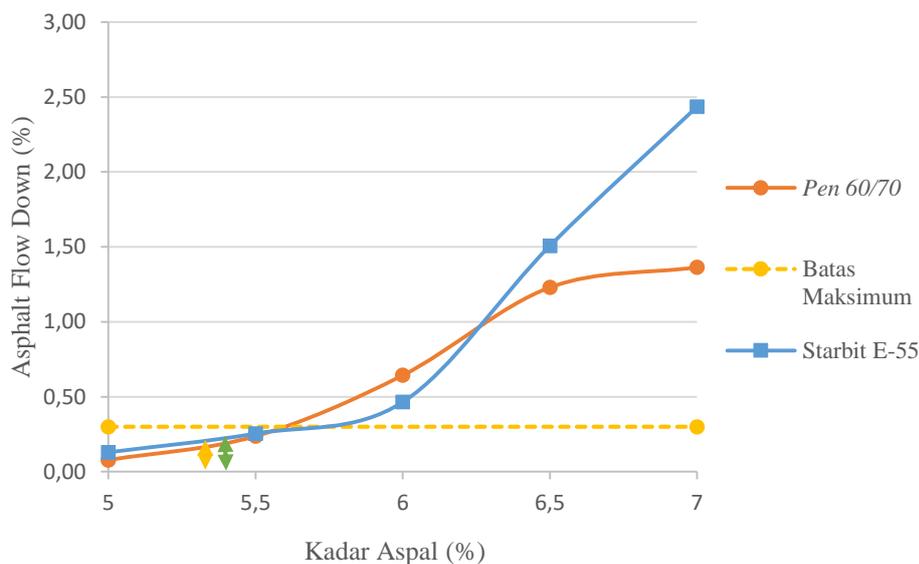
Berikut ini adalah grafik hubungan kadar aspal dengan nilai *VITM*, nilai *cantabro loss* dan nilai *AFD* dan metode untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal porus. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3 sampai Gambar 5.5 di bawah ini.



**Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* Campuran Aspal Porus**



**Gambar 5.4 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus**



**Gambar 5.5 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Asphalt Flow Down* Campuran Aspal Porus**

Berikut adalah tahapan menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70:

1. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai *VITM* 18% (KAO Maksimum) yaitu 5,55%.
2. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai *Cantabro Loss* 35% (KAO Minimum) yaitu 5,21%.
3. Menentukan nilai rerata KAO maksimum dan minimum, diperoleh 5,38%.
4. Proyeksikan nilai rerata KAO (5,38%) terhadap grafik *AFD*, hingga diperoleh nilai *AFD* pada kadar aspal tersebut yaitu 0,17%.
5. Jumlahkan nilai rerata KAO (5,38%) dengan nilai *AFD* (0,17%), sehingga diperoleh KAO pada campuran aspal porus sebesar 5,55%.
6. Dengan melakukan tahapan yang sama diperoleh KAO pada campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Starbit E-55 sebesar 5,60%.

Adapun rekapitulasi hasil pembacaan dari ketiga grafik di atas dalam menentukan KAO campuran aspal porus menggunakan kedua jenis aspal, dapat dilihat pada Tabel 5.11 di bawah ini.

**Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik *VITM*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 untuk Menentukan KAO**

Karakteristik Pengujian	Pen 60/70 (%)	Starbit E-55 (%)
<i>VITM</i>	5,55	5,80
<i>Cantabro Loss</i>	5,21	5,00
Rata-rata	5,38	5,40
<i>Asphalt Flow Down</i>	0,17	0,20
KAO	5,55	5,60

Kadar aspal optimum yang diperoleh pada campuran aspal porus menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 yaitu sebesar 5,55% dari berat total campuran. Sedangkan pada campuran aspal porus menggunakan aspal Starbit E-55 yaitu sebesar 5,6% dari berat total campuran.

#### 5.1.5 Nilai Kadar Aspal Optimum Seluruh Campuran

Berdasarkan analisa yang dilakukan terhadap seluruh campuran menggunakan dua metode yaitu Bina Marga (2018) dengan *AAPA* (2004), kadar aspal optimum yang diperoleh dari keempat jenis campuran dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini.

**Tabel 5.12 Nilai Kadar Aspal Optimum Seluruh Campuran**

Campuran	Pen 60/70 (%)	Starbit E-55 (%)
<i>AC-WC</i>	6,10	6,20
Aspal Porus	5,55	5,60

Dapat diketahui secara umum kadar aspal optimum yang diperoleh pada kedua jenis campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai KAO yang lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini terjadi karena aspal Starbit E-55 lebih keras, kemudian berdasarkan hasil pengujian *AFD*, homogenitas aspal Starbit E-55 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan nilai homogenitas aspal Pertamina pen 60/70 pada campuran aspal porus. Sehingga KAO pada campuran aspal porus yang

menggunakan aspal Starbit E-55 menjadi lebih besar dibandingkan pada campuran aspal porus yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Parameter lain yang mempengaruhi adalah nilai *VITM* campuran. Nilai *VITM* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai yang lebih besar dibandingkan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini terjadi karena tingkat kekerasan aspal Starbit E-55 yang lebih keras. Sehingga hal tersebut mempengaruhi kebutuhan aspal optimum campuran menjadi lebih banyak untuk campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55. Adapun penelitian Ramadhan (2014) yang meneliti perbandingan karakteristik campuran *AC-WC* menggunakan bahan ikat aspal Retona Blend E-55 dengan aspal Starbit E-55 menyatakan hal yang sama, menurutnya nilai *VITM* suatu campuran menjadi lebih besar seiring dengan nilai kekerasan bahan ikat yang lebih besar, hal tersebut akan mempengaruhi nilai *KAO* campuran menjadi lebih besar. Penelitian yang dilakukan Fauziah dan Hadi (2019) mengenai perbandingan karakteristik campuran Superpave menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dan Aspal Pertamina Pen 60/70 memperoleh hasil yang senada. Menurutnya bahan ikat Starbit E-55 akan memperbesar kebutuhan kadar aspal optimum pada campuran superpave, hal ini terjadi karena nilai *VITM* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai yang lebih besar.

#### 5.1.6 Hasil Pengujian Seluruh Campuran

Pengujian yang dilakukan meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *Immersion/IRS*, *ITS*, *TSR*, *Cantabro Loss*, dan *Stiffness Modulus*. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.13 sampai Tabel 5.18 berikut.

**Tabel 5.13 Hasil Pengujian Marshall Standard**

Jenis Campuran	Jenis Aspal	Kadar Aspal (%)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	Density (gr/cc)
ACWC	Starbit E-55	6,20	3,91	78,06	15,39	1464	3,1	467	2,28
	Pen 60/70	6,10	3,36	80,23	19,48	1320	3,2	412	2,28
Porus	Starbit E-55	5,60	18,20	37,36	29,06	647	4,1	157	1,99
	Pen 60/70	5,55	18,09	36,89	28,68	527	3,6	145	2,00

**Tabel 5.14 Hasil Pengujian Immersion/Indeks Retained Strength (IRS)**

Jenis Campuran	Jenis Aspal	IRS (%)
ACWC	Starbit E-55	92,02
	Pen 60/70	90,45
Aspal Porus	Starbit E-55	91,87
	Pen 60/70	90,34

**Tabel 5.15 Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS)**

Jenis Campuran	Jenis Aspal	ITS (Kg/cm <sup>2</sup> )
ACWC	Starbit E-55	21,06
	Pen 60/70	17,92
Aspal Porus	Starbit E-55	7,36
	Pen 60/70	7,84

**Tabel 5.16 Hasil Pengujian Tensile Strength Ratio (TSR)**

Jenis Campuran	Jenis Aspal	TSR (%)
ACWC	Starbit E-55	90,55
	Pen 60/70	90,10
Porus	Starbit E-55	88,78
	Pen 60/70	87,75

**Tabel 5.17 Hasil Pengujian *Cantabro Loss (CL)***

Jenis Campuran	Jenis Aspal	Cantabro Loss (%)
ACWC	Starbit E-55	3,25
	Pen 60/70	4,33
Porus	Starbit E-55	6,59
	Pen 60/70	26,56

**Tabel 5.18 Hasil Analisis Perhitungan *Stiffness Modulus***

Jenis Campuran	Jenis Aspal	Temperatur Aspal (°C)	Kecepatan Kendaraan (Km/jam)	<i>Stiffness Modulus of Bitumen</i> ( $1 \times 10^6$ N/m <sup>2</sup> )	<i>Stiffness Modulus of Mixture</i> ( $1 \times 10^6$ N/m <sup>2</sup> )	
ACWC	Starbit E-55	30	40	5,50	2235,74	
	Pen 60/70			4,33	782,71	
Porus	Starbit E-55			5,50	231,98	
	Pen 60/70			4,33	199,04	
ACWC	Starbit E-55		60	6,39	2455,14	
	Pen 60/70			5,03	870,85	
Porus	Starbit E-55			6,39	262,41	
	Pen 60/70			5,03	225,19	
ACWC	Starbit E-55			80	7,10	2622,69
	Pen 60/70				5,59	939,03
Porus	Starbit E-55		7,10		286,31	
	Pen 60/70		5,59		245,74	

### 5.1.7 Hasil Analisis Statistik

Hasil analisis statistik meliputi Uji Statistik *T-Test* dan Uji *Anova*. Uji Statistik dilakukan untuk mengetahui signifikansi perubahan dari setiap parameter pengujian yang dipengaruhi oleh variabelnya. Pengujian signifikansi metode *T-Test* dilakukan pada data hasil uji karakteristik aspal Pertamina pen 60/70 terhadap aspal modifikasi yaitu aspal Starbit E-55. Sedangkan uji signifikansi *Anova* dilakukan pada data hasil pengujian kinerja pada campuran AC-WC dengan campuran aspal porus. Data hasil rekapitulasi analisis statistic untuk mengetahui signifikansi

menggunakan metode *T-Test* dan *Anova* dapat dilihat pada Tabel 5.19 dan Tabel 5.20 di bawah ini.

**Tabel 5.19 Hasil Uji Signifikansi Perbedaan antara Aspal Starbit E-55 Terhadap Aspal Pen 60/70**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Berat Jenis	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Penetrasi	H0 Ditolak	Signifikan
Titik Nyala	H0 Ditolak	Signifikan
Titik Bakar	H0 Ditolak	Signifikan
Kelarutan TCE	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Titik Lembek	H0 Ditolak	Signifikan
Indeks Penetrasi	H0 Ditolak	Signifikan

**Tabel 5.20 Hasil Uji Signifikansi untuk Pengaruh Jenis Aspal dan Jenis Campuran Terhadap Kinerja Campuran**

Parameter	Jenis Campuran		Jenis Aspal	
	Hasil Analisis	Keterangan	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Ditolak	Signifikan
<i>Flow</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Ditolak	Signifikan
<i>MQ</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan
<i>VITM</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan
<i>VMA</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan
<i>VFWA</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan
<i>Density</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan
<i>IRS</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Ditolak	Signifikan
<i>ITS</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Ditolak	Signifikan
<i>Cantabro Loss</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Ditolak	Signifikan
<i>TSR</i>	H0 Ditolak	Signifikan	H0 Diterima	Tidak Signifikan

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan Clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

#### 1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dengan berat volume air pada suhu yang sama. Agregat dengan berat jenis rendah memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan berakibat selimut aspal menjadi tipis. Hal tersebut berdampak pada penurunan durabilitas campuran. Sedangkan agregat dengan berat jenis yang besar dapat meningkatkan durabilitas campuran, tetapi juga dapat meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang didapat adalah sebesar 2,660. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $>2,5$ .

#### 2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat menyerap air melalui pori agregat itu sendiri. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 1,681 %.

#### 3. Kelekatan agregat oleh aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Hasil pengujian persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal adalah sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu  $>95\%$ .

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

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Diperoleh nilai keausan dari hasil pengujian sebesar 12,97%. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu  $<40\%$ .

### 5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan Clereng yang berasal dari Clereng, Kulon Progo.

#### 1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus yang diperoleh adalah sebesar 2,620. Sedangkan hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang didapatkan adalah sebesar 2,550. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu  $>2,5$ .

## 2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat menyerap air melalui pori agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang lebih besar dapat menyerap lebih banyak aspal sehingga lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis, hal ini akan mempengaruhi durabilitas campuran. Adapun hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 2,35 %.

## 3. *Sand Equivalent*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan No.200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran mengandung material lolos saringan No.200 yang berlebih, maka akan menghasilkan beton aspal dengan kualitas rendah. Hal ini terjadi karena agregat kasar terselimuti material agregat halus sehingga ikatan antara agregat dengan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,891%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu  $>50\%$ .

### 5.2.3 Perbandingan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70 dengan Aspal Starbit E-55

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan yaitu aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55. Pengujian karakteristik aspal dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan.

#### 1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat antara aspal dengan berat air pada volume yang sama dan temperatur yang sama. Hasil yang didapatkan dari

pengujian berat jenis aspal Pertamina pen 60/70 yang sudah diuji yaitu sebesar 1,03, sedangkan berat jenis aspal Starbit E-55 adalah sebesar 1,04. Nilai berat jenis aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $>1,00$ .

## 2. Penetrasi aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal dengan beban dan waktu yang ditentukan pada suhu ruang. Nilai penetrasi aspal Pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah 63,1 mm sedangkan nilai penetrasi aspal Starbit E-55 yang diperoleh adalah 61,7 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal Starbit E-55 lebih keras dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Perubahan tingkat kekerasan tersebut merupakan perubahan yang signifikan. Hal ini berdampak pada parameter yang diujikan. Nilai *VITM* suatu campuran menjadi lebih besar bila menggunakan bahan ikat dengan kekerasan yang lebih tinggi. Hal ini tentu mempengaruhi kinerja campuran secara struktural dan fungsional. Pengujian yang dilakukan Ramadhan, G. B. (2014) yang menggunakan bahan ikat Retona Blend E-55 dan Starbit E-55, menunjukkan bahwa bahan ikat yang memiliki nilai kekerasan lebih besar akan mempengaruhi nilai *VITM* campuran menjadi lebih besar. Hal ini terjadi karena bahan ikat lebih sulit mengisi rongga pada campuran. Selain nilai *VITM*, nilai stabilitas campuran juga akan dipengaruhi oleh tingkat kekerasan bahan ikat yang digunakan. Hal tersebut ditemukan pada penelitian Anggiani, dkk (2019). Menurutnya nilai stabilitas campuran aspal porus yang menggunakan bahan ikat dengan penetrasi rendah memiliki nilai stabilitas yang lebih baik. Dari penelitiannya juga dapat diketahui semakin rendah nilai penetrasi aspal yang digunakan, maka campuran menjadi lebih kaku dan getas. Dalam penelitiannya Anggiani meneliti campuran aspal porus dengan menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Polimer JAP-57. Hasil pengujian penetrasi kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $>60$  mm.

## 3. Daktilitas

Pengujian daktilitas dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi aspal yang dapat mempengaruhi fleksibilitas campuran, sehingga dapat menahan lendutan. Hasil

pengujian dari aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 yang diperoleh sebesar >164 cm. Hasil pengujian tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >100 cm.

#### 4. Titik nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk mengetahui batas suhu tertinggi, bahwa aspal cukup aman untuk dipanaskan. Hasil pengujian aspal Pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 285°C, sedangkan aspal Starbit E-55 memperoleh hasil pengujian sebesar 312°C. Perbedaan titik nyala yang dimiliki kedua aspal tersebut adalah perbedaan yang signifikan. Perbedaan signifikan tersebut menunjukkan bahwa aspal Starbit E-55 jauh lebih baik dan tahan terhadap temperatur tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi durabilitas campuran. Kinerja campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 dapat mempertahankan kekuatannya menjadi lebih baik meskipun dalam kondisi suhu kritis. Penelitian yang dilakukan Fauziah dan Hadi (2019) mengatakan campuran superpave dengan menggunakan Starbit E-55 memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dalam mempertahankan fungsinya dalam kondisi kritis yang diakibatkan oleh suhu. Meskipun begitu, hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 232°C.

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

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase kelarutan aspal pada larutan *TCE* sehingga dapat diketahui jumlah persentase mineral lain yang terdapat dalam aspal. Semakin besar kelarutan aspal dalam *TCE* mengakibatkan semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal, sehingga semakin kecil juga kemungkinan terganggunya ikatan aspal dengan agregat. Hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,90%, sedangkan pada aspal modifikasi adalah 99,53%. Hal ini menunjukkan bahwa kemurnian aspal Starbit E-55 lebih rendah dibandingkan aspal Pertamina pen 60/70. Perbedaan hasil pengujian yang dimiliki kedua aspal tersebut adalah

perbedaan yang tidak signifikan. Hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar  $>99\%$ .

#### 6. Titik Lembek

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui suhu saat aspal mulai melunak dan melembek. Hasil pengujian titik lembek aspal Pertamina pen 60/70 adalah sebesar  $49^{\circ}\text{C}$ , sedangkan aspal Starbit E-55 adalah sebesar  $54^{\circ}\text{C}$ . Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal Starbit E-55 memiliki kepekaan terhadap suhu yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Perbedaan titik lembek yang dimiliki kedua aspal tersebut adalah perbedaan yang signifikan. Hal ini tentunya dapat mempengaruhi durabilitas campuran. Kinerja campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 dapat mempertahankan kekuatannya menjadi lebih baik meskipun dalam kondisi suhu kritis. Penelitian yang mengatakan hal senada adalah penelitian Fauziah dan Hadi (2019). Berdasarkan penelitiannya campuran superpave dengan menggunakan Starbit E-55 memiliki durabilitas lebih baik dibandingkan dengan yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dalam mempertahankan kinerjanya dalam kondisi kritis yang diakibatkan oleh suhu dan air. Hasil pengujian kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $\geq 48^{\circ}\text{C}$ .

#### 7. Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi bertujuan untuk mengetahui nilai konsistensi aspal dalam perubahannya yang dipengaruhi oleh berubahnya temperatur. Kepekaan terhadap temperatur merupakan sensitifitas perubahan sifat viskoelastisitas aspal yang diakibatkan oleh perubahan temperatur. Nilai penetrasi dinyatakan dengan nilai titik lembek dalam bentuk PI. Semakin tinggi nilai titik lembek aspal maka nilai Indeks Penetrasi juga akan semakin tinggi pada nilai penetrasi yang sama, tingginya nilai Indeks Penetrasi akan mengurangi besar deformasi. Kepekaan aspal tersebut dinyatakan dengan Indeks Penetrasi yang berkisar antara -3 sampai 7. Nilai Indeks Penetrasi dari hasil pengujian aspal Pertamina pen 60/70 adalah -0,904 sedangkan aspal Starbit E-55 adalah 0,020. Nilai Indeks Penetrasi aspal Pertamina pen 60/70 lebih rendah dibandingkan dengan nilai Indeks Penetrasi aspal Starbit E-55. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal Starbit E-55

memiliki ketahanan terhadap temperatur yang lebih baik dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Adapun hasil pengujian PI berdasarkan angka penetrasi dan titik lembek dapat dilihat pada Tabel 5.21 di bawah ini.

**Tabel 5.21 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi**

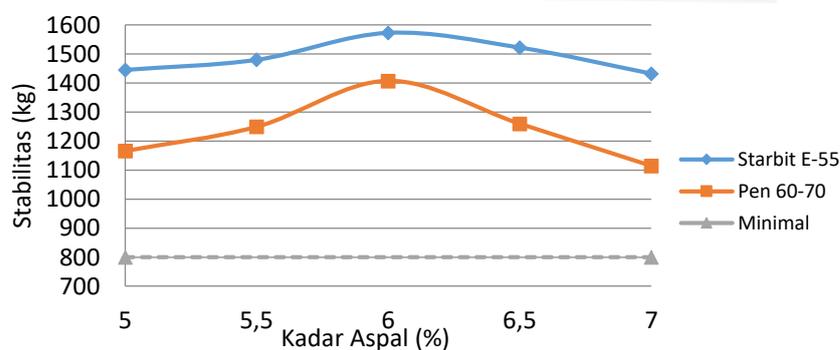
Benda Uji	Titik Lembek (°C)	Penetrasi (mm)	PI
Aspal Pen 60/70	49	63,1	-0,904
Aspal Starbit E-55	54	55,8	0,020

#### 5.2.4 Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC Menggunakan Pen 60/70 dan Starbit E-55

Pengujian yang dilakukan untuk menentukan Kadar Aspal Optimum campuran AC-WC. Penentuan kadar aspal optimum pada campuran AC-WC menggunakan parameter *Marshall* yaitu Stabilitas, *Flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient* dan *Density*. Adapun pembahasan hasil pengujian sebagai berikut.

##### 1. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan menahan deformasi akibat pembebanan tanpa terjadinya perubahan bentuk dan kelelahan plastis. Grafik nilai stabilitas untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.

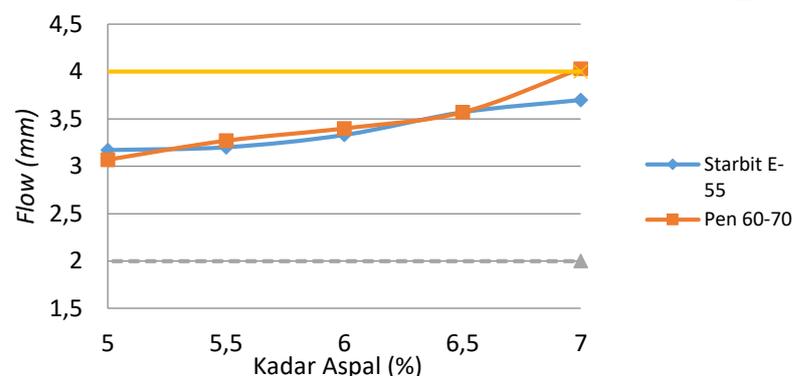


**Gambar 5.6 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Stabilitas pada Campuran AC-WC**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 diatas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran AC-WC semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal sampai pada kondisi tertentu selanjutnya nilai semakin menurun, penurunan terjadi setelah melalui kondisi kadar optimumnya. Nilai stabilitas menurun dikarenakan jumlah aspal yang terlalu banyak, sehingga aspal yang fungsinya sebagai pengikat antar agregat berubah fungsinya menjadi pelicin setelah melewati kondisi optimum. Dari grafik tersebut dapat diketahui bahwa nilai stabilitas campuran AC-WC yang menggunakan bahan ikat aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Hal tersbut disebabkan oleh kekerasan aspal Starbit E-55 yang lebih tinggi, sehingga campuran menjadi lebih stabil. Adapun penelitian yang dilakukan Putra (2017) juga menyatakan bahwa nilai stabilitas pada campuran berbahan ikat Starbit lebih tinggi dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70. Hal tersebut dapat terjadi karena kekuatan ikatan antar partikel pada aspal Starbit lebih baik dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.

## 2. Kelelehan (*Flow*)

*Flow* (Kelelehan) merupakan perubahan bentuk dari campuran akibat adanya beban sampai batas runtuh. Nilai *flow* yang rendah menimbulkan campuran akan cenderung mudah mengalami retak, sebaliknya apabila nilainya besar akan mudah berdeformasi. Grafik nilai *flow* untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.

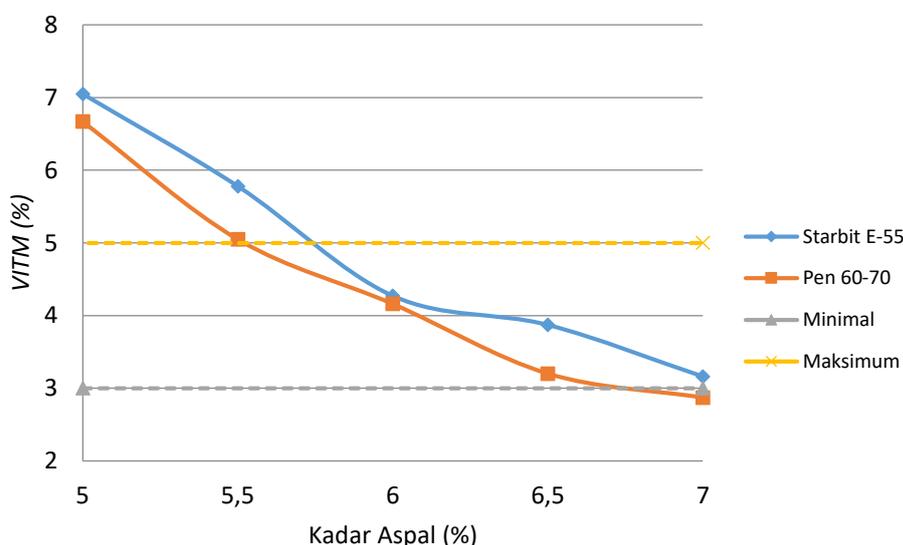


**Gambar 5.7 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Flow* pada Campuran AC-WC**

Dari grafik pada Gambar 5.7 dapat dilihat semakin besar kadar aspal, maka nilai *flow* akan mengalami peningkatan. Nilai *flow* yang meningkat diakibatkan karena meningkatnya kadar aspal pada campuran sehingga campuran akan menjadi plastis yang dapat menyebabkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi).

### 3. *Void in Total Mix (VITM)*

*Void in total mix* merupakan persen rongga dalam agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Semakin tinggi nilai *VITM* menyebabkan durabilitas menurun dan kemungkinan *bleeding* menjadi besar. Adapun grafik nilai *VITM* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



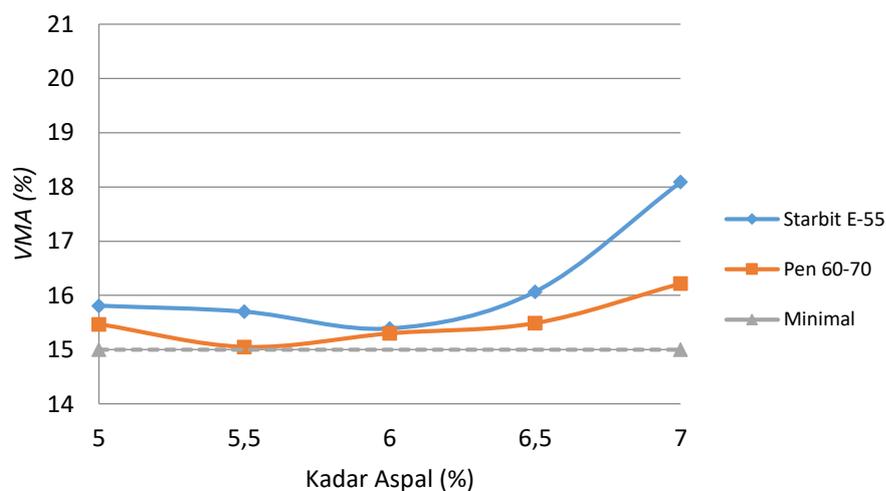
**Gambar 5.8 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM* pada Campuran AC-WC**

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.8 dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar aspal yang digunakan, maka nilai *VITM* pada campuran semakin menurun. Secara umum nilai *VITM* pada campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55 dan aspal Pertamina pen 60/70 sama-sama mengalami penurunan. Akan tetapi campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70, pada kadar

aspal yang sama. Hal tersebut terjadi karena aspal Starbit E-55 memiliki kekerasan yang tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Semakin besar rongga pada campuran, maka campuran menjadi lebih porus sehingga memungkinkan untuk dilalui air dan udara, hal tersebut dapat menurunkan durabilitas dari campuran. Hal tersebut senada dengan penelitian yang dilakukan oleh Anggiani, dkk (2019). Menurutnya campuran dengan bahan ikat berpenetrasi rendah dapat memperbesar nilai *VITM* campuran. Hal ini terjadi karena bahan ikat lebih sulit mengisi rongga.

#### 4. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

*Void in mineral aggregate* merupakan jumlah pori yang ada di antara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. Nilai *VMA* akan meningkat jika selimut aspal tebal. Adapun grafik nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



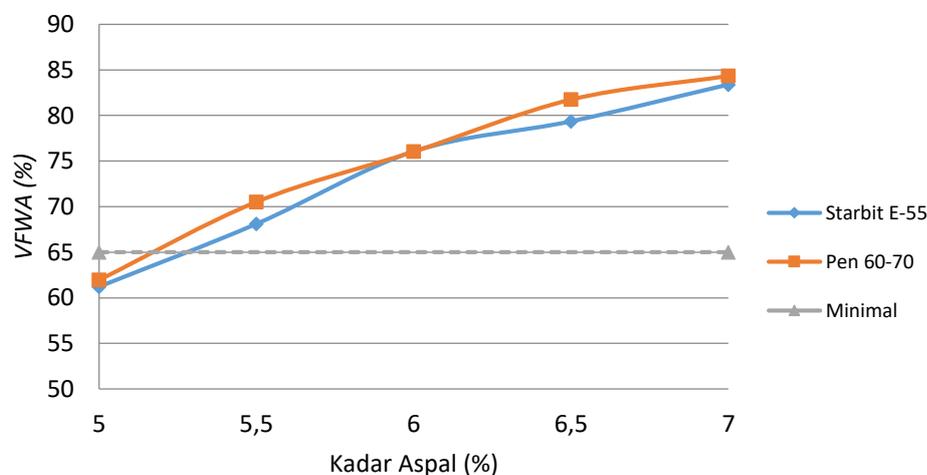
**Gambar 5.9 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VMA* pada Campuran AC-WC**

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan mulai meningkat setelah mencapai batas optimum. Hal ini disebabkan aspal selain berfungsi sebagai bahan ikat juga berfungsi sebagai bahan pelicin pada saat pemadatan. sehingga

dapat membantu agregat menempati posisinya sedemikian sehingga campuran menjadi rapat, yang ditandai dengan penurunan nilai *VMA*. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal. Hal tersebut senada dengan penelitian Asmaeel dan Waheed (2014) yang menyatakan bahwa campuran dengan bahan ikat aspal polimer akan memiliki selimut aspal yang lebih tebal dan lebih tahan terhadap *fatigue*. Dari hasil pengujian bahwa nilai *VMA* campuran *AC-WC* dengan menggunakan kedua jenis aspal memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu  $> 15\%$ .

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

*Void filled with asphalt* adalah volume pori beton aspal yang terisi aspal setelah proses pemadatan. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi aspal sehingga kedekatan terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai *VFWA* rendah maka kedekatannya terhadap air dan udara juga rendah. Adapun grafik nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut ini.



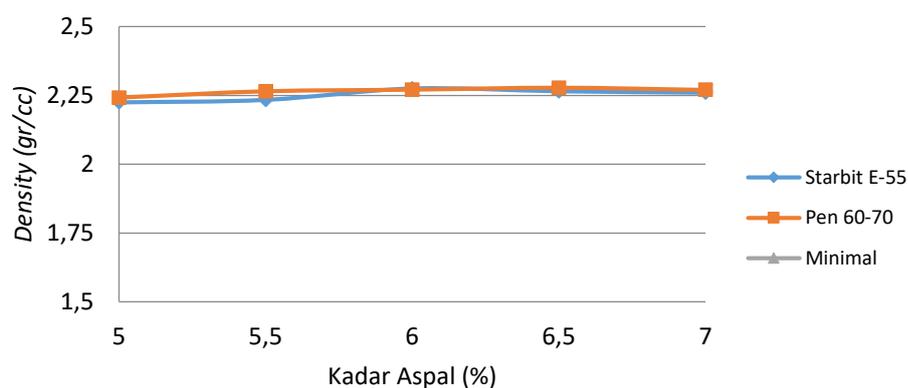
**Gambar 5.10 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VFWA* pada Campuran *AC-WC***

Dilihat dari grafik pada Gambar 5.10 dapat diketahui bahwa semakin banyak kadar aspal yang digunakan maka nilai *VFWA* akan semakin besar, hal ini dikarenakan aspal yang mengisi rongga akan semakin banyak. Dalam grafik terlihat bahwa pada kadar aspal yang sama, campuran *AC-WC* yang

menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 memiliki nilai *VFWA* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran *AC-WC* dengan aspal Starbit E-55. Hal tersebut terjadi karena aspal Pertamina pen 60/70 dapat lebih mudah mengisi rongga campuran yang disebabkan oleh kekerasan aspal Pertamina pen 60/70 yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal Starbit E-55. Semakin kecil rongga pada campuran, maka campuran menjadi lebih kedap terhadap air dan udara, akan tetapi dapat menimbulkan terjadinya *bleeding*. Hal ini juga senada dengan penelitian Ramadhan (2014) yang meneliti karakteristik campuran menggunakan bahan ikat Retona Blend E-55 dengan Starbit E-55. Menurut penelitiannya, campuran yang menggunakan bahan ikat dengan penetrasi lebih rendah dapat memperkecil nilai *VFWA* campuran tersebut.

#### 6. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran. Semakin besar kadar aspal yang digunakan dalam campuran maka semakin tinggi kepadatan dan kerapatannya. Hal tersebut terjadi karena jumlah aspal yang semakin besar yang dapat mengisi rongga antar butir. Nilai kepadatan (*density*) dipengaruhi beberapa faktor diantaranya gradasi bahan, temperatur pemadatan, jumlah pemadatan dan penggunaan kadar aspal dalam campuran. Adapun grafik nilai kepadatan dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.

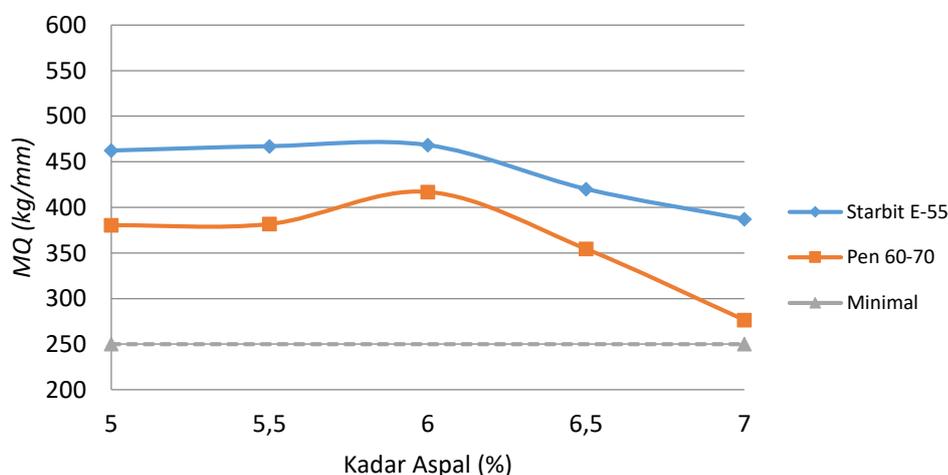


**Gambar 5.11 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *Density* pada Campuran *AC-WC***

Dari Gambar 5.11 dapat diketahui nilai *density* pada campuran AC-WC mempunyai perubahan yang tidak signifikan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena semakin besarnya kadar aspal maka jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir sama besarnya, sehingga campuran menjadi padat dan kedap air. Dapat disimpulkan nilai kepadatan campuran AC-WC baik yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 maupun aspal Starbit E-55 telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018, dengan nilai minimal 2 gr/cc.

#### 7. Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quotient* adalah hasil bagi dari nilai stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan (fleksibilitas) dari campuran agregat aspal, semakin kecil nilai *MQ* maka campuran akan semakin lentur tetapi cenderung kurang stabil, dan sebaliknya jika semakin besar nilai *MQ* maka campuran akan semakin kaku dan memiliki kelenturan yang rendah. Adapun grafik nilai *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



**Gambar 5.12 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Marshall Quotient (MQ) pada Campuran AC-WC**

Dari Gambar 5.12 dapat diketahui bahwa semakin besar kadar aspal, maka nilai *MQ* relatif turun dikarenakan kadar aspal yang semakin banyak menyebabkan

nilai *flow* yang semakin besar sehingga campuran semakin lentur (*flexible*). Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *MQ* adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan. Nilai *MQ* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih besar. Hal ini senada dengan penelitian Putra (2017) yang menyatakan bahwa nilai *MQ* campuran yang menggunakan Starbit E60 lebih besar. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi lebih kaku dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Pen 60/70, hal itu dipengaruhi oleh titik lembek starbit yang lebih tinggi dibanding Pen 60/70 dan juga dibuktikan dengan hasil pengujian *stifnees bitumen*. Nilai *MQ* dari keseluruhan campuran telah memenuhi persyaratan minimum spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 250 kg/mm.

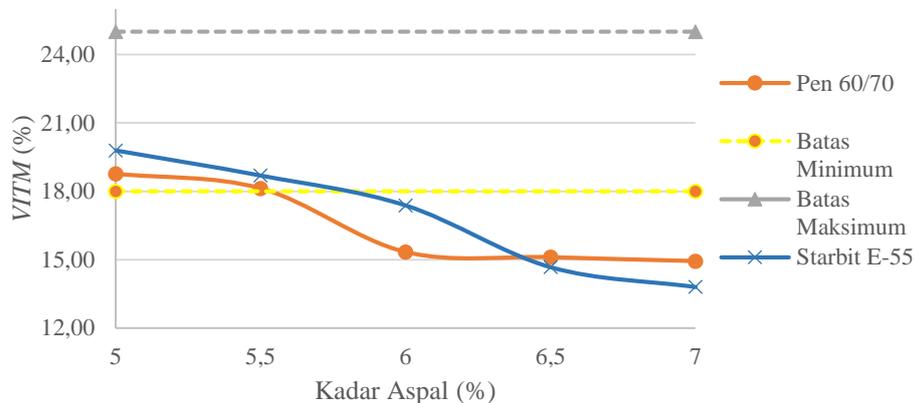
#### 5.2.5 Karakteristik *Marshall*, *CL*, dan *AFD* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Porus Menggunakan Pen 60/70 dan Starbit E-55

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)* dalam menentukan KAO campuran Aspal Porus menggunakan tiga parameter, yaitu karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

##### 1. Karakteristik *Marshall*

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

*VITM* adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VITM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. *AAPA (2004)* mensyaratkan batas nilai *VITM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%. Nilai *VITM* yang besar bertujuan agar campuran memiliki permeabilitas yang tinggi, akan tetapi hal ini mengakibatkan air dapat dengan mudah memasuki campuran melalui rongga tersebut sehingga dapat menyebabkan penurunan durabilitas campuran. Adapun nilai *VITM* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut.



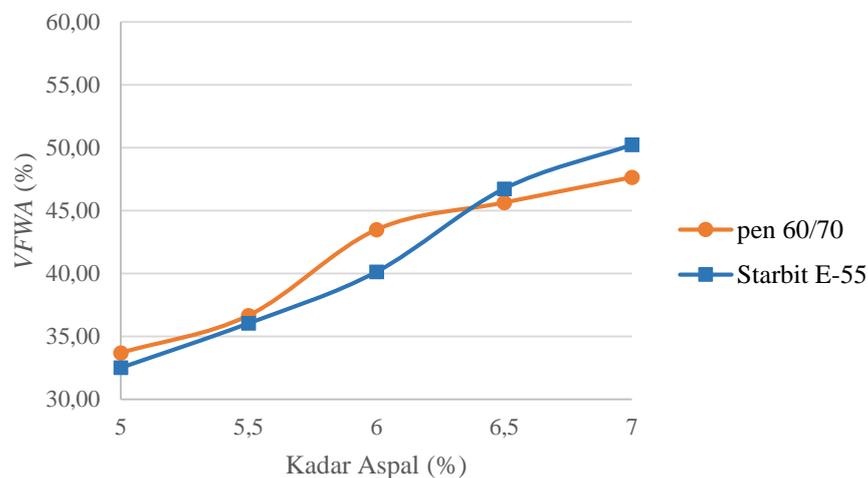
**Gambar 5.13 Hubungan Kadar Aspal dengan Nilai VITM Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VITM* pada campuran tersebut. Penurunan nilai *VITM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran semakin kecil. Semakin rendah nilai *VITM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding* dan semakin tinggi juga resiko campuran mengalami penurunan durabilitas. Nilai *VITM* campuran aspal porus yang menggunakan aspal Starbit E-55 cenderung lebih besar, hal tersebut disebabkan oleh kekerasan aspal Starbit E-55 yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi *AAPA 2004* yaitu pada kadar 5% sampai 5,55% untuk aspal Pertamina pen 60/70, dan kadar 5% sampai 5,80% untuk aspal Starbit E-55.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

*Void filled with asphalt* merupakan volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal setelah campuran dipadatkan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh suhu, rongga dalam mineral, kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak, kedekatan terhadap air dan udaranya meningkat, sehingga meningkatkan durabilitas campuran hingga kondisi tertentu. Sedangkan jika nilai *VFWA* semakin

rendah maka tingkat kededapan terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai *VFWA* yang dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut.

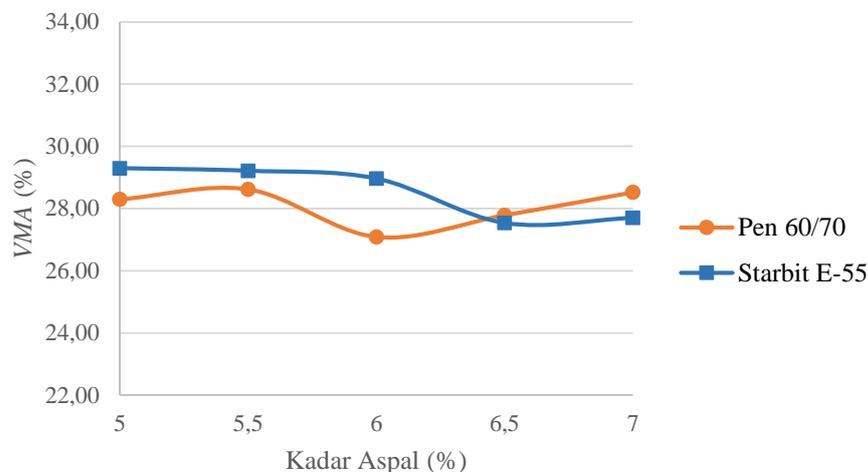


**Gambar 5.14 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai *VFWA* Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat diketahui bahwa semakin besar kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah, aspal yang mengisi rongga menjadi semakin banyak. Penyerapan yang terjadi pada gradasi terbuka cukup besar yang mengakibatkan aspal yang diserap oleh agregat juga besar, sehingga aspal yang menutupi rongga pada campuran menjadi lebih kecil. Nilai *VFWA* campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 relatif lebih besar. Hal tersebut terjadi karena aspal Pertamina pen 60/70 memiliki kekerasan yang lebih rendah dibandingkan dengan aspal Starbit E-55, sehingga lebih mudah mengisi rongga. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, temperatur dan jumlah pemadatan.

c. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

*Void in the mineral agregat* merupakan jumlah pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. *VMA* akan meningkat pada campuran yang menggunakan gradasi terbuka. Berikut nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.15.

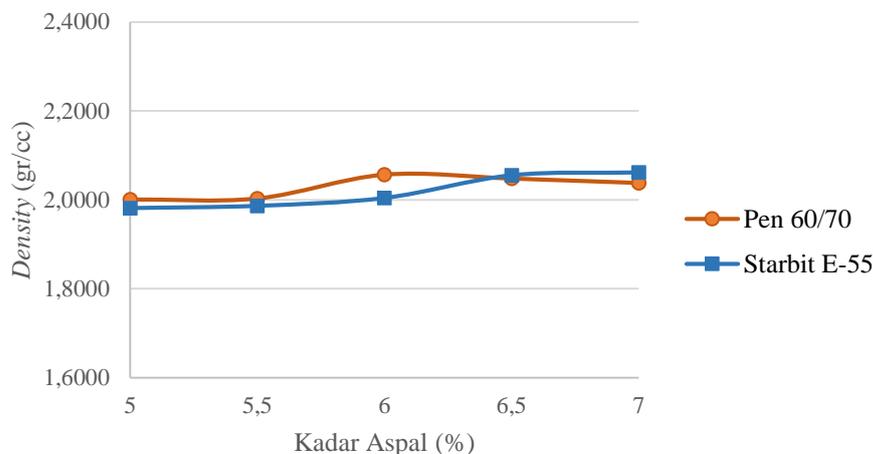


**Gambar 5.15 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai VMA Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan kemudian meningkat setelah mencapai batas optimum. Hal ini disebabkan karena pada kadar aspal yang rendah, rongga antar agregat yang tersedia untuk ditempati oleh aspal juga akan semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya pada kadar aspal yang tinggi maka rongga antar agregat yang tersedia juga tinggi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal.

d. *Kepadatan (Density)*

*Kepadatan (density)* merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *density* adalah suhu pemadatan, komposisi penyusun, jumlah *filler*, dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki suatu campuran maka tingkat kepadatan dan kerapatannya juga akan semakin tinggi sampai pada kondisi maksimum. Semakin tinggi kepadatan (*density*) suatu campuran, semakin tinggi juga nilai durabilitas campuran tersebut. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium didapatkan grafik nilai *density* sebagai berikut.

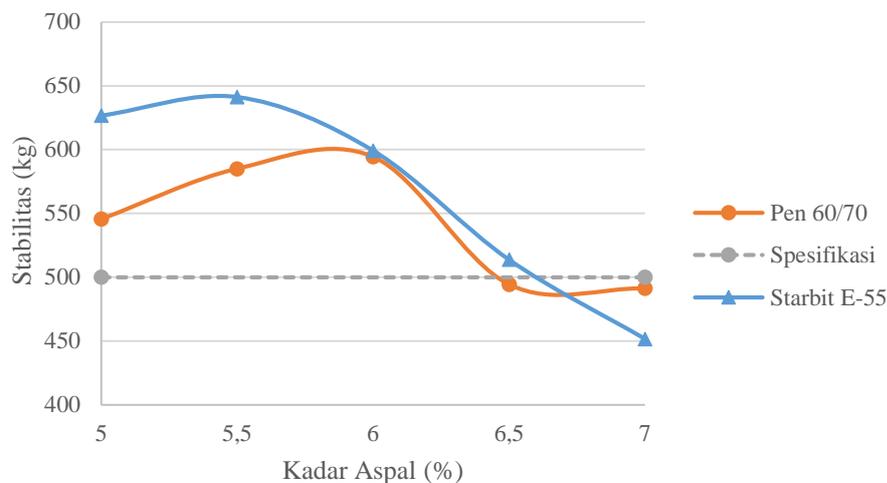


**Gambar 5.16 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai *Density* Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui nilai *density* campuran mengalami perubahan tetapi tidak signifikan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang digunakan memiliki sifat mudah cair. Nilai *density* yang berubah juga disebabkan oleh gradasi yang digunakan banyak menggunakan agregat kasar, sehingga mengakibatkan rongga yang ada akan semakin besar pada kadar aspal rendah.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Banyak faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan, misalnya gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat, luas bidang kontak antar agregat dan atau bentuk/tekstur dari agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan teal selimut aspal yang menyelubungi agregat. Adapun kohesi atau gaya ikat aspal, menyebabkan aspal mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi ditentukan berdasarkan hasil uji penetrasi aspal, perubahan temperatur, perubahan viskositas, tingkat pembebanan, kandungan bahan kimia dari aspal, dan umur aspal. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.17.

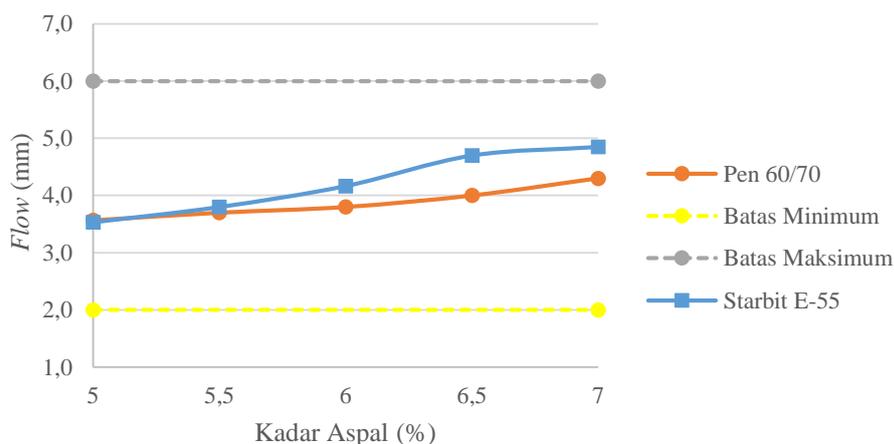


**Gambar 5.17 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai Stabilitas Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu  $>500$  kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai optimum pada kadar 5,5% dan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat hingga mencapai optimum lalu mengalami penurunan setelah titik optimum disebabkan karena peran aspal berubah menjadi pelicin saat kadar aspal terlalu banyak pada campuran. Dapat diketahui juga campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas yang jauh lebih besar. Hal ini terjadi karena aspal Starbit E-55 memiliki angka penetrasi atau kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70, sehingga campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih stabil terhadap deformasi permanen. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Arsyad (2012) dapat diketahui bahwa campuran aspal porus yang menggunakan aspal modifikasi memiliki nilai stabilitas yang jauh lebih baik. Hal ini terjadi karena aspal modifikasi memiliki kinerja dan sifat fisik yang dapat menunjang dan meningkatkan fungsi dari campuran.

f. *Flow*

Kelelehan (*flow*) menyatakan besarnya penurunan vertikal campuran akibat beban sampai batas runtuh. *Flow* diperlukan agar supaya perkerasan memiliki daerah mulur akibat pembebanan, sehingga saat terjadi pembebanan, campuran memulur atau memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Semakin tinggi nilai *Flow* suatu campuran, maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran tersebut, hal tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal. Semakin rendah nilai *flow* campuran, maka akan semakin rendah fleksibilitas campuran. *Flow* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu, gradasi agregat, kadar aspal dan temperatur saat pemadatan. Berikut ini adalah grafik nilai *flow* yang didapatkan dari pengujian, dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut.



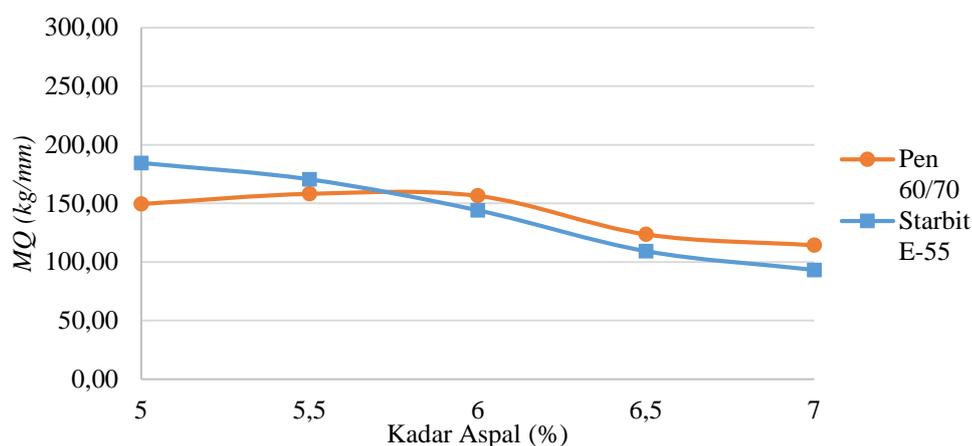
**Gambar 5.18 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai *Flow* Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.18 dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu berada diantara 2 mm – 6 mm. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan akibat semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi. Hal ini juga senada

dengan hasil penelitian Asmaeel dan Waheed (2018) yang menyatakan bahwa aspal polimer meningkatkan kelenturan campuran pada suhu tinggi.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* dapat menyatakan kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran. Nilai *MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Jika nilai *MQ* suatu campuran tinggi maka campuran tersebut cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya bila suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah maka campuran tersebut memiliki fleksibilitas tinggi tapi cenderung kurang stabil. Nilai *MQ* yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut.



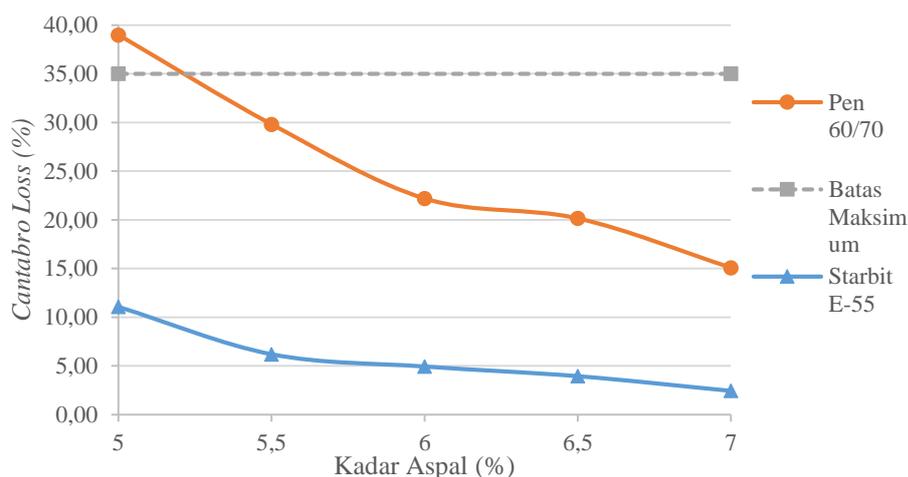
**Gambar 5.19 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan *Marshall Quotient* Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka akan semakin rendah nilai *MQ*, hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kadar aspal menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai *MQ* akan cenderung besar yang berarti campuran bersifat kaku dan plastis. Nilai kekakuan campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 pada kadar aspal sebelum mencapai kadar aspal optimum. Hal tersebut disebabkan oleh nilai stabilitas

campuran. Dapat disimpulkan campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 cenderung lebih kaku dibandingkan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Faktor–faktor yang mempengaruhi nilai  $MQ$  adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan. Adapun penelitian lain yang menyatakan bahwa aspal polimer dapat menambah kekakuan campuran adalah penelitian yang dilakukan oleh Anggiani, dkk (2019). Menurut penelitiannya, campuran aspal porus yang menggunakan aspal polimer JAP-57 lebih kaku dibandingkan dengan campuran aspal porus yang menggunakan aspal pen 60/70.

## 2. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mempertahankan bentuk dan berat campuran dari keausan akibat dari repetisi beban yang diuji menggunakan mesin *Loss Angeles*. Pengujian ini juga merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Adapun hasil pengujian *Cantabro Loss* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut.

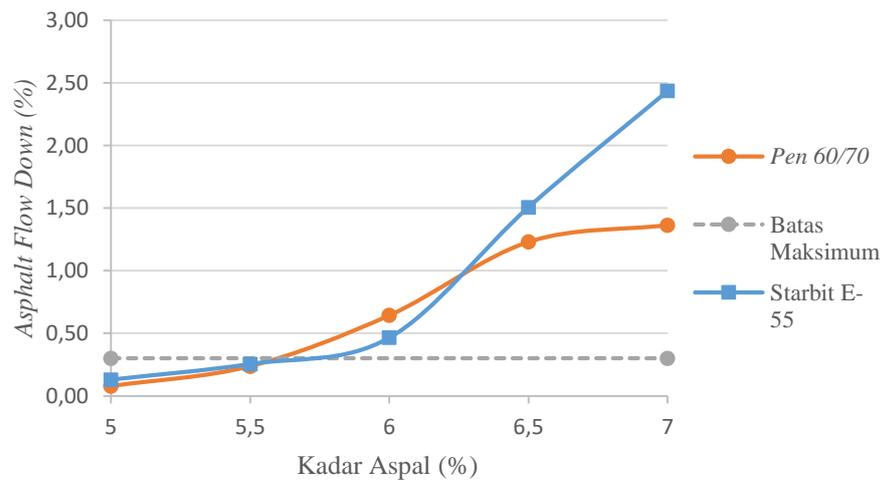


**Gambar 5.20 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Nilai *Cantabro Loss* Campuran Aspal Porus**

Dari Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa nilai *cantabro loss* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Bila nilai *cantabro* semakin menurun maka campuran akan semakin tahan terhadap benturan. Hal ini disebabkan oleh daya ikat campuran antara agregat dan aspal semakin baik sehingga meningkatkan kemampuan campuran aspal porus untuk tahan terhadap benturan. Nilai *cantabro loss* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 jauh lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan aspal pen 60/70. Sehingga dapat diketahui dengan kadar yang minimal sekalipun, penggunaan aspal Starbit E-55 dapat meningkatkan ketahanan campuran menjadi jauh lebih kuat dibandingkan dengan menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Mashkooor dan Al-Kaissi (2016) menyatakan bahwa campuran aspal porus yang menggunakan bahan ikat modifikasi atau polimer memiliki ketahanan abrasi yang lebih baik. Hal ini terjadi karena aspal modifikasi polimer memiliki ikatan adesi dan kohesi yang jauh lebih baik dibandingkan dengan aspal biasa.

### 3. Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *Asphalt Flow Down* merupakan parameter untuk mengetahui banyak aspal yang efektif untuk menyelimuti agregat atau sebagai film agregat di dalam campuran, sehingga campuran memiliki durabilitas yang baik. Berdasarkan ketentuan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) besarnya nilai *Asphalt Flow Down* yaitu lebih kecil dari 0,3%. Adapun hasil pengujian *Asphalt Flow Down* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut.



**Gambar 5.21 Hubungan Kadar Aspal Murni dengan Asphalt Flow Down Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui bahwa nilai *Asphalt Flow Down* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Meningkatnya nilai *Asphalt Flow Down* diakibatkan karena banyaknya kadar aspal pada campuran, sehingga aspal pada campuran tidak tercampur dan terpadatkan secara homogen. Semakin meningkatnya jumlah persentase *Asphalt Flow Down* maka pemisahan antara aspal dengan agregat akan semakin meningkat juga, hal ini terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal, sehingga aspal yang melekat pada permukaan terluar akan meleleh dan terpisah dari campuran. Nilai *AFD* campuran menggunakan kedua jenis aspal cenderung sama.

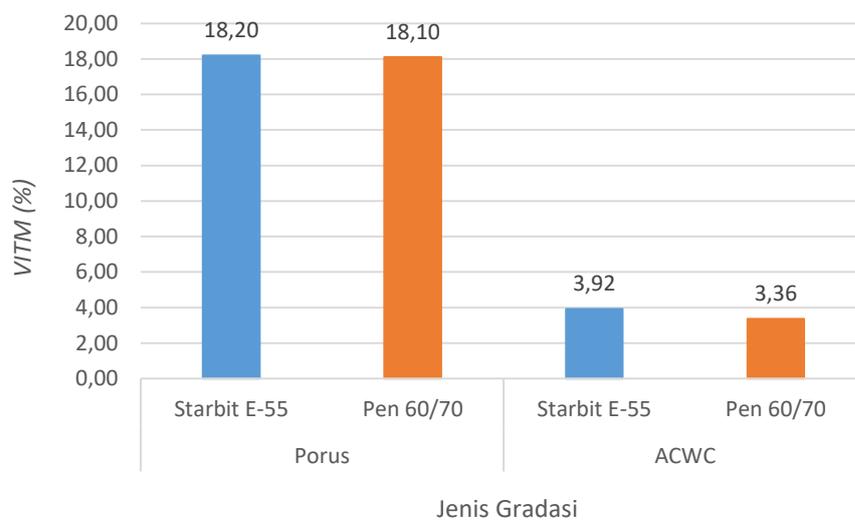
#### 5.2.6 Karakteristik *Marshall Standard* pada Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55

Uji *Marshall* dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran. Parameter dari uji *Marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void filled with Ashphalt*), *VMA* (*Voids in the Mineral Agregat*) dan kepadatan (*Density*). Adapun perbandingan karakteristik *marshall* campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55, dengan campuran aspal porus yang

menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.22 sampai Gambar 5.30 di bawah ini.

#### 1. *VITM*

Hasil perhitungan nilai *VITM* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.22 di bawah ini.



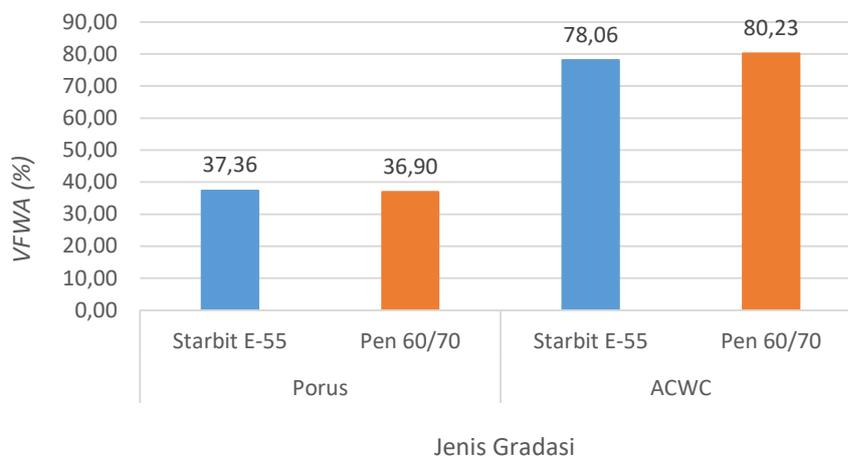
**Gambar 5.22 Perbandingan Nilai *VITM* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat diketahui bahwa campuran *AC-WC* dengan campuran aspal porus memiliki nilai *VITM* yang jauh berbeda. Nilai *VITM* campuran *AC-WC* hanya berkisar pada 3%-4% sedangkan nilai *VITM* campuran aspal porus enam kali jauh lebih besar dari nilai *VITM* campuran *AC-WC*. Sesuai dengan tujuan desain campuran aspal porus, campuran ini direncanakan untuk dapat dilalui air agar tidak terjadi genangan di permukaan perkerasan. Adapun pengaruh penggunaan jenis aspal terhadap nilai *VITM*, dapat diketahui penggunaan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang lebih besar dibandingkan penggunaan aspal Pertamina pen 60/70 pada kedua jenis campuran. Kondisi ini disebabkan karena aspal Starbit E-55 memiliki kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Sehingga aspal Starbit E-55 lebih sulit mengisi rongga dalam campuran. Nilai *VITM* yang besar menyebabkan campuran lebih mudah meloloskan air, sehingga dapat

mengurangi sifat durabilitas aspal. Dapat disimpulkan pengaruh jenis campuran terhadap nilai *VITM* sangat signifikan. Sedangkan perubahan nilai *VITM* akibat penggunaan jenis aspal tidak signifikan. Dari hasil pengujian didapatkan nilai *VITM* pada pengujian *Marshall standard* sebesar 18,10%, dan 18,20% pada campuran aspal porus, sedangkan pada campuran *AC-WC* 3,36%, dan 3,92%. Nilai *VITM* campuran aspal porus dengan Starbit E-55 lebih besar 0,5% dari yang menggunakan aspal Pen 60/70. Sedangkan nilai *VITM* pada campuran *AC-WC* yang menggunakan Starbit E-55 lebih besar 16,6% dari pada yang menggunakan aspal Pen 60/70. Dapat disimpulkan seluruh hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu >18%, dan Bina Marga (2018) yaitu 3% – 5%. Dari hasil uji nilai *VITM*, dapat diketahui penggunaan aspal Starbit E-55 pada campuran aspal porus merupakan campuran yang memiliki nilai *VITM* terbesar pada penelitian ini. Pada penelitian yang dilakukan oleh Anggiani, dkk (2019) mengenai analisis kinerja aspal pen 60/70 dan aspal polimer jap-57 pada campuran aspal porus menyatakan penggunaan aspal polimer pada campuran aspal porus dapat meningkatkan nilai *VITM* menjadi lebih besar dibandingkan penggunaan aspal Pertamina pen 60/70. Menurut Anggiani hal tersebut disebabkan karena aspal polimer memiliki angka penetrasi yang lebih rendah. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Arsyad (2012) juga menyimpulkan bahwa penggunaan bahan ikat yang memiliki angka penetrasi rendah, dapat meningkatkan nilai *VITM* campuran. Hal senada juga dapat ditemukan pada penelitian yang dilakukan oleh Simatupang dan Muis (2013) yang meneliti perbandingan *anti-stripping Wetfix Be* dengan *derbo-401 UN 2375* pada campuran *ACWC*. Penelitian tersebut menyatakan bahwa nilai *VITM* pada campuran *ACWC* akan bertambah besar jika bahan ikat yang digunakan memiliki angka penetrasi yang rendah.

## 2. *VFWA*

Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.23 di bawah ini.



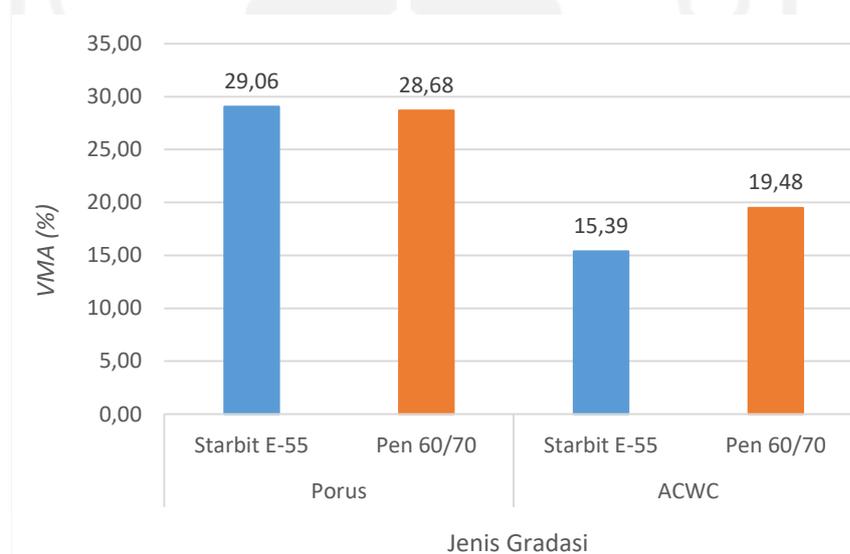
**Gambar 5.23 Perbandingan Nilai VFWA Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai VFWA campuran AC-WC jauh lebih besar dibandingkan campuran aspal porus. Hal tersebut disebabkan oleh gradasi yang digunakan. Karena campuran AC-WC merupakan jenis gradasi menerus, sehingga distribusi agregat pada campuran ini lebih merata. Hal tersebut dapat mempermudah aspal untuk mengisi rongga dalam campuran. Campuran AC-WC menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 memiliki nilai VFWA yang lebih besar dibandingkan dengan campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55. Kondisi ini disebabkan karena penggunaan aspal Pertamina pen 60/70 lebih mudah mengisi rongga campuran AC-WC karena memiliki angka penetrasi yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Starbit E-55. Akan tetapi pada campuran aspal porus, penggunaan aspal Starbit E-55 memiliki nilai VFWA yang lebih besar dibandingkan dengan campuran aspal porus yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Namun perbedaan tersebut tidak lebih dari 0,5%. Nilai VFWA yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Sedangkan nilai VFWA yang rendah, diakibatkan karena campuran menjadi lebih *brittle* karena bahan ikat memiliki nilai penetrasi yang rendah sehingga rongga sulit terisi aspal. Pengaruh jenis campuran pada nilai VFWA adalah signifikan, sedangkan pengaruh penggunaan jenis aspal terhadap nilai VFWA tidak signifikan. Hal yang sama dapat dilihat pada studi yang dilakukan oleh Simatupang dan Muis

(2013). Studi tersebut menyatakan bahwa nilai *VFWA* pada campuran *ACWC* dengan menggunakan jenis aspal modifikasi yang memiliki angka penetrasi tinggi akan mengalami kenaikan. Menurutnya hal ini disebabkan karena aspal dengan viskositas yang lebih rendah dapat lebih mudah mengisi rongga campuran. Menurut AkzoNobel (2011) nilai viskositas yang rendah dapat memudahkan pelapisan agregat dan pemadatan, sehingga rongga campuran lebih mudah terisi.

### 3. *VMA*

Hasil perhitungan nilai *VMA* pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.24 di bawah ini.



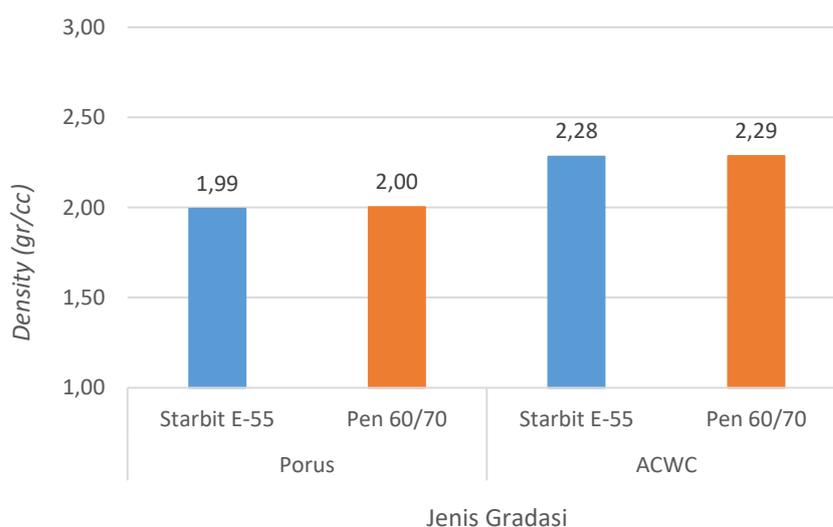
**Gambar 5.24 Perbandingan Nilai *VMA* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* campuran aspal porus lebih besar dibandingkan dengan nilai *VMA* campuran *AC-WC*. Penggunaan aspal Starbit E-55 pada campuran aspal porus memiliki nilai *VMA* yang lebih besar. Nilai *VMA* yang lebih besar diakibatkan karena penggunaan aspal Starbit E-55 mempengaruhi tebal film aspal yang melekat pada agregat menjadi lebih tebal, hal ini terjadi karena aspal Starbit E-55 memiliki angka penetrasi yang rendah sehingga bahan ikat akan bersifat lebih keras dan menjadikan rongga antar agregat semakin kecil. Sedangkan penggunaan aspal

Starbit E-55 pada campuran AC-WC memiliki nilai VMA yang lebih rendah dibandingkan penggunaan aspal Pertamina pen 60/70 pada campuran AC-WC. Nilai VMA campuran aspal porus dengan Starbit E-55 lebih besar 1,3% dari yang menggunakan aspal Pen 60/70. Sedangkan nilai VMA pada campuran AC-WC yang menggunakan Starbit E-55 lebih kecil 20% dari pada yang menggunakan aspal Pen 60/70. Pengaruh pemilihan jenis campuran terhadap nilai VMA merupakan pengaruh yang signifikan. Sedangkan pengaruh jenis aspal tidak signifikan. Hal yang sama dapat diketahui pada penelitian Arsyad (2012), penelitian tersebut menyatakan bahwa aspal yang memiliki tingkat kekerasan lebih besar akan mempengaruhi tebal film aspal yang menyelimuti agregat menjadi semakin tebal. Hal senada ditemukan pada kajian yang dilakukan oleh Susilowati dan Wiyono (2017) mengenai penggunaan bahan *anti-stripping* untuk campuran ACWC juga menyatakan hal yang sama, yaitu dengan penggunaan aspal yang memiliki angka penetrasi rendah akan mengakibatkan nilai VMA pada suatu campuran menjadi lebih besar.

#### 4. Density

Hasil perhitungan nilai *Density* campuran AC-WC dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.25 di bawah ini.

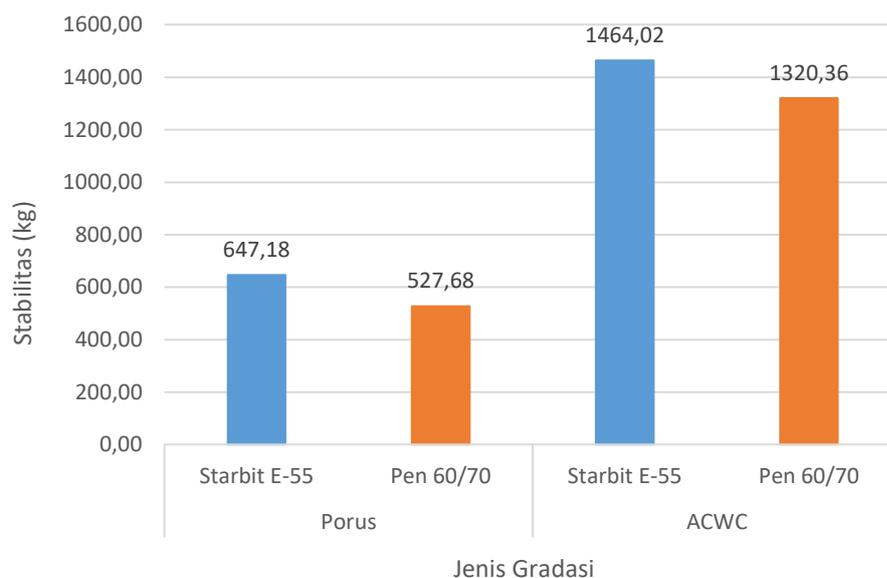


**Gambar 5.25 Perbandingan Nilai *Density* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.25 dapat diketahui bahwa nilai *density* campuran aspal porus lebih rendah dibandingkan dengan campuran *AC-WC*. Hal ini disebabkan karena campuran aspal porus menggunakan gradasi terbuka sedangkan campuran *AC-WC* bergradasi rapat. Nilai *VITM* yang semakin tinggi, menunjukkan bahwa campuran semakin tidak rapa. Pengaruh jenis campuran merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *density*. Dari hasil uji tersebut juga dapat diketahui perbedaan jenis aspal yang digunakan tidak terlalu berpengaruh atau tidak signifikan terhadap nilai *density* campuran.

#### 5. Stabilitas

Hasil pengujian stabilitas pada campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.26 di bawah ini.



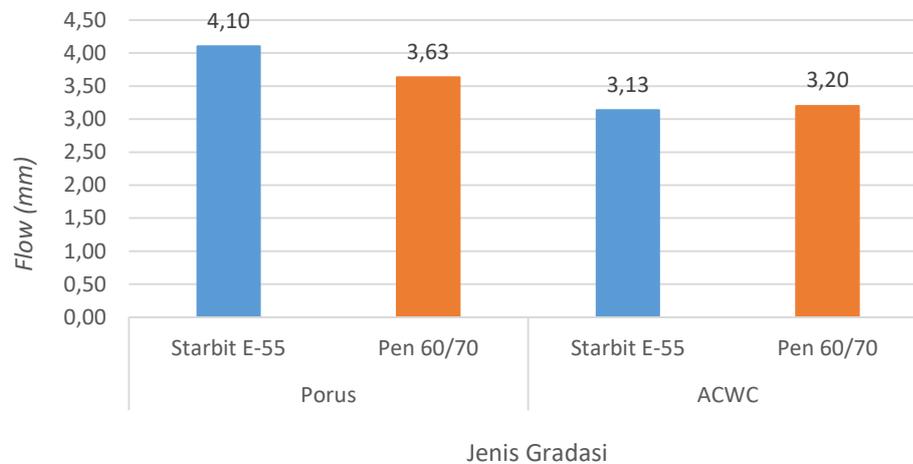
**Gambar 5.26 Perbandingan Nilai Stabilitas Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.26 dapat diketahui bahwa Stabilitas campuran aspal porus tidak lebih besar dibandingkan dengan stabilitas campuran *AC-WC*. Hal tersebut disebabkan karena campuran aspal porus direncanakan untuk melayani lalu lintas rendah, sedangkan campuran *AC-WC* untuk melayani lalu lintas tinggi. Sehingga kapasitas mendukung beban kedua jenis campuran tentu

berbeda. Penggunaan aspal Starbit E-55 memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap nilai stabilitas campuran. Penggunaan aspal Starbit E-55 dapat meningkatkan stabilitas campuran. Hal tersebut disebabkan karena aspal Starbit E-55 mempunyai kekerasan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70, sehingga campuran menjadi lebih stabil dalam menopang beban dan mengurangi terjadinya deformasi plastis pada campuran. Kemampuan campuran untuk mempertahankan ikatan dan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, dan tentunya akan lebih stabil dalam menahan beban. Dapat diketahui pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai stabilitas. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Rahmad dkk (2020) yang menyatakan berdasarkan pengujian fisik aspal polimer PG-67 yang mempunyai angka penetrasi rendah mampu meningkatkan nilai stabilitas campuran. Adapun penelitian Oktafriyadi dkk, (2017) mengenai pengaruh penambahan zat aditif pada campuran ACWC menunjukkan hal yang sama, bahwa nilai stabilitas akan mengalami peningkatan yang dipengaruhi oleh sifat keras dari bahan ikatnya. Dapat diketahui pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai stabilitas. Nilai stabilitas campuran menggunakan aspal Starbit E-55 pada campuran AC-WC lebih tinggi 11%, sedangkan pada campuran aspal porus adalah 22%.

#### 6. *Flow*

Kelelehan (*Flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Semakin tinggi nilai kelelehan (*Flow*) pada campuran, maka semakin tinggi juga tingkat kelenturan campuran. Semakin rendah nilai daktalitas suatu campuran, maka semakin rendah juga sifat fleksibilitas suatu campuran. Adapun hasil pembacaan nilai kelelehan (*flow*) pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.27 di bawah ini.



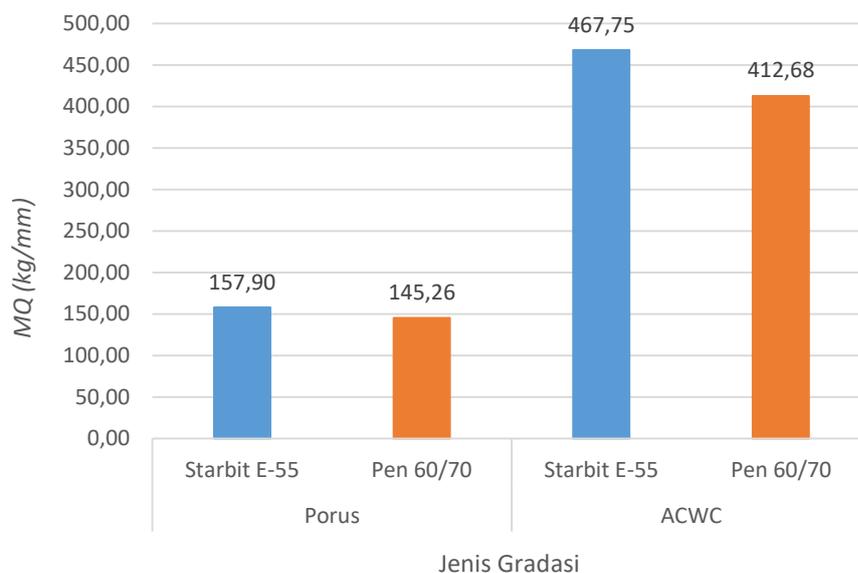
**Gambar 5.27 Perbandingan Nilai *flow* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Nilai *flow* pada campuran aspal porus lebih tinggi dibandingkan campuran AC-WC. Campuran aspal porus memiliki nilai *flow* yang lebih besar diakibatkan karena campuran memiliki rongga dalam lebih besar, sehingga campuran tersebut dapat mengikuti deformasi alur lebih besar sebelum terjadinya deformasi plastis. Ditinjau dari penggunaan jenis aspal, campuran aspal porus yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi, karena aspal Starbit E-55 merupakan aspal modifikasi polimer yang bersifat elastomer. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai *VFWA* dan *VMA* yang lebih besar pada campuran aspal porus yang menggunakan aspal Starbit E-55. Menurut Arsyad (2012), penggunaan aspal modifikasi dengan kekerasan tinggi pada campuran aspal porus dapat meningkatkan kelelahan campuran tersebut. Sedangkan nilai *flow* pada campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih rendah dibandingkan dengan yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70, namun hanya sebesar 0,1 mm. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai *VFWA* dan *VMA* campuran AC-WC. Pada penelitian yang dilakukan oleh Pangraya (2015) dapat diketahui nilai *flow* campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Staabit E-55 tidak jauh berbeda. Menurutnya nilai *flow* yang berbeda dipengaruhi oleh nilai volumetric campuran. Nilai *flow* yang tinggi mengakibatkan campuran cenderung elastis, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Dapat

diketahui pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *flow* campuran.

#### 7. Marshall Quotient (MQ)

Nilai *MQ* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dapat dilihat pada Gambar 5.28 di bawah ini.

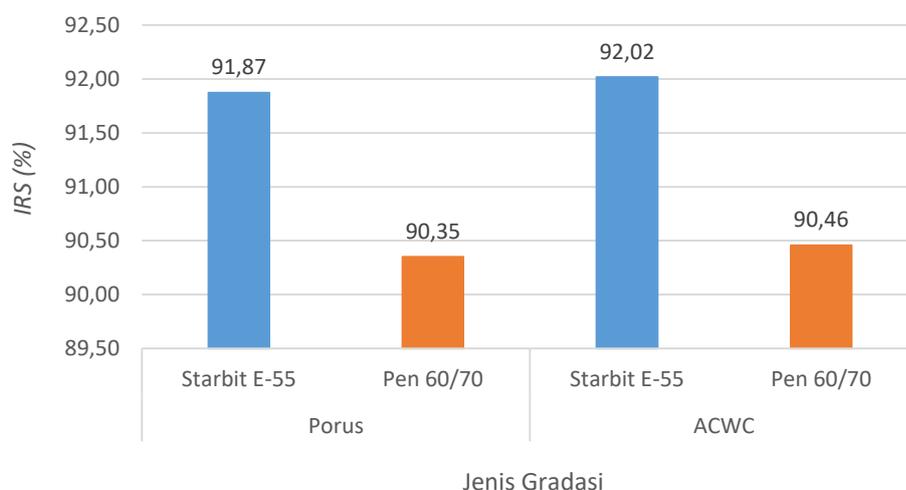


**Gambar 5.28 Perbandingan Nilai *MQ* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan Gambar 5.28 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* campuran aspal porus lebih rendah dibandingkan dengan campuran AC-WC. Hal tersebut terjadi karena campuran aspal porus memiliki nilai stabilitas yang rendah, dan didesain memungkinkan untuk berdeformasi lebih besar tanpa terjadinya retak atau deformasi plastis. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai kelelahan yang rendah, dalam hal ini mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Sedangkan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran memiliki sifat *overelastis* dan mudah mengalami perubahan deformasi. Hal yang sama dapat dilihat pada kajian yang dilakukan Pangraya (2015). Penggunaan aspal Starbit E-55 dapat menambah kekakuan

campuran, hal ini diakibatkan oleh nilai *stiffness bitumen* aspal Starbit E-55 yang relatif tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Lalu dari penelitian Anggiani dkk (2019) dapat diketahui nilai *MQ* aspal polimer lebih besar dibandingkan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini dipengaruhi oleh nilai stabilitas campuran yang tinggi dan disebabkan karena nilai kekerasan aspal yang tinggi berdasarkan nilai penetrasi, sehingga kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan pada posisinya semakin bertambah dan campuran tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban. Pengaruh pemilihan jenis campuran terhadap nilai *MQ* merupakan pengaruh yang signifikan. Sedangkan pengaruh jenis aspal tidak signifikan. Nilai *MQ* campuran menggunakan aspal Starbit E-55 pada campuran AC-WC lebih tinggi 13%, sedangkan pada campuran aspal porus adalah 8,7%.

5.2.7 Karakteristik *Index Retained Strength (IRS)* pada Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55  
*IRS* merupakan metode untuk mengetahui besar kekuatan sisa yang dimiliki oleh campuran aspal beton akibat perendaman pada suhu yang ekstrim. Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas pada rendaman (*Immersion*) 24 jam dengan nilai stabilitas *marshall standard*. Adapun hasil perhitungan *IRS* dengan penambahan *wetfix be* dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



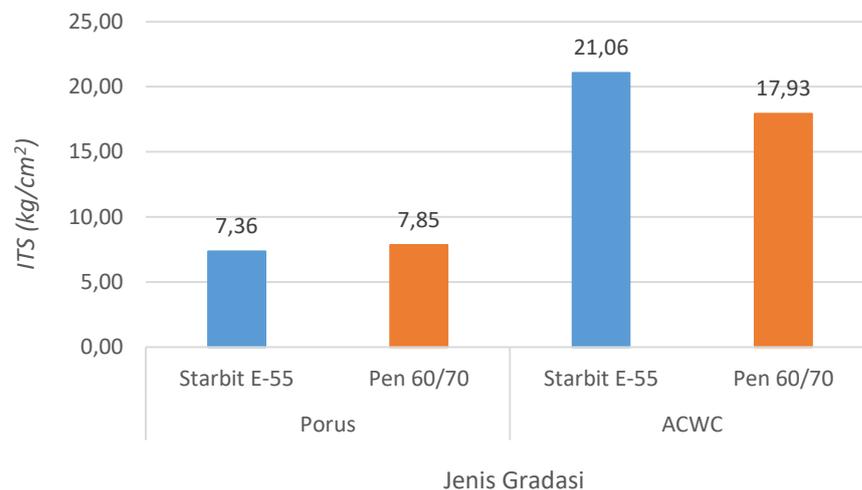
**Gambar 5.29** Perbandingan Nilai *IRS* Seluruh Campuran Kondisi KAO

Berdasarkan Gambar 5.29 dapat diketahui kedua jenis campuran baik AC-WC maupun aspal porus yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 memiliki nilai *IRS* di atas 90%, yang artinya kekuatan stabilitas kedua campuran hilang tidak lebih dari 10% akibat dari rendaman selama 24 jam dengan temperatur kritis yaitu 60°C. Adapun campuran AC-WC menggunakan aspal Starbit E-55 merupakan campuran yang memiliki nilai *IRS* tertinggi yaitu 92,02%. Hal tersebut disebabkan karena aspal Starbit E-55 memiliki ketahanan yang tinggi terhadap temperatur dibandingkan aspal Pertamina pen 60/70. Adapun penelitian lain yang senada dengan hasil penelitian ini yaitu penelitian yang dilakukan Fauziah dan Handaka (2016). Penelitian tersebut menyatakan bahwa ketahanan campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih baik dibandingkan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Dalam penelitiannya dilakukan rendaman hingga 72 jam menggunakan air hujan. Berdasarkan hasil penelitiannya, campuran SMA dengan menggunakan aspal Starbit E-55 mampu mempertahankan kekuatannya lebih lama dibandingkan dengan campuran SMA yang menggunakan pen 60/70. Menurutnya hal ini dipengaruhi oleh nilai *VITM* campuran SMA yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih kecil dibandingkan dengan nilai *VITM* campuran SMA yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70.

Nilai *IRS* terendah pada penelitian ini adalah pada campuran aspal porus menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 yaitu 90,35%. Nilai *IRS* masih memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu >90%. Perkerasan yang memiliki nilai *IRS* yang lebih dari 90% dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut cukup tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur. Pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *IRS* campuran. Adapun penelitian yang membahas pengaruh gradasi terhadap durabilitas yaitu penelitian yang dilakukan oleh Chasanah dan Putra (2019) mengenai pengaruh kadar agregat halus dan *filler* terhadap campuran AC-WC. Penelitian ini menyatakan bahwa campuran yang memiliki kadar agregat halus lebih banyak akan memiliki nilai *IRS* yang lebih besar. Hal ini senada dengan hasil penelitian bahwa nilai *IRS* campuran AC-WC lebih besar dibandingkan dengan nilai *IRS* campuran aspal porus. Adapun penelitian Rizkianto dkk (2015), menurut hasil

penelitiannya semakin kecil rongga dalam pada campuran maka semakin besar ketahanan campuran untuk menerima gaya tekan, dan dapat meningkatkan durabilitas campuran tersebut.

5.2.8 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55 *Indirect tensile strength* merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan. Adapun hasil pengujian *ITS* dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.



**Gambar 5.30 Perbandingan Nilai *ITS* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

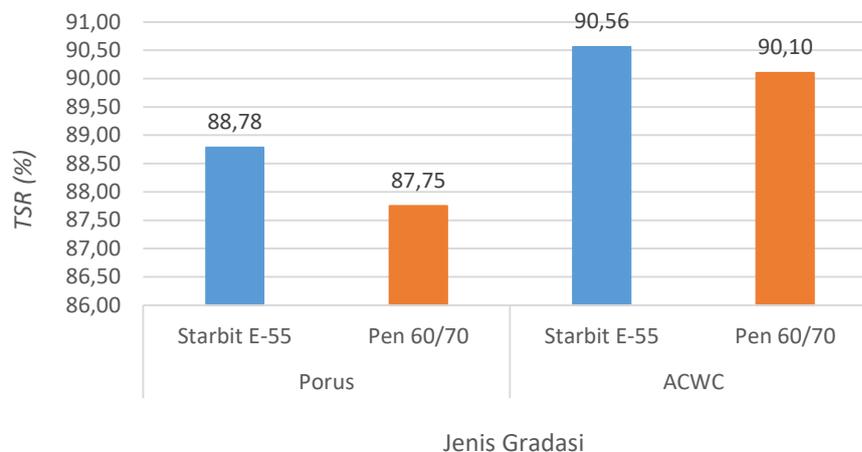
Dari Gambar 5.30 dapat diketahui bahwa campuran AC-WC memiliki nilai *ITS* yang lebih besar dibandingkan dengan campuran aspal porus. Hal tersebut disebabkan karena aspal porus memiliki kadar aspal optimum yang lebih sedikit dibandingkan campuran AC-WC sehingga lebih lemah dalam menahan gaya tarik. Hal ini senada dengan penelitian yang dilakukan Rizkianto dkk (2015) yang menyatakan bahwa seiring dengan semakin mengecil rongga pada campuran maka kekuatan campuran untuk menahan gaya tarik semakin baik. Hal ini terjadi karena rongga yang semakin terisi pada campuran meningkatkan *interlocking* antar agregat pada campuran. Sehingga ikatan antar agregat pada campuran semakin kokoh. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Subarkah dan Romadhona (2015)

menyimpulkan bahwa campuran dengan gradasi rapat memiliki nilai ketahanan terhadap gaya tarik dan gaya tekan yang lebih baik dibandingkan dengan campuran bergradasi timpang. Menurutnya hal tersebut dipengaruhi oleh kadar rongga udara pada campuran.

Kemudian dari gambar tersebut dapat diketahui campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *ITS* lebih besar 18% dibandingkan dengan AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Hal yang sama dapat ditemukan pada penelitian Gani dan Tronge (2012), bahwa penggunaan bahan ikat yang memiliki kekerasan lebih baik dapat meningkatkan nilai *ITS*. Oleh sebab itu campuran tersebut memiliki ikatan yang lebih kuat dan lebih baik dalam mempertahankan agregat pada posisinya. Penelitian yang dilakukan oleh Pangraya (2015) juga menyatakan nilai *ITS* pada campuran AC-WC yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Akan tetapi berdasarkan hasil pengujian, campuran aspal porus yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *ITS* yang lebih rendah dari campuran aspal porus yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70, tetapi tidak lebih dari 5%. Nilai *ITS* yang tinggi menyebabkan campuran menjadi lebih tahan terhadap tarik/retak dan kehilangan kekuatan untuk mempertahankan ikatannya. Nilai *ITS* tertinggi pada campuran aspal porus dengan kadar pemabahan campuran AC-WC menggunakan aspal Starbit E-55, yaitu 21,06 kg/cm<sup>2</sup>. Pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *ITS* campuran.

#### 5.2.9 Karakteristik *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55

*Tensile Strength Ratio* merupakan metode untuk mengetahui besar kekuatan sisa gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton akibat rendaman 24 jam dengan suhu kritis. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal. Adapun hasil pengujian *TSR* dapat dilihat pada Gambar 5.31 berikut.



**Gambar 5.31 Perbandingan Nilai *TSR* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

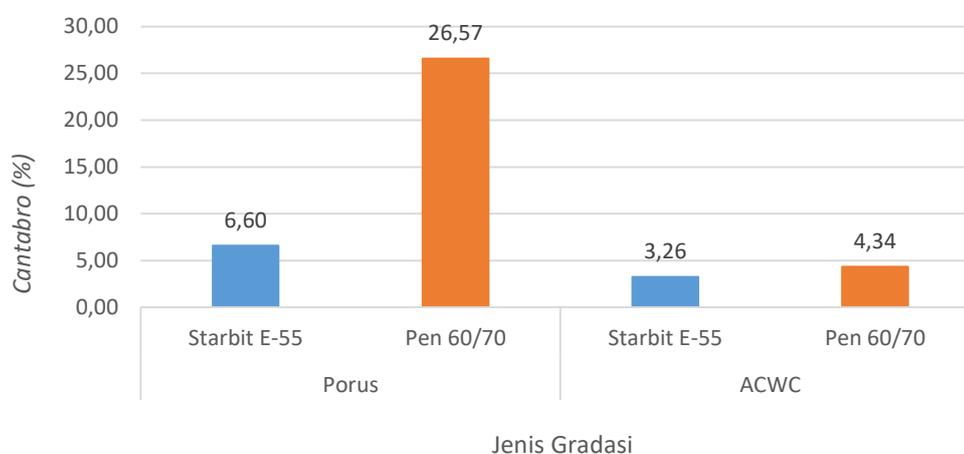
Dari Gambar 5.31 dapat diketahui campuran *AC-WC* memiliki kemampuan menahan gaya tarik lebih besar pada kondisi setelah mengalami perendaman 24 jam dengan tempertatur tinggi dibandingkan campuran aspal porus. Hal tersebut membuktikan campuran *AC-WC* lebih tahan terhadap tarik/retak dalam kondisi kritis sekalipun. Nilai *TSR* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan campuran yang menggunakan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini disebabkan karena ketahanan aspal Starbit E-55 terhadap temperatur sangat baik, dibuktikan dengan nilai titik lembek aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Nilai *TSR* tertinggi adalah pada campuran *AC-WC* menggunakan aspal Starbit E-55, yaitu 90,56%. Asphalt Institute mensyaratkan nilai *TSR* minimal untuk campuran struktural yaitu >80%, maka dapat disimpulkan seluruh campuran pada penelitian ini tahan terhadap kerusakan kuat tarik tidak langsung yang disebabkan oleh air dan temperatur. Pengaruh jenis campuran terhadap nilai *TSR* merupakan pengaruh yang signifikan, sedangkan pengaruh penggunaan jenis aspal merupakan terhadap nilai *TSR* campuran tidak signifikan.

Adapun penelitian yang menyatakan bahwa campuran yang menggunakan gradasi lebih rapat memiliki durabilitas yang lebih baik telah dibuktikan oleh Chasanah dan Putra (2019) campuran yang menggunakan aspal modifikasi yang lebih tahan terhadap temperatur akan memiliki sifat durabilitas yang lebih baik. Penelitian Bennert (2012), menyimpulkan bahwa nilai campuran aspal hangat dengan penambahan aditif guna mengurangi kepekaan terhadap temperatur

mempunyai nilai *TSR* yang tinggi yaitu 104%, Hal ini menunjukkan ketahanan pengaruh air dan suhu dengan menggunakan aspal modifikasi polimer elastomer lebih baik.

#### 5.2.10 Karakteristik *Cantabro Loss (CL)* pada Campuran *AC-WC* dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran terhadap keausan atau kehilangan berat dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang telah dipadatkan didiamkan pada suhu ruang selama 48 jam. Pengujian *cantabro loss* dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas berulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian *cantabro loss* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada Gambar 5.32 berikut.



**Gambar 5.32 Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* Seluruh Campuran Kondisi KAO**

Berdasarkan hasil pengujian dapat diketahui bahwa campuran *AC-WC* memiliki nilai *cantabro loss* yang lebih rendah dibandingkan campuran aspal porus, yaitu 3,62% untuk *AC-WC* yang menggunakan aspal Starbit E-55 dan 4,34% untuk *AC-WC* yang menggunakan aspal Penetrasi pen 60/70. Hal ini menunjukkan campuran *AC-WC* memiliki ketahanan terhadap keausan lebih baik dibandingkan

dengan campuran aspal porus. Hal tersebut terjadi karena campuran AC-WC memiliki ikatan antar butiran dan ikatan butiran dengan aspal yang lebih kuat akibat dari kandungan agregat halus pada campuran yang lebih banyak dibandingkan dengan campuran aspal porus. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Hamzah dan Hasan (2010), menyatakan bahwa campuran bergradasi rapat akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap keausan. Dalam penelitiannya mengenai pengaruh temperatur pada pengujian abrasi pada gradasi rapat dan gradasi porus. Dapat diketahui pada temperatur yang sama, nilai *cantabro loss* campuran bergradasi rapat lebih kecil dibandingkan dengan campuran bergradasi porus. Hal ini terjadi karena ikatan adesi dan kohesi pada campuran bergradasi rapat lebih baik dan merata dibandingkan dengan campuran bergradasi porus.

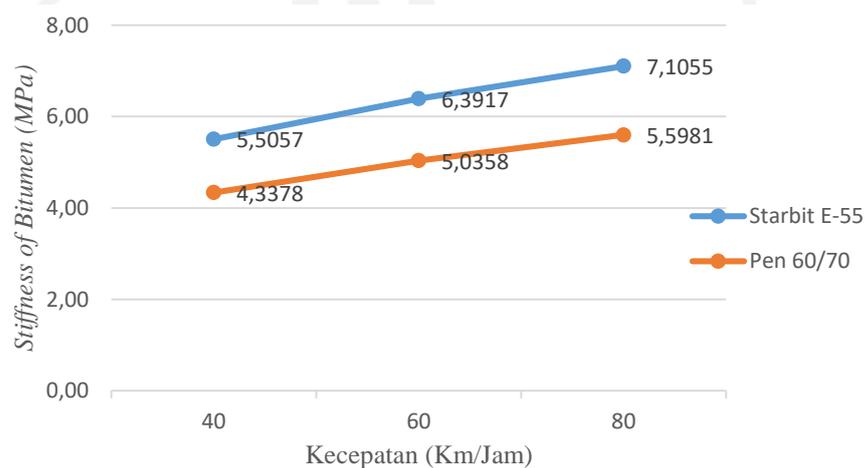
Penggunaan aspal Starbit E-55 lebih tahan terhadap keausan dibandingkan dengan penggunaan aspal Pertamina pen 60/70. Aspal Starbit E-55 memiliki sifat adhesi dan kohesi yang sangat baik, dibuktikan dengan daktilitas yang bertahan hingga 164 cm dengan kondisi titik putus pada benda uji masih cukup tebal secara visual, dan juga memiliki angka penetrasi yang rendah sehingga aspal Starbit E-55 lebih keras dan stabil. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal Starbit E-55 memiliki kekuatan ikatan kohesi yang besar sehingga dapat melekat dengan sangat kuat dan mencegah terjadinya abrasi dan atau *revelling* akibat repetisi beban. Oleh karena itu berdasarkan hasil pengujian, aspal Starbit E-55 dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal porus terhadap keausan hingga lebih dari 30%. Penelitian Fauziah dan Hadi (2019) yang meneliti campuran *Superpave* dengan menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55, menyatakan hal yang sama pada penelitiannya. Menurut penelitiannya aspal Starbit E-55 memiliki nilai *cantabro loss* yang lebih rendah dibandingkan aspal Pertamina pen 60/70, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap keausan dan disintegrasi. Pada penelitian ini nilai *cantabro loss* terendah atau ketahanan tertinggi terhadap keausan adalah pada campuran AC-WC menggunakan aspal Starbit E-55 yaitu 3,26%. Pengaruh jenis campuran dan jenis aspal terhadap nilai *cantabro loss* merupakan pengaruh yang signifikan.

### 5.2.11 Karakteristik *Stiffness Modulus Bitumen* dan *Stiffness Modulus Mixture* pada Setiap Campuran dengan Variasi Kecepatan.

Analisan perhitungan ini bertujuan untuk dapat mengetahui kekakuan dari bitumen dan kekakuan campuran yang digunakan dalam penelitian.

#### 1. *Stiffness Modulus of Bitumen* Pertamina pen 60/70 dan Starbit E-55

Modulus kekakuan aspal adalah perbandingan antara tegangan yang diberikan dengan regangan yang dihasilkan pada waktu pembebanan tertentu (Van der poel, 1954). Modulus kekakuan aspal ( $S_{bit}$ ) selain dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan waktu pembebanan yang diterima oleh aspal, juga bergantung kepada jenis aspal yang digunakan maupun jenis modifikasi yang dilakukan baik untuk perbaikan sifat reologi maupun sifat mekanistik aspal. Modifikasi tersebut tentu saja diharapkan dapat juga turut serta memperbaiki Nilai Modulus ( $S_{Mix}$ ) dari suatu campuran beraspal yang menggunakan aspal yang telah dimodifikasi baik dengan cara emulsifikasi, pembusaan, penambahan bahan kimia, penambahan serat, penambahan aspal alam, dan lainnya. Adapun grafik hasil perhitungan kekakuan bitumen aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 dengan variasi kecepatan dapat dilihat pada Gambar 5.33 di bawah ini.

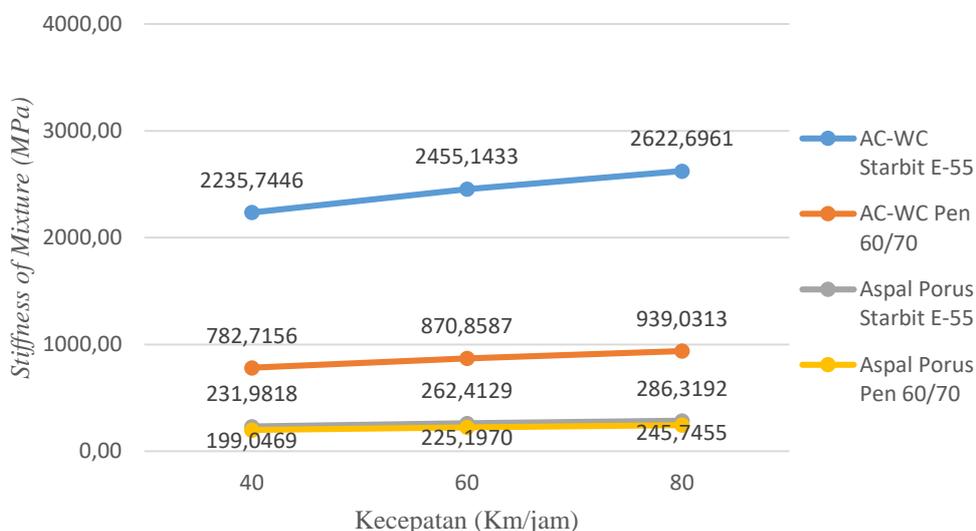


**Gambar 5.33 Perbandingan Nilai *Stiffness Modulus of Bitumen* dengan Variasi Kecepatan**

Berdasarkan gambar 5.33 dapat diketahui bahwa *stiffness modulus of bitumen* aspal Starbit E-55 lebih besar dibandingkan *stiffness modulus of bitumen* aspal Pertamina pen 60/70 pada semua variasi kecepatan. Hal ini terjadi karena aspal Starbit E-55 memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap temperatur, yang dibuktikan dengan pengujian titik lembek dan perhitungan indeks penetrasi (IP). Sehingga dapat diketahui aspal Starbit E-55 lebih baik dan lebih tahan terhadap perubahan suhu, lama pembebanan, dan perubahan kecepatan kendaraan yang dapat mempengaruhi perubahan distribusi beban. Karena menurut penelitian Nottingham (1984) kekakuan bitumen sangat mempengaruhi kekakuan campuran. Kemudian, dapat diketahui semakin besar kecepatan rencana maka kekakuan bitumen akan semakin besar.

## 2. *Stiffness Modulus of Mixture* Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus

Modulus kekakuan campuran beraspal juga tergantung kepada temperatur dan waktu pembebanan. Model matematis untuk memperkirakan modulus campuran beraspal ( $S_{Mix}$ ) pada awalnya adalah untuk campuran yang menggunakan aspal minyak. Diantaranya adalah metode yang diperkenalkan oleh Bonnaure, dkk (1977), metode Asphalt Institute (1982) dan metode Nottingham (Brown, et. al. 1984). Pada penelitian ini digunakan persamaan matematis Nottingham (1984). Menurut persamaan ini, kekakuan campuran dipengaruhi oleh kekakuan aspal dan nilai *VMA* dari hasil pengujian *Marshall*. Persamaan tersebut hanya berlaku bila nilai *VMA* campuran beraspal antara 12% - 30% dan nilai *VIM* minimum sebesar 3%. Adapun grafik hasil perhitungan kekakuan campuran AC-WC dan campuran aspal porus dengan variasi kecepatan dapat dilihat pada Gambar 5.36 di bawah ini.



**Gambar 5.34 Perbandingan Nilai *Stiffness Modulus of Mixture* dengan Variasi Kecepatan**

Dari Gambar 5.36 dapat diketahui kekakuan campuran akan meningkat seiring dengan peningkatan kecepatan rencana, baik pada campuran aspal porus maupun campuran AC-WC. Kekakuan campuran AC-WC lebih besar dibandingkan dengan kekakuan campuran aspal porus. Hal ini disebabkan oleh nilai *VMA* yang dimiliki campuran AC-WC lebih kecil, sehingga kekakuan campuran menjadi lebih besar. Hal ini juga menunjukkan bahwa campuran AC-WC memiliki ketahanan campuran yang lebih baik terhadap perubahan distribusi beban kendaraan yang dipengaruhi oleh perubahan kecepatan kendaraan. Adapun faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai kekakuan campuran, menurut Rahman dan Zega (2018) dengan meningkatnya suhu yang dialami oleh campuran beraspal, mengakibatkan nilai modulus kekakuan campuran menjadi semakin menurun diakibatkan oleh sifat aspal yang berubah menjadi semakin viscous (cair). Dari grafik di atas juga dapat diketahui pengaruh kekakuan bitumen terhadap kekakuan campuran, semakin kaku bitumen yang digunakan pada campuran maka kekakuan campuran pun akan bertambah.

### 5.2.12 Perbandingan Nilai Beban Gandar Maksimum (ESAL) pada Perkerasan Eksisting dengan Setiap Campuran

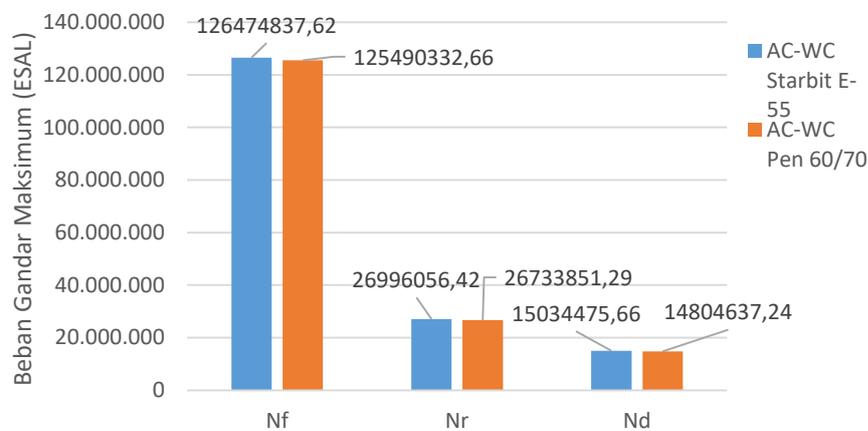
Metode mekanistik empiris didasarkan pada mekanika material yang membutuhkan data seperti beban roda, respons perkerasan, *stiffness modulus* dan tegangan atau regangan. KENPAVE digunakan untuk mengetahui respon tegangan-regangan yang terjadi akibat beban lalu lintas sebagai dasar analisis metode MEPDG (Mechanistic-Empiric Pavement Design Guide) untuk mengetahui nilai repetisi beban rencana dan memprediksi kerusakan yang terjadi. Kerusakan jalan yang akan dianalisis pada penelitian ini adalah *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Data yang digunakan untuk memprediksi kerusakan yang terjadi adalah data sekunder yang diambil dari penelitian Suwanda dan Kushari (2019) yang terdapat pada subbab 4.8, dan menggunakan data primer *stiffness modulus of mixture* pada kecepatan 80 Km/jam yang diperoleh dari hasil analisis pada subbab 5.2.12. Berikut ini merupakan hasil analisis beban lalu lintas pada jumlah repetisi beban berdasarkan kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* dapat dilihat pada Tabel 5.22 di bawah ini.

**Tabel 5.22 Analisis Kerusakan dan Beban Lalu Lintas**

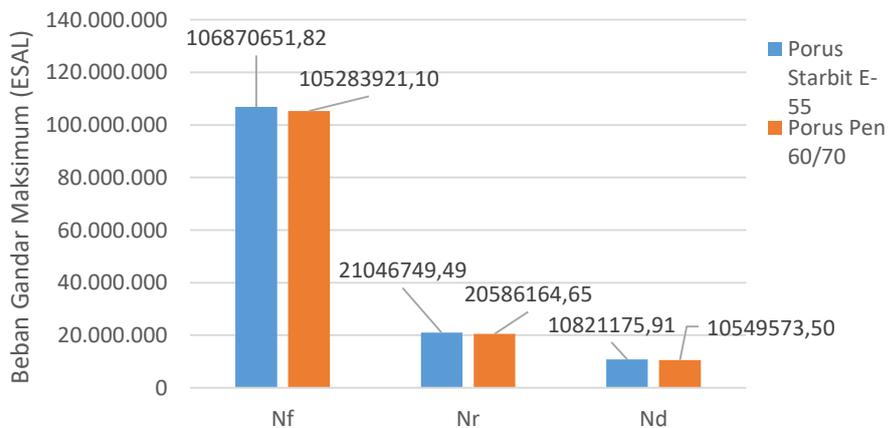
Beban Lalu Lintas (ESAL)	Beban Repetisi (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas	
7398543,88	AC-WC Starbit E-55	Nf	126474837,62	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	26996056,42	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	15034475,66	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	AC-WC Pen 60/70	Nf	125490332,66	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	26733851,29	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	14804637,24	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	Aspal Porus Starbit E-55	Nf	106870651,82	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	21046749,49	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	10821175,91	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	Aspal Porus Pen 60/70	Nf	105283921,10	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	20586164,65	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	10549573,50	Nd > Beban Lalu Lintas

Berdasarkan hasil analisis kerusakan pada Tabel 5.22, dapat diketahui seluruh campuran mampu mempertahankan kinerja jalan dari kerusakan *fatigue*

*cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*. Hal tersebut dibuktikan dengan beban lalu lintas rencana jumlah repetisi beban Nf, Nr dan Nd seluruh campuran lebih besar dari beban lalu lintas pada ruas jalan. Namun nilai Nf, Nr, dan Nd pada setiap campuran dengan variasi bahan ikat memiliki nilai yang berbeda. Adapun grafik perbandingan jumlah nilai repetisi beban rencana yang diizinkan pada setiap jenis kerusakan terhadap setiap campuran, dapat dilihat pada Gambar 5.35 dan 5.36 di bawah ini.



**Gambar 5.35 Grafik Perbandingan Nilai Repetisi Beban Rencana pada Campuran AC-WC**



**Gambar 5.36 Grafik Perbandingan Nilai Repetisi Beban Rencana pada Campuran Aspal Porus**

Berdasarkan Gambar 5.35 dan 5.36, dapat diketahui bahwa campuran AC-WC memiliki kemampuan yang lebih baik dalam mempertahankan kinerja jalan dari kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation* dibandingkan dengan campuran aspal porus. Perbedaan tersebut cukup signifikan, karena AC-WC merupakan campuran yang didesain untuk melayani lalu lintas tinggi, sedangkan aspal porus didesain untuk melayani lalu lintas sedang. Dari gambar tersebut juga dapat diprediksi, kerusakan yang akan terjadi lebih awal adalah kerusakan *deformation*, kemudian *rutting*, lalu *fatigue cracking* pada seluruh campuran. Hal tersebut senada dengan prediksi yang dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019). Campuran AC-WC yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 merupakan campuran terbaik untuk mempertahankan kinerja jalan dari kerusakan *fatigue cracking*, *rutting* dan *permanent deformation*. Hal tersebut dibuktikan dengan jumlah repetisi beban rencana yang diizinkan pada campuran AC-WC dengan bahan ikat Starbit E-55 merupakan yang terbesar diantara yang lainnya, yaitu sebesar 126.474.837,62 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking*, 269.960.56,42 sampai terjadinya *rutting*, dan 150.344.75,66 ESAL sampai terjadi *permanent deformation*. Sedangkan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat pen 60/70 merupakan campuran yang memiliki kemampuan paling rendah dalam mempertahankan kinerja jalan dari ketiga kerusakan tersebut diantara campuran lainnya. Walaupun begitu, campuran aspal porus dengan bahan ikat pen 60/70 masih layak dan mampu melayani beban lalu lintas pada ruas jalan, karena nilai beban repetisi rencana yang diizinkan masih lebih besar dari beban lalu lintas jalan yaitu lebih besar dari 7.398.543,88 ESAL.

### **5.3 Tinjauan Karakteristik Campuran AC-WC dan Campuran Aspal Porus Menggunakan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55**

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan dari berbagai macam hasil yang diperoleh. Perbedaan sifat fisik aspal dapat dilihat dari menurunnya nilai penetrasi, meningkatnya titik lembek, meningkatnya nilai titik nyala antara aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55. Sehingga dapat

diketahui aspal Starbit E-55 lebih tahan terhadap temperatur. Perbedaan yang signifikan terdapat pada seluruh parameter pengujian akibat perbedaan jenis gradasi atau jenis campuran yang digunakan yaitu campuran AC-WC dan campuran aspal porus. Sedangkan perbedaan yang signifikan akibat perbedaan jenis aspal antara aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 terdapat pada stabilitas, *flow*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *Cantabro Loss*. Nilai stabilitas *Marshall*, *IRS*, *ITS* dan *cantabro loss* mengalami perbedaan yang signifikan antara jenis campuran yang digunakan dan jenis aspal yang digunakan. Nilai stabilitas *marshall*, *IRS*, *TSR*, dan *cantabro loss* terbaik adalah pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus adalah yang menggunakan aspal Starbit E-55. Begitupun juga pada campuran aspal porus, nilai *VITM* dan Stabilitas terbesar adalah campuran yang menggunakan Starbit E-55. Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian karakteristik seluruh campuran dapat dilihat pada Tabel 5.23 di bawah ini.

**Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Seluruh Campuran**

Parameter	AC-WC		Aspal Porus		Keterangan
	Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70	Starbit E-55	
KAO (%)	6,10	6,20	5,55	5,60	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah
Stabilitas (Kg)	1320	1464	527	647	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah
<i>Flow</i> (mm)	3,2	3,1	3,6	4,1	Aspal Porus Starbit E-55 Tertinggi dan AC-WC Starbit E-55 Terendah
<i>MQ</i> (Kg/mm)	412	467	145	157	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah
<i>VITM</i> (%)	3,36	3,91	18,10	18,20	Aspal Porus Starbit E-55 Tertinggi dan AC-WC Pen 60/70 Terendah
<i>VMA</i> (%)	19,48	15,39	28,68	29,06	Aspal Porus Starbit E-55 Tertinggi dan AC-WC Starbit E-55 Terendah
<i>VFWA</i> (%)	80,23	78,06	36,89	37,36	AC-WC Pen 60/70 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah
<i>Density</i> (gr/cc)	2,28	2,28	2,00	1,99	AC-WC Pen 60/70 Tertinggi dan Aspal Porus Starbit E-55 Terendah
<i>IRS</i> (%)	90,45	92,02	90,34	91,87	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah
<i>ITS</i> (Kg/cm <sup>2</sup> )	17,92	21,06	7,84	7,36	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Starbit E-55 Terendah
<i>Cantabro Loss</i> (%)	4,33	3,25	26,56	6,59	Aspal Porus Pen 60/70 Tertinggi dan AC-WC Starbit E-55 Terendah
<i>TSR</i> (%)	90,10	90,55	87,75	88,78	AC-WC Starbit E-55 Tertinggi dan Aspal Porus Pen 60/70 Terendah

Berdasarkan Tabel 5.23 dapat diketahui bahwa penggunaan Starbit E-55 pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus dapat meningkatkan kinerja struktural dan fungsional campuran. Adapun hasil pengujian kekakuan bitumen yang dapat dilihat pada Tabel 5.18, diketahui angka kekakuan aspal Starbit E-55 lebih besar dibandingkan dengan aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 lebih efektif dibandingkan dengan penggunaan aspal Pertamina pen 60/70 pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus dengan menggunakan agregat Clereng.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik fisik dan mekanik campuran *AC-WC* dan campuran aspal porus dengan variasi bahan ikat dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengujian *Marshall Standard*, campuran *AC-WC* memiliki stabilitas yang lebih baik dan rongga udara yang lebih kecil dari campuran aspal porus. Penggunaan aspal Starbit E-55 pada seluruh campuran memiliki kinerja yang lebih baik dari penggunaan aspal pertamina pen 60/70. Penggunaan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang lebih besar, 0,5% pada campuran aspal porus dan 16% pada campuran *AC-WC*, dibandingkan penggunaan aspal pen 60/70. Nilai stabilitas campuran menggunakan Starbit E-55 lebih besar 11% pada campuran *AC-WC* dan 22% pada campuran aspal porus, dibandingkan penggunaan aspal pen 60/70. Aspal Starbit E-55 dapat meningkatkan rongga udara campuran, tanpa mengurangi nilai stabilitas campuran.
2. Hasil pengujian *IRS* menunjukkan bahwa campuran *AC-WC* lebih tahan terhadap rendaman air dibandingkan campuran aspal porus. Penggunaan aspal Starbit E-55 akan meningkatkan ketahanan campuran hingga 92,20% pada campuran *AC-WC*, dan 91,87% pada campuran aspal porus. Nilai *IRS* yang diperoleh pada seluruh campuran dengan variasi bahan ikat yang berbeda, semuanya memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu >90%.
3. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* menunjukkan bahwa campuran *AC-WC* memiliki ketahanan terhadap gaya tarik lebih baik dibandingkan campuran aspal porus. Penggunaan aspal Starbit E-55 pada campuran *AC-WC* dapat meningkatkan ketahanan campuran terhadap gaya tarik hingga 18%. Nilai *ITS* paling tinggi diperoleh pada campuran *AC-WC* dengan bahan ikat Starbit E-55 yaitu sebesar 21,06 kg/cm<sup>2</sup>.

4. Campuran *AC-WC* lebih tahan terhadap gaya tarik setelah mengalami perendaman suhu kritis dibandingkan campuran aspal porus. Nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* campuran dengan menggunakan aspal pen 60/70 adalah 90,1% untuk *AC-WC* dan 87,75% untuk aspal porus,. Penggunaan aspal Starbit E-55 meningkatkan nilai *TSR* hingga 90,56% untuk *AC-WC*, dan 88,78% untuk aspal porus. Nilai *TSR* yang diperoleh pada seluruh campuran dengan variasi bahan ikat yang berbeda, semuanya memenuhi persyaratan *Asphalt Institute* yaitu >80%.
5. Nilai *Cantabro Loss (CL)* campuran *AC-WC* jauh lebih rendah dari campuran aspal porus. Penggunaan aspal Starbit E-55 pada campuran *AC-WC* dan aspal porus dapat meningkatkan ketahanan campuran terhadap keausan secara signifikan hingga lebih dari 30%. Nilai *Cantabro Loss* campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 yang diperoleh adalah 3,26% untuk *AC-WC*, dan 6,6% untuk aspal porus.
6. *Stiffness modulus of bitumen ( $S_{bit}$ )* aspal Starbit E-55 lebih besar dari aspal pen 60/70. Oleh karena itu *stiffness modulus of mixture ( $S_{mix}$ )* pada campuran yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan aspal pen 60/70. Campuran *AC-WC* dengan bahan ikat Starbit E-55 pada kecepatan rencana 80 km/jam merupakan campuran yang memiliki  $S_{mix}$  terbesar yaitu  $2622,696 \times 10^6$  MPa. Nilai  $S_{mix}$  pada seluruh campuran semakin meningkat seiring dengan kecepatan rencana yang semakin besar. Campuran *AC-WC* dengan bahan ikat Starbit E-55 merupakan campuran yang paling kokoh dan stabil dalam melayani distribusi beban dan kecepatan kendaraan.
7. Hasil analisis repetisi beban lalu lintas pada ruas jalan Tempel-Pakem menunjukkan bahwa seluruh campuran yang diteliti layak diterapkan. Campuran *AC-WC* dengan menggunakan bahan ikat Starbit E-55 merupakan campuran terbaik dalam mempertahankan kinerja jalan dari kerusakan *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Kerusakan yang paling rentan terjadi pada seluruh campuran adalah kerusakan *permanent deformation*.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil studi penelitian karakteristik fisik dan mekanik campuran AC-WC dan campuran aspal porus dengan variasi bahan ikat, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil analisis beban lalu lintas, penggunaan aspal Starbit E-55 terhadap campuran AC-WC dan campuran aspal porus dianjurkan untuk diaplikasikan pada ruas jalan Tempel-Pakem.
2. Perlu dilakukan pengujian *Stiffness modulus dynamic* pada campuran AC-WC dan campuran aspal porus untuk lebih melengkapi penelitian terhadap kekakuan campuran.



## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Kaissi, Z.A. dan Mashkooor, O.G., 2016. Durability of Porous Asphalt Pavement. *Journal of Engineering and Sustainable Development*, 20(4), pp.53-70.
- American Society for Testing and Materials. 1974. ASTM C33/C33M-08. *Standard Specification for Concrete Agregates*. West Conshohocken: ASTM International.
- Anggiani, D., Puspito, I., dan Meutia, W. 2019. Analisis Kinerja Aspal Pen 60/70 dan Aspal Polimer JAP-57 dalam Capuran Aspal Porus. *Jurnal Infrastruktur*.3(1): 19-24. Jakarta.
- Arsyad, A. 2012. Pengaruh Penambahan Anti Stripping (Wetfix Be) Terhadap aspal Porus dengan Menggunakan Bahan Pengikat Liquid Asbuton. *Tugas Akhir*. Universitas Hassanudin. Makassar.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. National asphalt specification. AAPA, Melbourne.
- Bennert, T. (2012). Evaluation of Warm Asphalt Technology. *Advanced Infrastructure and Transportation, FHWA-NJ-2011-005*. The State University of New Jersey, New York
- Bonnaure F, Gest G, Gervois A, Uge P (1977): *Proceedings, Association of Asphalt Paving Technologists*.
- Brown S. F., Brunton J. M. (1984): An Introduction to The Analytical Design of Bituminous Pavements. University of Nottingham. UK.
- Chasanah dan Putra. 2019. Effects of Using Limestone as a Filler and Starbit E-55 Asphalt as a Binder on the Performance of AC–WC Mixture. *Matec Web Conferences* 258. SCESM 2018.
- Cheng, Y. Chai, C. Liang, C. dan Chen, Y. 2019. Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber–SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions. *Journal of MDPI Materials*. Basel, Switzerland.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2010. *Spesifikasi Umum 2010*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.

- Direktorat Jenderal Bina Marga. 2018. *Spesifikasi Umum 2018*. Jakarta: Departemen Pekerjaan Umum.
- Djakfar, L., Zaika, Y. dan Bowoputro, H. 2013. Pengaruh Penambahan Aditif Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Porus. *Jurnal Transportasi Vol. 16*. Lampung.
- Djumari, dan Sarwono, D. 2009. Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. *Jurnal Media Teknik Sipil Vol. IX ISSN 1412-0976*. Malang.
- Fauziah dan Hadi. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau. *Prosiding Civil Engineering and Environmental Symposium*. Semarang, Indonesia.
- Fauziah dan Handaka. 2016. Pemanfaatan Aspal Starbit E-55 untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan pada Campuran Split Mastic Asphalt. *Proceeding of International Symposium of FSTPT 19<sup>th</sup>*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Gani, D. R. dan Tronge, M. W. 2013. Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Berbasis Hydrocarbon Terhadap Karakteristik Aspal Porus. *Tesis*. Universitas Hassanudin. Makassar.
- Golalipour, A. Jamshidi, E. Niazi, Y. Afsharikia, Z. dan Khadem, M. 2012. Effect of Aggregate Gradation on Rutting of Asphalt Pavements. *Elsevier SIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures*. Roma, Italia.
- Hamzah, M., Hasan, M., Ismail M., dan Shahadan, Z. Effects of Temperature on Abrasion Loss of Porous and Dense Asphalt Mixes. *European Journal of Scientific Research ISSN 1450-216X Vol. 40, No. 4, 2010*.
- Hasan, N. A. Mahmud, M. Z. H. Ahmad, K. A. Hainin, M. R. Jaya, R. P. dan Mashros, N. 2016. Air Voids Characterisation And Permeability Of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries. *Journal of Engineering and Applied Science. Vol 11. No. 4*.
- Hadiwardoyo, S. P. Sumabrata, R. J. Aryapijati, R. H. Wahjuningsih, N. Kurnia, A. dan Abrar, R. 2016. Identification of The Rutting Performance on Modified

- Asphalt Mixtures by A Laboratory Investigation Approach. *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*.
- Harmadhana, S. 2016. Kajian Karakteristik Laboratorium Aspal Porus dengan Menggunakan Crumb Rubber sebagai Bahan Tambah. *Tugas Akhir*. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Herrington, P. Reilly, S. dan Cook, S. 2005. Porous Asphalt Durability Test. *Transfund New Zealand Research Report 265*. 32 pp. New Zealand.
- Huang Y. H. (2004), Pavement Analysis and Design Second Edition, *Pearson Education Inc, New Jersey*.
- Leng, Z. Gamez, A. dan Al-Qadi, I. L. 2014. Mechanical Property Characterization of Warm Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives. *Journal Of Materials in Civil Engineering* 26(2):304-311. Amerika.
- Malaysia, Public Works Department. 2008. Standard specification for road works, section 4, flexible pavement. Jabatan. Kerja Raya Malaysia, Kuala Lumpur.
- Mulyono, A.T. (2006). Kinerja Pemberlakuan Standar Mutu Perkerasan Pada Peningkatan dan Pemeliharaan Jalan Nasional – Propinsi. *Jurnal Media Komunikasi Teknik Sipil Volume 14 Nomor 3 Edisi XXXVI*, 309-328.
- Noris, Taufan Gerri (2017). Analisa Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi ke Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Vol. 01 No. 01*. Surabaya.
- Novrianto, I. B. A, Lulie, Y. (2016). Pengaruh Penambahan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah Pada Beton Aspal AC-WC Dengan Filler Gypsum. *Tugas Akhir*. Yogyakarta.
- Nurchaya, A. Rahman, H. Subagio, B. S. Weningtyas, W. 2014. Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy. *Tesis*. Bandung.
- Oktafriadadi, R. dkk. 2017. Pengaruh Penambahan Aditif *Wetfix Be* Pada Pencampuran Perkerasan Lentur Asphalt Concrete Wearing Course. *Tugas Akhir*. Universitas Bung Hatta. Padang.

- Pangaraya, D. K. 2015. Laboratorium Study Of Asphalt Starbit E-55 Polymer Modified Application On Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC). *Journal of The Civil Engineering Forum. Vol 1 No. 3.* Yogyakarta, Indonesia.
- Putra, Dwi Trisna Whisnu. 2018. Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai Terhadap Karakteristik Campuran AC – WC Dengan Bahan Ikat Starbit E-60 dan Pen 60/70. *Tugas Akhir.* Yogyakarta.
- Rahmad, S. et. al. 2020. The Effects of Polymer Modified Asphalt Binder Incorporating with Chemical Warm Mix Additive Towards Water Quality Degradation. *Journal of Cleaner Production 279 (2021) 123698.*
- Rahman, H., dan Zega, R. 2018. Analisis Kesesuaian Model Modulus Aspal dan Campuran Laston Lapis Aus untuk Aspal Modifikasi Asbuton Murni. *Jurnal Teknik Sipil Vol. 25, No. 1. ISSN 0853-2982.*
- Ramadhan, G., B. 2014. Perbandingan Karakteristik AC-WC Bergradasi Rapat dan Senjang dengan Bahan Ikat Aspal Retona Blend E-55 dan Starbit E-55. *Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Rizkianto, T., Setyawan, A., dan Sarwono, D. 2015. Pengaruh Pengisian Rongga pada Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Polimer Starbit E-55 Terhadap Kuat Tekan dan Kuat Tarik. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil.* Surakarta.
- Shuky, N. A. M. Hainin, M. R. Hassan, N. A. dan Abdullah, M. E. 2016. Experimental Evaluation of Anti-Stripping Additives on Porous Asphalt Mixture. *Jurnal Teknologi 78(7-2).* Malaysia.
- Simatupang, T. M. P. dan Muis, Z. A. 2013. Perbandingan Kinerja Anti Stripping Agent Wetfix Be dan Derbo-401 UN 2735 pada AC-WC Menggunakan Agregat dari Patumbak. *Tugas Akhir.* Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Singapore, Land Traffic Authority. 2010. Materials and workmanship specification for civil and structural works.
- Subarkah dan Romadhona. 2015. Pengaruh Tipe Gradasi Agregat Terhadap Sifat Beton Aspal dengan Bahan Pengikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-55 Campuran AC-WC. *Jurnal Teknisia, Vol. XX, No. 1, 2015.* Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 2003. Beton Aspal Campuran Panas. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.

- Susilowati, A dan Wiyono, E. 2017. Penggunaan Bahan Anti Stripping untuk Campuran Beton Aspal. *Jurnal Vol. 16 No. 1*. Politeknik Negeri Jakarta. Jakarta.
- The Asphalt Institute (1982), Research and Development of the Asphalt Institute's Thickness Design Manual (MS1) Ninth Edition, USA.
- Van der Poel C (1954): *Proceedings of 1st international congress of rheology, vol 2. Butterworth's Scientific Publications*. London.
- Widodo, A. P. 2018. Evaluasi Kondisi Perkerasan Dan Prediksi Sisa Umur Perkerasan Lentur Dengan Metode Pavement Condition Index, Bina Marga Dan Metode Mekanistik- Empirik Dengan Program Kenpave. *Tesis*. Yogyakarta.
- Zulnaidi. 2007. Metode Penelitian. Medan: Universitas Sumatera Utara.



# LAMPIRAN





## Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Clereng

### PEMERIKSAAN BERAT *FILLER* CLERENG

Material : *Filler* Clereng  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	12,04	11,84
2	Berat vicnometer + aquades (gr)	29,24	29,22
3	Berat aquadest (gr)	17,2	17,38
4	Berat vicnometer + Debu Batu (gr)	13,09	13,24
5	Berat Debu Batu (gr)	1,05	1,4
6	Berat vicnometer + Debu Batu + aquadest (gr)	29,88	30,07
7	Berat aquadest (gr)	16,79	16,83
8	Volume Debu Batu (gr)	0,41	0,55
9	Berat jenis Debu Batu	2,561	2,545
10	Rata-rata BJ Debu Batu	2,553	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1603,18	1383,86	1493,52
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	997,12	860,18	928,65
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1570,6	1366,11	1468,355
5	Berat Jenis ( <i>Bulk</i> ) = $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,591	2,609	2,600
6	Berat Jenis ( <i>SSD</i> ) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,645	2,643	2,644
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{BK-BA}$	2,739	2,700	2,719
8	Penyerapan Air = $\frac{BK}{BK-BA} \times 100\%$	2,074	1,299	1,687
9	Berat Cawan	304,550	291,620	
10	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ Semu) / 2	2,665	2,654	
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,660		
12	Penyerapan Rata-rata	1,687		

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



### Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500	500,05	500,025
2	Berat <i>Vicnometer</i> + Air (B)	689,37	664,71	677,04
3	Berat <i>Vicnometer</i> + Air + Benda Uji (BT)	996,90	973,44	985,17
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	488,21	488,83	488,52
5	Berat Jenis ( <i>Bulk</i> ) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,536	2,555	2,546
6	Berat Jenis ( <i>SSD</i> ) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,597	2,614	2,605
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,702	2,714	2,708
8	Penyerapan Air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,415	2,285	2,349
9	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ Semu) / 2	2,619	2,635	
10	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,627		

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 4 Pemeriksaan Sand Equivalent

### PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Material : Agregat Halus  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl <sub>2</sub> selama ( $\pm$ 10 menit)	Mulai	12.22	12.22
		Selesai	12.32	12.32
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl <sub>2</sub> )	Mulai	12.32	12.32
		Selesai	12.35	12.35
3	Clay Reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,9	3,6
4	Sand Reading (Pembacaan Pasir)		3,6	3,3
5	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ reading}{Clay\ reading} \times 100$		92,307 6	91,666 7
6	Rata-rata Sand Equivalent (%)		91,9871	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 5 Pemeriksaan Keausan Agregat

### PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (*ABRASI TEST*)

Material : Agregat Kasar  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Jenis Gradasi		Seragam (AC-BC)	
	Saringan		Benda Uji	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	25,4 mm 1 "	19 mm 3/4 "	2500	2500
2	19 mm 3/4 "	12,5 mm 1/2 "	2500	2500
3	Jumlah Benda Uji (A) (gr)		5000	5000
4	Jumlah Tertahan Di <i>Sieve</i> 12(B) (gr)		4411	4282
5	Keausan = $(A-B)/A \times 100\%$ (%)		11,78	14,36
6	Rata-rata Keausan (%)		12,97	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 6 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	20,57	20,68
2	Berat vicnometer + aquades (gr)	43,53	43,65
3	Berat aquadest (gr)	22,96	22,97
4	Berat vicnometer + aspal (gr)	22,81	22,38
5	Berat aspal (gr)	2,24	1,7
6	Berat vicnometer + aspal + aquadest (gr)	43,55	43,71
7	Berat aquadest (gr)	20,74	21,33
8	Volume aspal (gr)	2,22	1,64
9	Berat jenis aspal	1,039	1,037
10	Rata-rata BJ Aspal	1,038	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 7 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE

### PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	10.30	27
2	Pelarutan	Mulai	10.40	27
3	Penyaringan	Mulai	10.43	27
		Selesai	10.55	27
4	Di Oven	Mulai	10.55	110
5	Penimbangan	Selesai	11.16	27

#### HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen mayer kosong (gr)	68,87	73,49
2	Berat erlen mayer kosong + aspal (gr)	69,79	75,01
3	Berat aspal (gr)	0,92	1,53
4	berat kertas saring bersih (gr)	0,61	0,6
5	berar kertas saring bersih + mineral (gr)	0,62	0,61
6	Berat Mineral (gr)	0,01	0,01
7	Prosentase Mineral (%)	1,086	0,657
8	Aspal yang larut (%)	98,91	99,34
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,1275	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



### Lampiran 8 Pemeriksaan Daktilitas

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu $25^{\circ}\text{C}$	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
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	164 cm	Tidak putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 9 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

### PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.00
	Selesai	145 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	145 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.20
3	Diperiksa		
	Mulai	35 °C	12.20
	Selesai	295 °C	12.45

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	285 °C	295 °C

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 10 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

### PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	09.00
	Selesai	130 °C	09.30
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130 °C	09.30
	Selesai	25 °C	11.00
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	11.00
	Selesai	25 °C	12.30

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	63	64		
2	64	62		
3	62	63		
4	63	64		
5	63	63		
Rata2	63	63,2		
Rerata	63,1			

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

### PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	50 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	12.50
	Selesai	50 °C	10.34

#### HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5 °C	333,15	333,15		
2	10 °C	292,51	292,51		
3	15 °C	182,13	182,13		
4	20 °C	170,41	170,41		
5	25 °C	113,90	113,90		
6	30 °C	148,57	148,57		
7	35 °C	146,27	146,27		
8	40 °C	149,45	149,45		
9	45 °C	134,26	134,26		
10	50 °C	125,65	125,65	49	49

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 12 Pemeriksaan Kelekatatan Agregat Terhadap Aspal

### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Agregat ukuran (3/8") Clereng  
Sumber : Pertamina, Cilacap  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	150 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	150 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	12.50
	Selesai	25 °C	10.34

#### HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	98%	memenuhi
2	Benda Uji 2	98%	memenuhi
3	Rata-Rata	98%	memenuhi

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



### Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	20,74	20,07
2	Berat vicnometer + aquades (gr)	44,30	42,34
3	Berat aquadest (gr)	23,56	22,27
4	Berat vicnometer + aspal (gr)	22,89	22,46
5	Berat aspal (gr)	2,15	2,39
6	Berat vicnometer + aspal + aquadest (gr)	44,32	42,49
7	Berat aquadest (gr)	21,43	20,03
8	Volume aspal (gr)	2,13	0,41
9	Berat jenis aspal	1,009	1,067
10	Rata-rata BJ Aspal	1,038	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 14 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE

### PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	10.30	27
2	Pelarutan	Mulai	10.40	27
3	Penyaringan	Mulai	10.43	27
		Selesai	10.55	27
4	Di Oven	Mulai	10.55	110
5	Penimbangan	Selesai	11.16	27

#### HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen mayer kosong (gr)	75,23	68,90
2	Berat erlen mayer kosong + aspal (gr)	76,17	69,96
3	Berat aspal (gr)	0,94	1,06
4	berat kertas saring bersih (gr)	0,57	0,57
5	berar kertas saring bersih + mineral (gr)	0,57	0,58
6	Berat Mineral (gr)	0	0,01
7	Prosentase Mineral (%)	0	0,94
8	Aspal yang larut (%)	100	99,06
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,53	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



### Lampiran 15 Pemeriksaan Daktilitas

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu $25^{\circ}\text{C}$	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
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	164 cm	Tidak putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 16 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

### PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.00
	Selesai	145 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	145 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.20
3	Diperiksa		
	Mulai	35 °C	12.20
	Selesai	345 °C	12.45

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	312 °C	325 °C

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 17 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

### PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	09.00
	Selesai	130 °C	09.30
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130 °C	09.30
	Selesai	25 °C	11.00
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	11.00
	Selesai	25 °C	12.30

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	56	55		
2	61	53		
3	55	54		
4	52	57		
5	59	56		
Rata2	56,6	55		
Rerata	55,8			

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

### PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	50 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	5 °C	12.50
	Selesai	55 °C	10.34

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
		1	25 °C	380	380
2	30 °C	471	471		
3	35 °C	564	564		
4	40 °C	657	657		
5	45 °C	755	755		
6	50 °C	840	858	48	48

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



## Lampiran 19 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55 dan Agregat ukuran (3/8") Clereng  
Sumber : PT. Bintang Djaja  
Tahun Uji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	12.10
	Selesai	150 °C	12.15
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	150 °C	12.15
	Selesai	25 °C	12.50
3	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	12.50
	Selesai	25 °C	10.34

#### HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	97%	memenuhi
2	Benda Uji 2		memenuhi
3	Rata-Rata	97%	memenuhi

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041

**Lampiran 20 Pengujian Marshall Campuran Aspal Porus untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70**

**PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM**

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

SAMPLE	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
5A	7,620	5,263	5	1180,7	1245,4	655,88	589,55	2,0027	2,4637	9,5367	71,753	18,710	28,247	33,762	18,710	34	724,76	0,76004167	550,845	3,4	162,013
5B	7,619	5,263	5	1177,2	1244	651,76	592,23	1,9877	2,4637	9,4654	71,217	19,318	28,783	32,885	19,318	34	724,76	0,76016667	550,935	3,6	153,038
5C	7,558	5,263	5	1174,1	1239,8	656,64	583,12	2,0135	2,4637	9,5882	72,140	18,271	27,860	34,416	18,271	33	703,44	0,76770833	540,036	3,7	145,956
								2,0006					28,296	33,688	18,766		714,1		545,486	3,567	149,497
5,5A	7,430	5,820	5,5	1163,7	1236,7	656,24	580,46	2,0048	2,4463	10,5015	71,452	18,047	28,548	36,785	18,047	35	746,07	0,7856875	586,179	3,6	162,828
5,5B	7,603	5,820	5,5	1169,9	1232,6	661,52	571,03	2,0487	2,4463	10,7313	73,015	16,254	26,985	39,767	16,254	34	724,76	0,76208333	552,324	3,5	157,807
5,5C	7,615	5,820	5,5	1164,3	1247,4	665,58	581,85	2,0009	2,4463	10,4811	71,313	18,206	28,687	36,536	18,206	36	767,39	0,76066667	583,727	3,8	153,612
								2,0029					28,618	36,660	18,126		756,73		584,953	3,700	158,220
6A	7,619	6,383	6	1172,2	1237,9	664,12	573,76	2,0430	2,4292	11,6745	72,427	15,898	27,573	42,341	15,898	37	788,7	0,76016667	599,547	3,8	157,776
6B	7,615	6,383	6	1154,9	1224,5	655,91	568,54	2,0314	2,4292	11,6081	72,016	16,376	27,984	41,480	16,376	36	767,39	0,76066667	583,727	3,9	149,674
6C	7,618	6,383	6	1171,4	1212,9	653,95	558,94	2,0958	2,4292	11,9760	74,298	13,726	25,702	46,596	13,726	37	788,7	0,76029167	599,646	3,7	162,066
								2,0568					27,086	43,473	15,333		781,6		594,306	3,800	156,505
6,5A	7,615	6,952	6,5	1160,4	1218,7	652,48	566,17	2,0496	2,4124	12,6881	72,274	15,038	27,726	45,763	15,038	30	639,49	0,76058333	486,386	3,9	124,714
6,5B	7,601	6,952	6,5	1153,4	1201,8	625,2	576,6	2,0003	2,4124	12,3830	70,536	17,081	29,464	42,028	17,081	33	703,44	0,76241667	536,314	2,6	206,275
6,5C	7,619	6,952	6,5	1163,1	1214,5	646,15	568,39	2,0464	2,4124	12,6679	72,160	15,173	27,840	45,502	15,173	31	660,81	0,76008333	502,268	4,1	122,504
								2,0480					27,783	45,632	15,105		650,15		494,327	4,000	123,609
7A	7,696	7,527	7	1163,7	1202,5	631,7	570,78	2,0388	2,3958	13,5919	71,508	14,900	28,492	47,705	14,900	28	596,86	0,75045833	447,917	3,8	117,873
7B	7,777	7,527	7	1170,4	1208,7	633,54	575,16	2,0348	2,3958	13,5655	71,369	15,065	28,631	47,381	15,065	31	660,81	0,74041667	489,272	4,2	116,493
7C	7,531	7,527	7	1163,9	1203,1	632,9	570,22	2,0411	2,3958	13,6076	71,591	14,802	28,409	47,898	14,802	30	639,49	0,77116667	493,154	4,4	112,080
								2,0380					28,520	47,640	14,934		650,15		491,213	4,300	114,287

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

  
Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

  
Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041

**Lampiran 21 Pengujian Marshall Campuran Aspal Porus untuk Menentukan KAO pada Starbit E-55**

**PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM**

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran: Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

SAMPLE	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
5A	7,267	5,263	5	1170,4	1212,3	614,54	597,76	1,9580	2,4603	9,4315	70,151	20,418	29,849	31,597	20,418	56	812,92	0,81416667	661,853	3,6	183,848
5B	7,503	5,263	5	1165,4	1219,1	621,13	598	1,9488	2,4603	9,3872	69,821	20,792	30,179	31,105	20,792	52	754,85	0,77458333	584,698	4	146,174
5C	7,558	5,263	5	1174,1	1239,8	656,64	583,12	2,0135	2,4603	9,6990	72,140	18,161	27,860	34,814	18,161	60	870,99	0,76770833	668,663	3	222,888
								1,9811					29,296	32,505	19,790		812,92		626,681	3,533	184,531
5,5A	7,343	5,820	5,5	1152,7	1203,1	618,43	584,71	1,9714	2,4427	10,4459	70,261	19,294	29,739	35,125	19,294	58	841,95	0,801875	675,141	3,5	192,898
5,5B	7,393	5,820	5,5	1151,6	1209,3	613,13	596,21	1,9315	2,4427	10,2341	68,836	20,930	31,164	32,839	20,930	56	812,92	0,7925	644,239	3,9	165,190
5,5C	7,615	5,820	5,5	1164,3	1247,4	665,58	581,85	2,0009	2,4427	10,6023	71,313	18,085	28,687	36,958	18,085	55	798,4	0,76066667	607,319	4,1	148,127
								1,9862					29,213	36,041	18,689		820,18		641,230	3,800	170,512
6A	7,619	6,383	6	1151,7	1203,6	619,55	584,01	1,9721	2,4253	11,3993	69,912	18,689	30,088	37,886	18,689	54	783,89	0,76016667	595,885	4,1	145,338
6B	7,630	6,383	6	1115,4	1177,3	614,12	563,22	1,9803	2,4253	11,4471	70,205	18,348	29,795	38,420	18,348	54	783,89	0,75875	594,775	4,4	135,176
6C	7,618	6,383	6	1171,4	1212,9	643,95	568,94	2,0590	2,4253	11,9016	72,992	15,106	27,008	44,068	15,106	55	798,4	0,76029167	607,020	4	151,755
								2,0038					28,964	40,124	17,381		788,73		599,227	4,167	144,090
6,5A	7,103	6,952	6,5	1118,6	1159,5	617,36	542,14	2,0634	2,4082	12,9208	72,759	14,320	27,241	47,432	14,320	46	667,76	0,84466667	564,031	5,1	110,594
6,5B	7,497	6,952	6,5	1135	1176	619,81	556,15	2,0409	2,4082	12,7799	71,965	15,255	28,035	45,586	15,255	47	682,27	0,77541667	529,045	4,3	123,034
6,5C	7,619	6,952	6,5	1163,1	1214,5	646,15	568,39	2,0464	2,4082	12,8144	72,160	15,026	27,840	46,028	15,026	42	609,69	0,76008333	463,415	4,3	107,771
								2,0549					27,541	46,730	14,673		638,72		513,723	4,700	109,183
7A	7,420	7,527	7	1150,6	1185,8	621,95	563,85	2,0407	2,3913	13,7617	71,574	14,664	28,426	48,412	14,664	35	508,08	0,7675	389,948	4,2	92,845
7B	7,173	7,527	7	1144,6	1175	625,02	549,93	2,0814	2,3913	14,0365	73,003	12,960	26,997	51,993	12,960	38	551,62	0,82583333	455,550	4,8	94,906
7C	7,531	7,527	7	1163,9	1203,1	632,9	570,22	2,0411	2,3913	13,7649	71,591	14,644	28,409	48,452	14,644	40	580,66	0,77116667	447,784	4,9	91,384
								2,0613					27,703	50,222	13,802		566,14		451,667	4,850	93,145

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

  
**Ir. Subarkah, M.T.**  
NIK : 865110101

Peneliti,

  
**Matris Derianza Hafidz**  
NIM : 19914041

**Lampiran 22 Pengujian Marshall Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70**

**PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM**

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : AC-WC

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

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	Rongga dlm. Agrgt	Rongga terisi Aspal	di Baca	di Sesuaikan		
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B + B}$ Gse T	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$\frac{C - H \times 100}{C}$	$\frac{100 - (H \times (100-B))}{Gsb}$	$\frac{B \times H / T}{(B \times H / T) + I \times 100\%}$	Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab (mm)	M
1	65,80	5,00	2,403	1178,68	660,75	1186,30	525,55	2,243	6,6532051	15,4516886	62,046329	82,00	1.149,5	3,20	359,23
	64,92	5,00	2,403	1178,64	660,78	1186,31	525,53	2,243	6,6528206	15,4513403	62,047787	87,00	1.242,3	3,10	400,76
	69,23	5,00	2,403	1179,45	660,18	1186,37	526,19	2,241	6,7058352	15,4993579	61,847297	84,00	1.085,1	2,90	374,16
									<b>6,7</b>	<b>15,5</b>	<b>62,0</b>		<b>1.159,0</b>	<b>3,1</b>	<b>378,0</b>
2	65,59	5,50	2,386	1182,50	664,75	1186,26	521,51	2,267	4,9643952	14,9704704	70,90109	83,00	1.168,3	3,29	355,11
	63,63	5,50	2,386	1184,65	666,85	1190,34	523,49	2,263	5,1517106	15,1380638	70,089739	88,00	1.298,5	3,28	395,89
	67,31	5,50	2,386	1181,15	667,97	1189,23	521,26	2,266	5,0273648	15,02681	70,62661	95,00	1.286,5	3,25	395,85
									<b>5,0</b>	<b>15,0</b>	<b>70,5</b>		<b>1.251,1</b>	<b>3,3</b>	<b>382,3</b>
3	66,07	6,00	2,369	1178,08	665,39	1184,78	519,39	2,268	4,2721438	15,3925683	75,548822	99,00	1.380,3	3,00	460,11
	63,67	6,00	2,369	1175,98	664,59	1182,48	517,89	2,271	4,1660157	15,2987688	76,030719	102,00	1.503,6	3,50	429,60
	66,81	6,00	2,369	1173,25	663,29	1179,36	516,07	2,273	4,0513026	15,1973816	76,557336	98,00	1.345,4	3,70	363,62
									<b>4,2</b>	<b>15,3</b>	<b>76,0</b>		<b>1.409,8</b>	<b>3,4</b>	<b>417,8</b>
4	63,94	6,50	2,353	1174,85	664,98	1179,79	514,81	2,282	3,0202251	15,326694	82,650246	90,00	1.317,8	3,50	376,52
	63,15	6,50	2,353	1176,09	665,50	1181,55	516,05	2,279	3,151143	15,4409987	82,013387	87,00	1.299,2	3,90	333,14
	64,10	6,50	2,353	1177,66	664,36	1182,66	518,30	2,272	3,4428496	15,6956886	80,623106	84,00	1.225,0	3,30	371,21
									<b>3,2</b>	<b>15,5</b>	<b>81,8</b>		<b>1.280,7</b>	<b>3,6</b>	<b>360,3</b>
5	63,86	7,00	2,337	1177,95	664,78	1182,39	517,61	2,276	2,6271035	16,0140564	85,468236	82,00	1.202,9	3,90	308,44
	63,70	7,00	2,337	1179,54	665,97	1183,79	517,82	2,278	2,5352118	15,9347981	85,916305	84,00	1.237,2	4,20	294,58
	65,52	7,00	2,337	1175,03	659,21	1179,89	520,68	2,257	3,4411801	16,7162127	81,659999	80,00	1.127,6	4,00	281,89
									<b>2,6</b>	<b>16,0</b>	<b>85,7</b>		<b>1.220,1</b>	<b>4,1</b>	<b>301,5</b>

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,



Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041

**Lampiran 23 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Starbit E-55**

**PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM**

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran: AC-WC

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

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	Rongga dlm. Agrgt	Rongga terisi Aspal	di Baca	di Sesuaikan		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B} + \frac{B}{T}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$\frac{C - H \times 100}{C}$	$100 - \frac{(H \times (100 - B))}{Gsb}$	$\frac{B \times H}{T} \times 100\%$	Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab (mm)	M
1	67,92 67,07 69,13	5,00	2,403	1181,45 1179,17 1176,99	660,78 660,91 658,20	1186,90 1190,00 1187,11	526,12 529,09 528,91	2,246 2,229 2,225	6,5352019 7,2392172 7,3791992	15,3448079 15,9824656 16,1092534	63,116341 60,523839 60,029108	113,00 111,00 107,00	1.504,9 1.500,4 1.385,2	3,30 3,20 3,00	456,02 468,87 461,75
								<b>2,23</b>	<b>7,1</b>	<b>15,8</b>	<b>61,2</b>		<b>1.445,1</b>	<b>3,2</b>	<b>462,2</b>
2	70,07 69,53 68,17	5,50	2,386	1190,00 1184,85 1179,00	664,95 661,20 656,90	1193,87 1185,39 1184,67	528,92 524,19 527,77	2,250 2,260 2,234	5,7014953 5,2623789 6,369587	15,6299629 15,2370801 16,2277128	68,371533 70,175941 65,76823	117,00 115,00 115,00	1.483,8 1.475,9 1.519,4	3,30 3,20 3,10	449,64 461,23 490,11
								<b>2,23</b>	<b>5,8</b>	<b>15,7</b>	<b>68,1</b>		<b>1.479,9</b>	<b>3,2</b>	<b>467,0</b>
3	64,43 68,07 66,05	6,00	2,369	1182,11 1182,03 1179,20	665,17 665,40 667,48	1184,54 1183,76 1185,90	519,37 518,36 518,42	2,276 2,280 2,275	3,9409771 3,7603241 4,0018516	15,0998722 14,9402052 15,1536751	77,535132 78,373745 77,255875	113,00 114,00 110,00	1.634,1 1.511,6 1.534,3	3,40 3,40 3,20	480,62 444,59 479,47
								<b>2,27</b>	<b>3,9</b>	<b>15,1</b>	<b>77,7</b>		<b>1.572,9</b>	<b>3,3</b>	<b>468,2</b>
4	68,37 70,04 67,29	6,50	2,353	1177,99 1183,00 1172,42	665,94 665,40 665,19	1182,63 1187,76 1174,50	516,69 522,36 509,31	2,280 2,265 2,302	3,1148375 3,7589049 2,1757021	15,4093003 15,9716373 14,5893386	82,574338 79,5944 87,260908	115,00 118,00 113,00	1.513,1 1.445,2 1.531,0	3,50 3,70 3,50	432,31 390,60 437,41
								<b>2,26</b>	<b>3,0</b>	<b>15,3</b>	<b>83,1</b>		<b>1.522,0</b>	<b>3,6</b>	<b>420,1</b>
5	70,45 68,88 67,46	7,00	2,337	1185,12 1180,00 1173,21	668,00 664,50 662,28	1187,65 1184,87 1177,11	519,65 520,37 514,83	2,281 2,268 2,279	2,4189951 2,975001 2,4952438	15,834559 16,3141245 15,9003249	86,795645 84,162959 86,426721	113,00 111,00 111,00	1.420,3 1.444,5 1.497,1	3,70 3,70 3,30	383,85 390,41 453,68
								<b>2,26</b>	<b>2,7</b>	<b>16,1</b>	<b>85,5</b>		<b>1.432,4</b>	<b>3,7</b>	<b>387,1</b>
4 - 7									3 - 5				min 800		200 - 350

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

  
Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

  
Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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 24 Pengujian Cantabro dalam Mencari KAO pada Aspal Pen 60/70

### PENGUJIAN CANTABRO PADA ASPAL PEN 60/70

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Kadar Aspal (%)		Berat Benda Uji (gr)		Berat Sebelum Di Abrasi (gr)	Kehilangan Berat (gr)	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
5	A	1169,49	701,23	468,26	40,04	38,99
	B	1150,04	709,89	440,15	38,27	
	C	1170,89	718,18	452,71	38,66	
5,5	A	1138,94	812,56	326,38	28,66	29,81
	B	1171,27	802,98	368,29	31,44	
	C	1121,15	792,3	328,85	29,33	
6	A	1139,45	877,65	261,8	22,98	22,19
	B	1160,25	912,34	247,91	21,37	
	C	1117,19	868,98	248,21	22,22	
6,5	A	1127,66	890,61	237,05	21,02	20,15
	B	1137,7	896,12	241,58	21,23	
	C	1150,5	941,3	209,2	18,18	
7	A	1157,6	964,14	193,46	16,71	15,09
	B	1160,96	1001,3	159,66	13,75	
	C	1145,73	976,15	169,58	14,80	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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

## Lampiran 25 Pengujian Cantabro dalam Mencari KAO pada Starbit E-55

### PENGUJIAN CANTABRO PADA ASPAL STARBIT E-55

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

SAMPPEL	Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
5	A	1198,21	1073,14	125,07	11,07
	B	1165,76	1021,26	144,5	
	C	1173,78	1052,13	121,65	
5,5	A	1149,69	1097,64	52,05	6,20
	B	1178,13	1094,23	83,9	
	C	1173,12	1091,45	81,67	
6	A	1168,25	1121,69	46,56	4,94
	B	1175,45	1115,93	59,52	
	C	1186,43	1117,88	68,55	
6,5	A	1144,11	1081,64	62,47	3,95
	B	1152,45	1116,11	36,34	
	C	1184,14	1145,77	38,37	
7	A	1176,34	1147,38	28,96	2,44
	B	1181,12	1151,33	29,79	
	C	1146,77	1119,87	26,9	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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

## Lampiran 26 Pengujian Asphalt Flow Down dalam Mencari KAO pada Aspal Pen 60/70

### PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN PADA ASPAL PEN 60/70

Tahun Pengujian : 2020

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz

Tipe Campuran : Aspal Porus

Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Kadar Aspal (%)		Berat (gr)			Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Asphalt Flow Down Rata-rata (%)
		m1	m2	m3				
5	1	324,8	1502,8	325,91	1,11	1178	0,09	0,08
	2	324,3	1503,4	324,4	0,1	1179,1	0,01	
	3	327,77	1499,62	329,32	1,55	1171,85	0,13	
5,5	1	336,71	1508,38	338,98	2,27	1171,67	0,19	0,24
	2	332,2	1511,77	334,87	2,67	1179,57	0,23	
	3	329,22	1507,09	332,65	3,43	1177,87	0,29	
6	1	327,8	1490,12	338,6	10,8	1162,32	0,93	0,64
	2	327,52	1470,13	337,8	10,28	1142,61	0,90	
	3	321,74	1466,13	322,89	1,15	1144,39	0,10	
6,5	1	307,55	1476,74	320,13	12,58	1169,19	1,08	1,23
	2	307,01	1483,16	315,99	8,98	1176,15	0,76	
	3	304,12	1441,77	325,15	21,03	1137,65	1,85	
7	1	304,04	1449,08	320,38	16,34	1145,04	1,43	1,36
	2	303,2	1454,36	314,23	11,03	1151,16	0,96	
	3	307,77	1461,2	327,45	19,68	1153,43	1,71	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**Lampiran 27 Pengujian Asphalt Flow Down dalam Mencari KAO pada Starbit E-55**

**PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN PADA ASPAL STARBIT E-55**

Tahun Pengujian : 2020

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz

Tipe Campuran : Aspal Porus

Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Kadar Aspal (%)		Weight (g)			Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Asphalt Flow Down Rata-rata (%)
		m1	m2	m3				
5	1	325,28	1489,28	326,5	1,22	1164	0,10	0,13
	2	318,34	1498,33	319,77	1,43	1179,99	0,12	
	3	319,88	1487,48	321,78	1,9	1167,6	0,16	
5,5	1	323,67	1488	326,4	2,73	1164,33	0,23	0,25
	2	322,12	1487,13	324,55	2,43	1165,01	0,21	
	3	317,13	1489,03	320,89	3,76	1171,9	0,32	
6	1	349,28	1492,82	353,88	4,6	1143,54	0,40	0,46
	2	341,22	1487,77	346,89	5,67	1146,55	0,49	
	3	347,82	1482,13	353,45	5,63	1134,31	0,50	
6,5	1	351,34	1489,13	367	15,66	1137,79	1,38	1,51
	2	337,13	1482,31	354,14	17,01	1145,18	1,49	
	3	326,14	1472,42	345,15	19,01	1146,28	1,66	
7	1	346,88	1486,3	373,83	26,95	1139,42	2,37	2,43
	2	348,13	1484,13	375,91	27,78	1136	2,45	
	3	342,98	1479,14	371,31	28,33	1136,16	2,49	

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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 28 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO

### PENGUJIAN MARSHALL SELURUH CAMPURAN

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran: AC-WC dan Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Kadar Aspal	VITM	VFWA	VMA	Stabilitas	Flow	MQ	Density
		(%)	(%)	(%)	(%)	(kg)	(mm)	(kg/mm)	(gr/cc)
Porus	Starbit E-55	5,6	18,20	37,36	29,06	647,18	4,10	157,90	1,99
	Pen 60/70	5,5	18,10	36,90	28,68	527,68	3,63	145,26	2,00
ACWC	Starbit E-55	6,2	3,92	78,06	15,39	1464,02	3,13	467,75	2,28
	Pen 60/70	6,1	3,36	80,23	19,48	1320,36	3,20	412,68	2,29

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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 29 Hasil Pengujian Immersion Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO

### PENGUJIAN *IMMERSION* SELURUH CAMPURAN

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : AC-WC dan Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Rendaman 0,5 jam	Rendaman 24 jam	<i>Immersion</i>
		Stabilitas (kg)	Stabilitas (kg)	(%)
<i>Porus</i>	Starbit E-55	647,18	594,58	91,87
	Pen 60/70	527,68	476,76	90,35
<i>ACWC</i>	Starbit E-55	1464,02	1347,18	92,02
	Pen 60/70	1320,36	1194,37	90,46

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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 30 Hasil Pengujian ITS dan TSR Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO

#### PENGUJIAN *ITS* DAN *TSR* SELURUH CAMPURAN

Tahun Pengujian : 2020  
Tipe Campuran : AC-WC dan Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	<i>Indirect Tensile Strenght</i>		<i>Tensile Strenght Ratio</i>
		Rendaman 0 jam	Rendaman 24 jam	
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	(%)
<i>Porus</i>	Starbit E-55	7,36	6,54	88,78
	Pen 60/70	7,85	6,89	87,75
<i>ACWC</i>	Starbit E-55	21,06	19,07	90,56
	Pen 60/70	17,93	16,15	90,10

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**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 Hasil Pengujian Cantabro Loss Campuran AC-WC dan Aspal Porus pada Kondisi KAO

### PENGUJIAN *CANTABRO LOSS* PADA SELURUH CAMPURAN

Tahun Pengujian : 2020 Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Tipe Campuran : AC-WC dan Aspal Porus Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	<i>Cantabro</i>
		(%)
<i>Porus</i>	Starbit E-55	6,60
	Pen 60/70	26,57
<i>ACWC</i>	Starbit E-55	3,26
	Pen 60/70	4,34

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



### Lampiran 32 Hasil Analisis Perhitungan Stiffness Modulus

#### NILAI STIFFNESS MODULUS PADA BITUMEN DAN SELURUH CAMPURAN

Tahun Pengujian : 2020 Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Tipe Campuran : AC-WC dan Aspal Porus Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Temperatur Aspal (°C)	Kecepatan Kendaraan (Km/jam)	Stiffness Modulus of Bitumen (N/m <sup>2</sup> )	Stiffness Modulus of Mixture (N/m <sup>2</sup> )		
AC-WC	Starbit E-55	30	40	5,506	816,223		
	Pen 60/70			4,338	782,716		
Porus	Starbit E-55			5,506	231,982		
	Pen 60/70			4,338	199,047		
AC-WC	Starbit E-55		60	60	6,392	908,870	
	Pen 60/70				5,036	870,859	
Porus	Starbit E-55			6,392	262,413		
	Pen 60/70			5,036	225,197		
AC-WC	Starbit E-55			80	80	7,105	980,571
	Pen 60/70					5,598	939,031
Porus	Starbit E-55		7,105		286,319		
	Pen 60/70		5,598		245,746		

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041



**Lampiran 33 Hasil Analisis Nilai Beban Gandar Menggunakan KENPAVE  
NILAI BEBAN GANDAR MAKSIMAL PADA SELURUH CAMPURAN**

Tahun Pengujian : 2020 Dikerjakan Oleh : Matris Derianza Hafidz  
Tipe Campuran : AC-WC dan Aspal Porus Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.

Beban Lalu Lintas (ESAL)	Beban Repetisi (ESAL)		Analisis Beban Lalu Lintas	
7398543,88	AC-WC Starbit E-55	Nf	126474837,62	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	26996056,42	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	15034475,66	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	AC-WC Pen 60/70	Nf	125490332,66	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	26733851,29	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	14804637,24	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	Aspal Porus Starbit E-55	Nf	106870651,82	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	21046749,49	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	10821175,91	Nd > Beban Lalu Lintas
7398543,88	Aspal Porus Pen 60/70	Nf	105283921,10	Nf > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nr	20586164,65	Nr > Beban Lalu Lintas
7398543,88		Nd	10549573,50	Nd > Beban Lalu Lintas

Mengetahui,  
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Matris Derianza Hafidz  
NIM : 19914041

### Lampiran 34 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Stabilitas Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: Stabilitas

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	1320.36867	65.507405	3
	Aspal Porus	527.67900	4.775346	3
	Total	924.02383	436.156717	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	1464.02800	56.705451	3
	Aspal Porus	647.17900	9.828784	2
	Total	1070.58640	388.621616	5
Total	AC-WC	1336.61333	57.613873	6
	Aspal Porus	575.47900	65.723879	5
	Total	990.64318	401.728001	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Stabilitas

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1598698.199 <sup>a</sup>	3	532899.400	246.132	.000
Intercept	9871837.068	1	9871837.068	4559.539	.000
Aspal	15400.505	1	15400.505	7.113	.032
Campuran	1496739.107	1	1496739.107	691.304	.000
Aspal * Campuran	5047.237	1	5047.237	2.331	.171
Error	15155.670	7	2165.096		
Total	12408966.920	11			
Corrected Total	1613853.869	10			

a. R Squared = .991 (Adjusted R Squared = .987)

### Lampiran 35 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Flow Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: Flow

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	3.20000	.100000	3
	Aspal Porus	3.63333	.057735	3
	Total	3.41667	.248328	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	3.15000	.300000	3
	Aspal Porus	4.10000	.141421	2
	Total	3.56000	.541295	5
Total	AC-WC	3.20000	.200000	6
	Aspal Porus	3.82000	.268328	5
	Total	3.48182	.391965	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Flow

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.310 <sup>a</sup>	3	.437	13.482	.003
Intercept	133.167	1	133.167	4112.523	.000
Aspal	.145	1	.145	4.484	.042
Campuran	1.185	1	1.185	36.601	.001
Aspal * Campuran	.145	1	.145	4.484	.072
Error	.227	7	.032		
Total	134.890	11			
Corrected Total	1.536	10			

a. R Squared = .852 (Adjusted R Squared = .789)

### Lampiran 36 Uji Signifikansi Campuran Terhadap MQ Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: MQ

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	412.68300	18.231233	3
	Aspal Porus	145.26400	3.159902	3
	Total	278.97350	146.938156	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	467.09867	53.922095	3
	Aspal Porus	157.90100	3.049044	2
	Total	318.81960	151.773242	5
Total	AC-WC	419.39083	36.742103	6
	Aspal Porus	150.31880	7.431338	5
	Total	297.08536	142.977165	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MQ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	197915.491 <sup>a</sup>	3	65971.830	70.946	.000
Intercept	869361.460	1	869361.460	934.911	.000
Aspal	452.494	1	452.494	.487	.508
Campuran	191256.809	1	191256.809	205.678	.000
Aspal * Campuran	.404	1	.404	.000	.984
Error	6509.207	7	929.887		
Total	1175281.544	11			
Corrected Total	204424.698	10			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .955)

### Lampiran 37 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VITM Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: VITM

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	3.36467	.275195	3
	Aspal Porus	18.09767	.040377	3
	Total	10.73117	8.071514	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	3.92200	.797810	3
	Aspal Porus	18.20350	.147785	2
	Total	10.86460	6.723584	5
Total	AC-WC	4.66833	1.524582	6
	Aspal Porus	18.14000	.098161	5
	Total	10.79182	7.117735	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MQ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	197915.491 <sup>a</sup>	3	65971.830	70.946	.000
Intercept	869361.460	1	869361.460	934.911	.000
Aspal	452.494	1	452.494	.487	.508
Campuran	191256.809	1	191256.809	205.678	.000
Aspal * Campuran	.404	1	.404	.000	.984
Error	6509.207	7	929.887		
Total	1175281.544	11			
Corrected Total	204424.698	10			

a. R Squared = .968 (Adjusted R Squared = .955)

### Lampiran 38 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VFWA Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: VFWA

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	80.23133	1.065868	3
	Aspal Porus	36.89967	.063406	3
	Total	54.27550	19.046247	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	78.06300	2.956827	3
	Aspal Porus	37.36200	.231931	2
	Total	56.67660	17.755647	5
Total	AC-WC	70.60217	2.296184	6
	Aspal Porus	37.08460	.282106	5
	Total	55.36691	17.580026	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VFWA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3070.754 <sup>a</sup>	3	1023.585	361.515	.000
Intercept	30950.398	1	30950.398	10931.222	.000
Aspal	1.784	1	1.784	.630	.453
Campuran	2987.547	1	2987.547	1055.157	.000
Aspal * Campuran	4.371	1	4.371	1.544	.254
Error	19.820	7	2.831		
Total	36811.014	11			
Corrected Total	3090.573	10			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .991)

### Lampiran 39 Uji Signifikansi Campuran Terhadap VMA Kondisi KAO

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: VMA

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	19.04500	.230539	3
	Aspal Porus	28.68067	.034819	3
	Total	23.86283	5.279732	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	15.39067	.682639	3
	Aspal Porus	29.06150	.127986	2
	Total	23.36700	5.221098	5
Total	AC-WC	19.30783	.539032	6
	Aspal Porus	28.83300	.219571	5
	Total	23.63745	4.990870	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	248.031 <sup>a</sup>	3	82.677	547.481	.000
Intercept	6189.888	1	6189.888	40988.997	.000
Aspal	.548	1	.548	3.628	.099
Campuran	243.882	1	243.882	1614.969	.000
Aspal * Campuran	.014	1	.014	.093	.770
Error	1.057	7	.151		
Total	6395.110	11			
Corrected Total	249.088	10			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

## Lampiran 40 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Density Kondisi KAO

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: Density

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	2.28633	.006658	3
	Aspal Porus	2.00200	.001000	3
	Total	2.14417	.155794	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	2.27233	.019399	3
	Aspal Porus	1.99250	.003536	2
	Total	2.16040	.153894	5
Total	AC-WC	2.27933	.015069	6
	Aspal Porus	1.99820	.005541	5
	Total	2.15155	.147245	11

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Density

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.216 <sup>a</sup>	3	.072	588.777	.000
Intercept	48.771	1	48.771	398906.812	.000
Aspal	.000	1	.000	3.011	.126
Campuran	.212	1	.212	1735.531	.000
Aspal * Campuran	1.350E-5	1	1.350E-5	.110	.749
Error	.001	7	.000		
Total	51.137	11			
Corrected Total	.217	10			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

## Lampiran 41 Uji Signifikansi Campuran Terhadap IRS Kondisi KAO

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: IRS

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	1194.36633	92.392082	3
	Aspal Porus	476.75800	16.070801	3
	Total	835.56217	397.500117	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	1347.17433	26.944000	3
	Aspal Porus	594.35800	9.043896	2
	Total	1043.63700	416.096622	5
Total	AC-WC	1270.77033	103.489110	6
	Aspal Porus	521.38720	62.322898	5
	Total	930.14164	400.081861	11

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: IRS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1581532.070 <sup>a</sup>	3	527177.357	192.975	.000
Intercept	8671851.702	1	8671851.702	3174.362	.000
Aspal	46598.209	1	46598.209	17.057	.004
Campuran	1453273.016	1	1453273.016	531.976	.000
Aspal * Campuran	1133.550	1	1133.550	.415	.540
Error	19122.885	7	2731.841		
Total	11117453.060	11			
Corrected Total	1600654.955	10			

a. R Squared = .988 (Adjusted R Squared = .983)

## Lampiran 42 Uji Signifikansi Campuran Terhadap ITS Kondisi KAO

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: ITS

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	17.93400	1.074925	3
	Aspal Porus	7.84900	.489360	3
	Total	12.89150	5.574060	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	21.06833	.497052	3
	Aspal Porus	7.85700	1.097430	2
	Total	15.56580	7.467289	5
Total	AC-WC	19.46617	1.837947	6
	Aspal Porus	7.67620	.690516	5
	Total	14.10709	6.307911	11

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ITS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	393.409 <sup>a</sup>	3	131.136	204.520	.000
Intercept	1958.306	1	1958.306	3054.165	.000
Aspal	4.619	1	4.619	7.204	.031
Campuran	373.397	1	373.397	582.348	.000
Aspal * Campuran	8.150	1	8.150	12.710	.009
Error	4.488	7	.641		
Total	2587.008	11			
Corrected Total	397.897	10			

a. R Squared = .989 (Adjusted R Squared = .984)

### Lampiran 43 Uji Signifikansi Campuran Terhadap Cantabro Loss

#### Descriptive Statistics

Dependent Variable: CantabroLoss

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	4.34700	.456967	3
	Aspal Porus	26.56833	1.388008	3
	Total	14.96767	12.741457	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	3.25900	.483910	3
	Aspal Porus	6.59900	.084853	2
	Total	4.59500	1.861603	5
Total	AC-WC	3.31300	.425082	6
	Aspal Porus	18.58060	10.981683	5
	Total	10.25282	10.578370	11

#### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CantabroLoss

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1114.273 <sup>a</sup>	3	371.424	547.788	.000
Intercept	1055.673	1	1055.673	1556.939	.000
Aspal	268.733	1	268.733	396.336	.000
Campuran	469.628	1	469.628	692.622	.000
Aspal * Campuran	262.982	1	262.982	387.854	.000
Error	4.746	7	.678		
Total	2275.342	11			
Corrected Total	1119.019	10			

a. R Squared = .996 (Adjusted R Squared = .994)

## Lampiran 44 Uji Signifikansi Campuran Terhadap TSR Kondisi KAO

### Descriptive Statistics

Dependent Variable: TSR

Aspal	Campuran	Mean	Std. Deviation	N
Aspal Pen 60/70	AC-WC	16.15867	9.329590	3
	Aspal Porus	6.88767	.592502	3
	Total	8.82817	6.282959	6
Aspal Starbit E-55	AC-WC	19.07200	.507241	3
	Aspal Porus	6.53600	.575585	2
	Total	14.05760	6.881632	5
Total	AC-WC	14.92033	7.456743	6
	Aspal Porus	6.74700	.543557	5
	Total	11.20518	6.792554	11

### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	285.757 <sup>a</sup>	3	95.252	3.796	.066
Intercept	1247.868	1	1247.868	49.736	.000
Aspal	42.153	1	42.153	1.680	.236
Campuran	179.679	1	179.679	7.161	.032
Aspal * Campuran	49.939	1	49.939	1.990	.201
Error	175.631	7	25.090		
Total	1842.505	11			
Corrected Total	461.388	10			

a. R Squared = .619 (Adjusted R Squared = .456)