

**TESIS**

**STUDI KOMPARASI KARAKTERISTIK CAMPURAN DAN  
PREDIKSI UMUR PELAYANAN ANTARA PERKERASAN  
SUPERPAVE DENGAN AC-WC AKIBAT PENGARUH JENIS  
BAHAN IKAT ASPAL STARBIT E-55 DAN PEN 60/70**

*(COMPARATIVE STUDY OF MIXTURE CHARACTERISTICS AND  
PREDICTION OF SERVICE LIFE BETWEEN SUPERPAVE AND  
AC-WC PAVEMENTS DUE TO THE INFLUENCE OF THE TYPE  
OF BINDER ASPHALT STARBIT E-55 AND PEN 60/70)*



**Disusun oleh:**

**Muhamad Abdul Hadi**

**1991 4042**

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI  
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MASTER  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA  
2021**

TESIS

STUDI KOMPARASI KARAKTERISTIK CAMPURAN DAN  
PREDIKSI UMUR PELAYANAN ANTARA PERKERASAN  
SUPERPAVE DENGAN AC-WC AKIBAT PENGARUH JENIS  
BAHAN IKAT ASPAL STARBIT E-55 DAN PEN 60/70

*(COMPARATIVE STUDY OF MIXTURE CHARACTERISTICS AND  
PREDICTION OF SERVICE LIFE BETWEEN SUPERPAVE AND  
AC-WC PAVEMENTS DUE TO THE INFLUENCE OF THE TYPE  
OF BINDER ASPHALT STARBIT E-55 AND PEN 60/70)*



Diperiksa dan disetujui oleh:

MIETAHUL FAUZIAH, S.T., M.T., Ph.D.  
Dosen Pembimbing I

  
Tanggal: 30-08-2021

Ir. SUBARKAH, M.T.  
Dosen Pembimbing II

  
Tanggal: 30-08-2021

## TESIS

**STUDI KOMPARASI KARAKTERISTIK CAMPURAN DAN  
PREDIKSI UMUR PELAYANAN ANTARA PERKERASAN  
SUPERPAVE DENGAN AC-WC AKIBAT PENGARUH JENIS  
BAHAN IKAT ASPAL STARBIT E-55 DAN PEN 60/70**

*(COMPARATIVE STUDY OF MIXTURE CHARACTERISTICS AND  
PREDICTION OF SERVICE LIFE BETWEEN SUPERPAVE AND  
AC-WC PAVEMENTS DUE TO THE INFLUENCE OF THE TYPE  
OF BINDER ASPHALT STARBIT E-55 AND PEN 60/70)*



Tulis di atas di depan Dosen Pengantar

Pada tanggal 29-08-2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima


Sesuai Dengan Perintah

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

Dosen Pengantar

  
(Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D.)

  
(Dr. Subarluah, M.T.)

  
(Dr. Ir. Edy Purwanto, CES, DE.A.)

Yogyakarta, 05 OCT 2021

Universitas Jember Indonesia

Program Studi Magister Teknik Sipil

Program



  
(Miftahul Fauziah, 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, pemikiran dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali antara Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam rangka dengan dicantumkan 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, 12 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



**M. HANAD ABDEL HADI**

NIM : 1991 4042

## KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan antara Perkerasan *Superpave* dengan *AC-WC* Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program 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. dan Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan II, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis,
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku Dosen Penguji Tesis, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan 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. Bapak Hermansyah dan Ibu Arbaiyah selaku orangtua penulis yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis,
5. Siti Darmatasiah, S.E. dan Siti Fatmawati, S.T. selaku kakak yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis, dan
6. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

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

Yogyakarta, 21 Agustus 2021

Penulis



Muhamad Abdul Hadi  
(1991 4042)

## DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan	ii
Halaman Pengesahan	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Masalah	5
1.5 Manfaat Penelitian	6
BAB II STUDI PUSTAKA	7
2.1 Kinerja Perkerasan Beraspal	7
2.2 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Kinerja Perkerasan	9
2.3 Prediksi Umur Layanan dengan Program <i>KENPAVE</i>	11
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilaksanakan	14
BAB III LANDASAN TEORI	16
3.1 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur	16
3.1.1 Aspal	16
3.1.2 Agregat	17
3.1.3 Gradasi Agregat	19

3.2	<i>Superpave Asphalt</i>	19
3.3	<i>AC-WC</i>	21
3.4	Karakteristik <i>Marshall Test</i>	22
	3.4.1 Stabilitas ( <i>Stability</i> )	22
	3.4.2 Kelelehan ( <i>Flow</i> )	22
	3.4.3 Kepadatan ( <i>Density</i> )	23
	3.4.4 <i>Void In Mineral Agregate (VMA)</i>	23
	3.4.5 <i>Void In Total Mix (VITM)</i>	24
	3.4.6 <i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	24
	3.4.7 <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	25
3.5	<i>Immersion Test</i>	26
3.6	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	26
3.7	<i>Tensile Strenght Ratio (TSR)</i>	27
3.8	<i>Cantabro Test</i>	27
3.9	<i>Stifness Modulus</i>	27
3.11	Analisis Mekanistik dengan Program <i>KENPAVE</i>	29
	3.11.1 Program <i>KENLAYER</i>	30
	3.11.2 Analisis Kerusakan	32
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		35
4.1	Pengujian Sifat Fisik Material dan Pengujian untuk Mencari KAO	35
4.2	Pengujian untuk Mencari Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> dan <i>ACWC</i> pada Kondisi KAO	35
4.3	Rancangan Gradasi Agregat	35
4.4	Pengumpulan Data Ruas Jalan	38
4.5	Variasi dan Jumlah Sampel Penelitian	40
4.6	Analisis Statistik	40
4.7	Bagan Alir Penelitian	41
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		43
5.1	Hasil Penelitian	43
	5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	43

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	43
5.1.3 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Campuran <i>Superpave</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	44
5.1.4 Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Campuran AC-WC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	46
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Perkerasan Berdasarkan Jenis Gradasi dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 pada KAO	48
5.1.6 Hasil Analisis Statik <i>T-Test</i>	50
5.1.7 Hasil Analisis Statik <i>Anova</i>	50
5.2 Pembahasan	52
5.2.1 Karakteristik Aspal	52
5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar	55
5.2.3 Karakteristik Agregat Halus	56
5.2.4 Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 untuk Mencari KAO	57
5.2.5 Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 pada KAO	70
5.2.6 Perbandingan Nilai <i>Index Retained Strenght</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	81
5.2.7 Perbandingan Nilai <i>Indirect Tensile Strenght</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	83
5.2.8 Perbandingan Nilai <i>Tensile Strenght Ratio</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	84
5.2.9 Perbandingan Nilai <i>Cantabro Loss</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	86
5.2.10 Perbandingan Nilai <i>Stiffness modulus</i> Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	87
5.2.11 Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran <i>Superpave</i> dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	89
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	94
6.1 Kesimpulan	94



6.2	Saran	96
	DAFTAR PUSTAKA	97
	LAMPIRAN	103



## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Zona Larangan pada Gradasi Superpave	20
Gambar 3. 2 Tampilan Program <i>KENPAVE</i>	30
Gambar 4.1 Gradasi Agregat Campuran Superpave Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm	36
Gambar 4.2 Gradasi Agregat Campuran <i>AC-WC</i>	37
Gambar 4.3 Bagan Alir Penelitian	42
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E-55	45
Gambar 5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Superpave</i> dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70	45
Gambar 5.3 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E-55	47
Gambar 5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70	47
Gambar 5.5 Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	58
Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	58
Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	60
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	61
Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	62
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	63

Gambar 5.11	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	64
Gambar 5.12	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	64
Gambar 5.13	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas Pada Campuran <i>Superpave</i>	65
Gambar 5.14	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas Pada Campuran <i>AC-WC</i>	66
Gambar 5.15	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	67
Gambar 5.16	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	68
Gambar 5.17	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i> Pada Campuran <i>Superpave</i>	69
Gambar 5.18	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i> Pada Campuran <i>AC-WC</i>	70
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Nilai <i>VITM</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	71
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan Nilai <i>VFWA</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	72
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan Nilai <i>VMA</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	74
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan Nilai <i>Density</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	75
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	77
Gambar 5.24	Grafik Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	79
Gambar 5.25	Grafik Perbandingan Nilai <i>MQ</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	80

Gambar 5.26 Grafik Perbandingan Nilai <i>IRS</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	82
Gambar 5.27 Grafik Perbandingan Nilai <i>ITS</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	83
Gambar 5.28 Grafik Perbandingan Nilai <i>TSR</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	85
Gambar 5.29 Grafik Perbandingan Nilai <i>CL</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	86
Gambar 5.30 Grafik Perbandingan Nilai <i>Sbit</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	87
Gambar 5.31 Grafik Perbandingan Nilai <i>Smix</i> Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	88
Gambar 5.32 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	89

## DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Nilai Sisa Antara Perkerasan <i>Superpave</i> dengan ACWC Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat	14
Tabel 3. 1 Persyaratan Aspal AC 60/70	17
Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Starbit E-55	17
Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar	18
Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus	19
Tabel 3. 5 Spesifikasi Gradasi Campuran <i>Superpave</i>	20
Tabel 3. 6 Spesifikasi Karakteristik Sifat Campuran pada Gradasi <i>Superpave</i>	21
Tabel 3. 7 Spesifikasi Gradasi Campuran AC-WC	21
Tabel 3. 8 Spesifikasi Karakteristik Sifat Campuran pada Gradasi AC-WC	22
Tabel 3. 9 Satuan English dan SI	31
Tabel 4.1 Gradasi Agregat Campuran <i>Superpave</i> Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm	36
Tabel 4.2 Gradasi Agregat Campuran AC-WC	37
Tabel 4.3 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Tempel – Pakem	38
Tabel 4.4 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana	39
Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO	40
Tabel 4.6 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO	40
Tabel 5.1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	43
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	44
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agegat Halus	44
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Berat Jenis <i>Filler</i>	44
Tabel 5.5 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Starbit E-55	44
Tabel 5.6 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan Aspal Pen 60/70	45

Tabel 5.7 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran AC-WC dengan Aspal Starbit E-55	46
Tabel 5.8 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran AC-WC dengan Aspal Pen 60/70	46
Tabel 5.9 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> pada Campuran <i>Superpave</i>	48
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> pada Campuran ACWC	48
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i> pada Setiap Jenis Campuran	48
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> pada Setiap Jenis Campuran	48
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i> pada Setiap Jenis Campuran	49
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> pada Setiap Jenis Campuran	49
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Stiffness Modulus</i> pada Setiap Jenis Campuran	49
Tabel 5.16 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Pada Campuran <i>Superpave</i> Berbahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	49
Tabel 5.17 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif Pada Campuran AC-WC Berbahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70	49
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik T-Test untuk Sifat Fisik Aspal Starbit E-55 Terhadap Aspal Pen 60/70	50
Tabel 5.19 Rekapitulasi Uji Statistik Anova Karakteristik Marshall untuk Semua Jenis Gradasi pada KAO	50
Tabel 5.20 Rekapitulasi Uji Statistik Anova Nilai <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> dan <i>CL</i> untuk Semua Jenis Gradasi	51
Tabel 5.21 Rekapitulasi Uji Statistik Anova Nilai <i>Stiffness Modulus</i> Untuk Semua Jenis Gradasi	51
Tabel 5.22 Rekapitulasi Uji Statistik Anova Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat Pada Kondisi KAO	51

Tabel 5.23 Rekapitulasi Uji Statistik <i>Anova</i> Nilai <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> dan <i>CL</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat	51
Tabel 5.24 Rekapitulasi Uji Statistik <i>Anova</i> Nilai <i>Stiffness Modulus</i> untuk Semua Jenis Bahan Ikat	51
Tabel 5.25 Viskositas Aspal Pen 60/70	60
Tabel 5.26 Viskositas Aspal Stabir E-55	60
Tabel 5.27 Rekapitulasi Perbandingan Faktor Nilai <i>Sbit</i>	88







Lampiran 24. Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	131
Lampiran 25. Hasil Pengujian <i>IRS</i> Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	133
Lampiran 26. Hasil Pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i> Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	135
Lampiran 27. Hasil Pengujian <i>CL</i> Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	137
Lampiran 28. Nilai <i>Stiffness Modulus</i> Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	139
Lampiran 29. Nilai Beban Gandar Maksimum dan Prediksi Umur Layananan Gradasi <i>Superpave</i> dan <i>AC-WC</i> pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70	141
Lampiran 30. Tabel Konstanta <i>A0</i>	142
Lampiran 31. Hasil Analisis <i>T-test</i> Pengujian Sifat Fisik Aspal Starbit E-55 Terhadap Aspal Pen 60/70	144
Lampiran 32. Hasil Uji <i>Anova</i> Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>	146
Lampiran 33. Hasil Analisis <i>Anova</i> Terhadap Uji <i>Immersion</i> , <i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> dan <i>Stiffness Modulus</i>	150

## ABSTRAK

Tantangan volume lalu lintas yang tinggi, beban berlebih dan permasalahan lingkungan perlu diantisipasi melalui modifikasi material perkerasan, baik untuk gradasi maupun untuk material pengikat. Penelitian ini menyajikan studi komparasi karakteristik campuran dan prediksi umur pelayanan antara perkerasan *Superpave* dengan *AC-WC* akibat pengaruh jenis bahan ikat aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70.

Percobaan laboratorium diawali dengan pengujian fisik bahan agregat dan aspal, kemudian dilakukan penentuan kadar aspal optimum untuk masing-masing campuran, selanjutnya dilakukan beberapa serangkaian pengujian berupa *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan *Cantabro Loss (CL)* pada kadar aspal optimum, serta dilakukannya analisis berupa perhitungan *stiffness modulus* sekaligus melakukan penginputan data pada program *KENPAVE*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum campuran *Superpave* dengan Starbit E-55 memiliki kinerja *Marshall* yang jauh lebih baik dalam hal stabilitas dan *Marshall Quotient (MQ)*, namun sifat volumetriknya, seperti *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)* dan *density* sedikit lebih rendah dari *AC-WC*. Ini juga telah membuktikan bahwa Starbit E-55 memberikan kinerja mekanis yang jauh lebih baik pada campuran *Superpave* daripada pada *AC-WC*, dengan hanya kualitas volumetrik yang sedikit lebih rendah. Campuran *Superpave* juga memiliki keunggulan berupa tingginya nilai *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, *Stiffness Modulus* serta prediksi masa pelayanan perkerasan dibandingkan perkerasan yang menggunakan gradasi *AC-WC* walaupun tidak terlalu signifikan.

**Kata-kata Kunci:** *Superpave, AC-WC, Marshall, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, Cantabro Loss, Stiffness Modulus, KENPAVE*

## **ABSTRACT**

*The challenges of high traffic volume, overload and environmental problems need to be anticipated through modification of the pavement material, both for gradation and for binder materials. This research presents a comparative study of mixture characteristics and predictions of service life between Superpave and AC-WC pavements due to the influence of Starbit E-55 and Pen 60/70 asphalt binders.*

*The laboratory experiment begins with physical testing of aggregates and asphalt, then determines the optimum asphalt content for each mixture, then a series of tests are carried out in the form of Marshall Standard, Index of Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR) and Cantabro Loss (CL) at optimum asphalt content, as well as analysis in the form of calculating stiffness modulus as well as inputting data in the KENPAVE program.*

*The results showed that in general the mixture of Superpave with Starbit E-55 had much better Marshall performance in terms of stability and Marshall Quotient (MQ), but its volumetric properties, such as Void In Total Mix (VITM), Void Filled With Asphalt (VFWA) and the density is slightly lower than AC-WC. It has also proven that the Starbit E-55 delivers significantly better mechanical performance on the Superpave mix than on the AC-WC, with only slightly lower volumetric quality. The Superpave mixture also has advantages in the form of high IRS, ITS, TSR, CL, Stiffness Modulus values and the prediction of pavement service life compared to pavements using AC-WC gradations, although not too significant.*

**Keywords:** *Superpave, AC-WC, Marshall, Index of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, Cantabro Loss, Stiffness Modulus, KENPAVE*

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang Masalah

Indonesia saat ini sangat memerlukan inovasi ataupun modifikasi untuk kemajuan terhadap perkembangan sarana penunjang transportasi, salah satunya adalah struktur perkerasan jalan. Meningkatnya jumlah lalu lintas dan perkembangan kendaraan yang sangat pesat serta tantangan masalah lingkungan mengakibatkan perlunya kebutuhan perkerasan yang lebih mampu mengantisipasi permasalahan yang diakibatkan oleh faktor cuaca ekstrim, jumlah lalu lintas yang tinggi, dan beban yang berlebih. Dengan demikian tantangan ini perlu diantisipasi melalui modifikasi atau mencari alternatif lain material perkerasan baik terhadap berbagai macam tipe gradasi ataupun jenis bahan ikat.

Salah satu tipe gradasi yang memungkinkan untuk diterapkan di Indonesia adalah tipe gradasi *Superpave*. Tipe gradasi ini sudah berkembang pesat penggunaan dan penerapannya di Amerika. Campuran *Superpave* merupakan gradasi campuran beton aspal yang dikembangkan oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*, menurut Fauziah, dkk (2014) campuran *Superpave* mampu mengurangi efek deformasi plastis dan keretakan awal akibat pengulangan beban lalu lintas. Selain itu, Karahancer, dkk (2018) dan Zumwari (2019) menyebutkan bahwa jenis perkerasan *Superpave* memiliki kemampuan dalam mencegah penurunan performa akibat kondisi ekstrim, sehingga sangat efektif untuk diterapkan terutama pada negara yang beriklim ekstrim. Nono (2010) dalam penelitiannya menyebutkan bahwa campuran *Superpave* direkomendasikan agar campuran tahan terhadap deformasi permanen maka  $C_{irit} > 89\%$ . Untuk mengantisipasi deformasi plastis akibat pemadatan lalu lintas maka direkomendasikan  $C_{max} > 98\%$ . Hal demikian menunjukkan bahwa rongga dalam campuran *VITM* harus  $> 2\%$ .

Selain adanya peranan gradasi, penggunaan jenis bahan ikat juga memiliki peranan penting dalam usaha meningkatkan dan memaksimalkan kinerja

perkerasan jalan. Golalipour (2012) melakukan kajian terhadap 2 aspek yaitu pengaruh perbedaan tipe gradasi campuran dan tipe bahan ikat terhadap karakteristik campuran suatu perkerasan. Penelitian tersebut menggunakan lima jenis gradasi dengan dua jenis bahan ikat yang berbeda. Dalam kesimpulan penelitiannya didapatkan hasil bahwa kadar aspal optimum dan performa perkerasan yang bervariasi untuk setiap jenis gradasi dan bahan ikat sangat berbeda antara satu dan lainnya. Di Indonesia, terdapat beberapa jenis bahan ikat modifikasi yang dapat digunakan sebagai pilihan alternatif yang salah satunya adalah bahan ikat modifikasi Starbit E-55.

Starbit E-55 merupakan produk bahan ikat perkerasan komersial yang sudah diberikan bahan tambah atau *additive* (PT Bintang Jaya, 2013), sehingga kualitasnya lebih baik dibandingkan dengan bahan ikat perkerasan konvensional yang sering digunakan di Indonesia. Penelitian yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 sudah dipublikasikan dalam beberapa jurnal seperti jurnal penelitian yang dilakukan oleh, Pangaraya (2015), Yusuf dan Fauziah (2017), Nugroho dan Subarkah (2018), Intari, dkk (2018), serta Hadi dan Fauziah (2019). Penggunaan bahan ikat Starbit dengan tipe penetrasi yang berbeda juga memiliki kemampuan untuk peningkatan karakteristik perkerasan awal yang sama. Menurut Subarkah, dkk (2020) dalam studinya yang menggunakan bahan ikat modifikasi Starbit E-60 menunjukkan hasil bahwa campuran perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-60 lebih tahan terhadap benturan atau abrasi dibandingkan dengan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70. Hal ini disebabkan oleh kandungan bahan ikat Starbit E-60 berbasis elastomer sehingga memiliki kekuatan dan keelastisan yang lebih mampu mengatasi dampak benturan yang terjadi.

Berdasar hasil kajian yang telah dijelaskan, dapat ditarik kesimpulan bahwa penggunaan perkerasan dengan tipe gradasi *Superpave* serta penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dapat dijadikan alternatif terhadap permasalahan perkerasan jalan di Indonesia. Namun eksplorasi untuk mengetahui seberapa besar peningkatan kinerja perkerasan jalan akibat pengaruh tipe gradasi *Superpave* dan bahan ikat Starbit E-55 tersebut masih sangat perlu untuk dilakukan. Pada penelitian ini akan dilakukan eksplorasi pengkajian terhadap pengujian karakteristik *Marshall, Index or Retained*

*Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, *Stiffness Modulus*, dan analisa akhir berupa ketahanan perkerasan menggunakan aplikasi *KENPAVE*. Hasil penelitian yang telah didapat, diharapkan akan menjadi salah satu alternatif inovasi guna meningkatkan kemajuan terhadap perkembangan sarana penunjang transportasi di Indonesia khususnya perkerasan jalan.

## 1.2 Rumusan Masalah

Permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap karakteristik *Marshall* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap karakteristik *Marshall* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *IRS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *IRS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *ITS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *ITS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*?
4. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *TRS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *TRS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*?
5. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *CL* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan

bahan ikat Starbit E-55, serta bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *CL* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*?

6. Bagaimana perbandingan karakteristik *Stiffness Modulus* campuran *Superpave* dan campuran *AC-WC* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit E-55?
7. Bagaimana perbandingan prediksi umur pelayanan (analisis dengan *KENPAVE*) campuran *Superpave* dan campuran *AC-WC* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit E-55?

### 1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah diatas maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap karakteristik *Marshall* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap karakteristik *Marshall* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*.
2. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *IRS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *IRS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*.
3. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *ITS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *ITS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*.

4. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *TRS* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *TRS* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*.
5. Mengetahui pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* terhadap nilai *CL* pada penggunaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, serta mengetahui pengaruh perbedaan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55 terhadap nilai *CL* pada jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC*.
6. Mengetahui perbandingan karakteristik *Stiffness Modulus* campuran *Superpave* dan campuran *AC-WC* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit E-55.
7. Mengetahui perbandingan nilai umur layanan (analisis dengan *KENPAVE*) campuran *Superpave* dan campuran *AC-WC* dengan menggunakan bahan ikat konvensional penetrasi 60/70 dan bahan ikat modifikasi starbit E-55.

#### **1.4 Batasan Masalah**

Adapun batasan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Campuran yang diteliti adalah *Superpave* dan *AC-WC*.
2. Lapisan perkerasan yang didesain adalah Lapisan Permukaan (*Surface Course*).
3. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal konvensional penetrasi 60/70 dan aspal polimer Starbit E-55.
4. Pengaruh reaksi kimia pada aspal polimer Starbit E-55 tidak ditinjau.
5. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang digunakan berasal dari Clereng Kulon Progo.
6. Pengujian karakteristik campuran *Superpave* dan *AC-WC* terdiri dari *Marshall Test*, *Index or Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan *Stiffness Modulus* campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70.



7. Pengujian *IRS* dan *TSR* menggunakan penerapan rendaman dengan durasi 24 jam.
8. Analisis prediksi umur pelayanan menggunakan data LHR tahun 2017 pada lokasi Jalan Tempel – Pakem.
10. Pada proses analisa hasil akhir perkerasan (*KENLAYER*), opsi desain ulang alternatif tebal perkerasan tidak digunakan.
11. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan Laboratorium Transportasi, Departemen Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Diponegoro.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat 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 modifikasi berbasis polimer dan pengembangannya.
3. Meningkatkan dan mengembangkan kualitas teknologi campuran *Superpave*.
4. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai perbandingan penggunaan bahan ikat modifikasi terhadap kekuatan dan keawetan campuran *Superpave* dan campuran *AC-WC*.

## **BAB II**

### **STUDI PUSTAKA**

#### **2.1 Kinerja Perkerasan Beraspal**

Kajian tentang pengaruh jenis campuran dan gradasi terhadap kinerja perkerasan telah dilakukan oleh Hussain dan Khan, (2019). Penelitian tersebut menggunakan lima gradasi berbeda dengan dua jenis bahan ikat yang berbeda. Dari pengujian *Marshall* diperoleh kadar aspal optimum yang bervariasi. Performa dari perkerasan pun bervariasi berdasarkan hasil pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* dan kedalaman *rutting* yang menggunakan *Hamburg Wheel Tracket Test*. Berdasarkan penelitian tersebut, diperoleh perkerasan dengan performa terbaik dalam mempertahankan kedalaman *rutting* yaitu yang menggunakan bahan ikat *NRL 40/50* bergradasi *NHA-A*. Perkerasan dengan bahan ikat *Parco 60/70* bergradasi *SP-1* memiliki nilai *TSR* tertinggi. Golalipour, dkk (2012) juga telah mempublikasikan penelitiannya tentang pengaruh gradasi agregat terhadap kinerja campuran bergradasi *Hot Mix Asphalt*. Dari hasil pengujian *Marshall* diperoleh kadar aspal optimum yang bervariasi, serta disimpulkan bahwa gradasi yang menggunakan batas atas memiliki stabilitas yang lebih tinggi, dan nilai *flow* yang lebih rendah sehingga perkerasan lebih stabil tetapi kaku sedangkan gradasi batas bawah memiliki nilai *VITM* dan *VMA* yang lebih besar, sehingga lebih mudah terjadi *permanent deformation*.

*Superpave* merupakan suatu spesifikasi baru untuk gradasi campuran beton aspal yang dibuat oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*. *Superpave* menetapkan persyaratan spesifikasi target gradasi dengan adanya zona larangan dalam bentuk ukuran nominal maksimum dan minimum untuk setiap rancangan campuran aspal panas dengan maksud untuk mengurangi efek deformasi platis dan keretakan awal akibat pengulangan beban kendaraan atau lalu lintas. Al-Khateeb, dkk (2017) dalam penelitiannya menjelaskan bahwa zona gradasi larangan pada campuran *Superpave* akan memberikan peran berupa volume rongga yang lebih

besar, dengan harapan agar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga tersebut secara maksimal.

Menurut Widajat dan Nono (2011), gradasi *Superpave* dapat dikategorikan masuk pada jenis gradasi senjang (*gap graded*) karena kondisi gradasi agregat yang mempunyai ukuran butir pada suatu bagian fraksi jumlahnya sedikit atau dibatasi. Namun gradasi ini tidak berbentuk amplop, tetapi berdasarkan titik kontrol yang merupakan batas yang diizinkan pada ukuran butir ayakan. Sehingga variasi target gradasi ini dapat dibuat lebih banyak yang berguna untuk memperbaiki tingkat pelayanan lapis perkerasan jalan.

Nono (2010), *Superpave* merekomendasikan agar campuran tahan terhadap deformasi permanen maka  $C_{irit} > 89\%$ , sedangkan untuk mengantisipasi pemadatan akibat lalu-lintas sehingga dapat terjadi deformasi plastis dan membuat deformasi permanen maka direkomendasikan  $C_{max} > 98\%$ . Hal demikian menunjukkan bahwa rongga dalam campuran *VITM* harus  $> 2\%$ .

Menurut Karahancer, dkk (2018) dan Zumwari (2019) pada fokus studi kasus dinegaranya menyimpulkan bahwa campuran *Superpave* memiliki kemampuan untuk mencegah penurunan performa akibat kondisi ekstrim, sehingga sangat efektif untuk diterapkan terutama pada negara yang beriklim ekstrim.

Penggunaan campuran *Superpave* sebelumnya pernah diteliti oleh Fauziah dan Safitri (2016), didalam penelitian tersebut disimpulkan bahwa penggunaan campuran *Superpave* baik itu yang menggunakan bahan aspal Pen 60/70 maupun Retona Bleend 55 sama-sama memiliki ketahanan terhadap faktor rendaman. Hal ini dilihat dari nilai *Index of Retained Strength* campuran *Superpave* mengalami perubahan kenaikan terhadap pengaruh rendaman air hujan pada durasi ke 96 jam. Publikasi sejenis juga telah dilakukan oleh Fauziah dan Ransky (2014), serta Yulienda dan Fauziah (2017).

Menurut Hadi dan Fauziah (2019), penggunaan campuran *Superpave* dapat menjadi solusi terhadap permasalahan akibat adanya proses pembebanan ataupun proses perendaman yang terjadi di lapangan. Hal ini dikarenakan campuran *Superpave* memiliki ikatan antar agregat yang rapat sehingga perkerasan yang

didapat akan memberikan ketahanan yang lebih baik dalam menerima beban secara vertikal serta ketahanan terhadap proses perendaman dengan durasi tertentu.

Penggunaan campuran *Superpave* juga diteliti oleh Miagi (2015), pada penelitian ini disimpulkan bahwa penggunaan campuran *Superpave* dapat menjadi solusi terhadap permasalahan deformasi permanen (*rutting*) dan suhu rendah yang mengakibatkan retak pada perkerasan jalan yang umumnya sering terjadi di Indonesia. Dan dengan adanya penambahan serat kelapa pada campuran *Superpave* tersebut maka akan didapatkan penambahan nilai stabilitas sebesar 10% yang dapat diartikan bahwa campuran ini menjadi lebih baik dan lebih kuat dari sebelumnya.

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

Bahan ikat memiliki peranan penting didalam kinerja suatu perkerasan. Saat ini, banyak penelitian yang berusaha untuk menemukan jenis bahan ikat yang memiliki kemampuan dalam meningkatkan kemampuan perkerasan. Salah satu upaya yang dilakukan adalah menggunakan modifikasi polimer pada aspal. Prasnanto, dkk (2015) mengatakan bahwa aspal yang dimofikasi dengan polimer akan mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan dan meningkatkan ketahanan terhadap retak. Pradani, (2013), dalam penelitiannya yang menggunakan penambahan polimer SBS pada aspal, maka aspal akan menjadi lebih keras dengan dibuktikan oleh penurunan nilai penetrasi. Faroz dan Herman (2017) juga telah membuktikan bahwa penggunaan aspal berbasis polimer akan memberikan kontribusi berupa peningkatan sifat kekerasan dan ketahanan perkerasan terhadap deformasi alur (*rutting*) sehingga sangat cocok diterapkan pada jalan beriklim ekstrim dan bervolume kendaraan yang tinggi.

PT. Bintang Djaya telah mengembangkan aspal modifikasi berbasis polimer dengan nama aspal Starbit E-55. Penggunaan aspal modifikasi Starbit E-55 sudah dipublikasikan dalam beberapa jurnal seperti jurnal penelitian yang dilakukan oleh, Yusuf dan Fauziah (2018), yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Stone Matrix Asphalt* pada kondisi rendaman air laut, Fauziah dan Handaka (2017), yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-

55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Split Mastic Asphalt* pada kondisi rendaman air, Hadi dan Fauziah (2019) yang membandingkan kinerja Aspal Starbit E-55 dengan Aspal Pen 60/70 pada campuran *Superpave* pada kondisi rendaman air payau.

Pada volumetrik, menurut Nugroho dan Subarkah (2018) bahan ikat Starbit E-55 akan memiliki nilai *Void in Mineral Agregate (VMA)* yang cenderung lebih tinggi dari pada campuran beraspal Pen 60/70 pada kadar aspal yang sama, hal ini dikarenakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah. Fauziah dan Handaka (2017) serta Yulienda dan Fauziah (2017) juga menemukan hasil bahwa nilai *Void In Total Mix (VITM)* pada aspal Starbit E-55 akan cenderung lebih tinggi. Namun tingginya nilai *VITM* ini akan memberikan dampak positif berupa kekakuan yang lebih pada campuran perkerasan sehingga perkerasan tidak mudah terpengaruh oleh perubahan suhu.

Faisal, dkk (2018) pada penelitiannya mengatakan bahwa keunggulan dari campuran yang menggunakan Starbit E-55 adalah berupa nilai stabilitasnya yang paling terbaik dibandingkan 4 jenis aspal lainnya, yaitu aspal *Crumb Rubbrer*, Retona Blend E-55, *Ethylene Vinyl Acetate* dan aspal Pen 60/70. Intari, dkk (2015) jug menyimpulkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 akan memberikan dampak berupa meningkatnya nilai stabilitas yang lebih tinggi dari batas minimum yang disyaratkan. Hal ini dikarenakan beton aspal dengan modifikasi polimer dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan beton beraspal serta meningkatkan ketahanan lelah (*fatigue*) campuran perkerasan.

Penggunaan bahan ikat Starbit dengan tipe penetrasi yang berbeda juga memiliki kemampuan untuk peningkatan karakteristik perkerasan awal yang sama. Putra dan Subarkah (2018) serta Subarkah, dkk (2020) dalam studinya yang menggunakan bahan ikat modifikasi Starbit E-60 menunjukkan hasil bahwa campuran perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-60 lebih tahan terhadap benturan atau abrasi dibandingkan dengan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70. Hal ini disebabkan oleh kandungan bahan ikat Starbit E-60 berbasis elastomer sehingga memiliki kekuatan dan keelastisan yang lebih mampu mengatasi dampak benturan yang terjadi. Sedangkan untuk parameter pengujian lainnya, Nugraha dan Subarkah

(2019) mendapatkan hasil bahwa nilai Stabilitas, *Cantabro*, *Immersion*, dan *Indirect Tensile Strenght* campuran berbahan ikat aspal Starbit E-60 lebih baik dibanding dengan campuran berbahan ikat aspal Pen 60/70.

### 2.3 Prediksi Umur Layanan dengan Program *KENPAVE*

Umur layanan adalah jumlah waktu dalam tahun dihitung sejak jalan tersebut mulai dibuka sampai saat diperlukan perbaikan berat atau dianggap perlu diberi lapisan permukaan yang baru (Bina Marga, 1983). Faktor yang harus dipertimbangkan dalam perencanaan jalan adalah kelas jalan, faktor lingkungan, jenis tanah dan volume kendaraan yang lewat. Selama umur rencana tersebut pemeliharaan perkerasan jalan tetap harus dilakukan, seperti pelapisan non structural yang berfungsi sebagai lapisan aus dan kedap air. Umur rencana untuk perkerasan lentur jalan baru umumnya diambil 20 tahun dan untuk peningkatan jalan 10 tahun. Umur rencana yang lebih besar dari 20 tahun tidak lagi ekonomis karena perkembangan lalu lintas yang terlalu besar dan sukar mendapatkan ketelitian yang memadai. (Sukirman, 1992).

Program *KENPAVE* merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucy. Metode desain mekanistik-empiris diprogram *KENPAVE* didasarkan pada mekanika bahan yang berhubungan dengan data yang diperlukan seperti beban roda, respon perkerasan seperti tegangan dan regangan. Nilai respon digunakan untuk memprediksi tekanan tes laboratorium dan kinerja lapangan. Sangat perlu dilakukan pengamatan pada kinerja perkerasan karena teori saja belum terbukti cukup untuk desain perkerasan secara realistis. Huang (2014).

Ramadhani dan Fauziah (2018) melakukan penelitian tentang evaluasi tebal perkerasan lentur dengan Metode Bina Marga 2013 dan Metode Mekanistik – Empiris. Pada penelitian ini diperoleh hasil pada metode Bina Marga 2013 hanya mengikuti panduan dari MDPJ No. 02/M/BM/2013 sedangkan pada program *KENPAVE* memperhitungkan tekanan ban, luas kontak area jarak ban, dan tebal lapis perkerasan. Berdasarkan prosedur, metode Bina Marga 2013 dapat digunakan secara praktis. Namun, akan lebih baik juga dikontrol menggunakan program

*KENPAVE* karena dapat mengetahui keamanan desain dan kerusakan apa yang akan terjadi.

Fadlan (2013) menjelaskan bahwa dari hasil evaluasi didapat bahwa jumlah repetisi beban yang dihasilkan tebal perkerasan yang direncanakan dengan metode empiris Bina Marga sangat dipengaruhi oleh ketebalan setiap lapisan perkerasan, semakin tebal lapisan perkerasan semakin besar jumlah repetisi beban, karena pada metode mekanistik program *KENPAVE* tebal perkerasan sangat mempengaruhi jumlah repetisi beban.

Penggunaan program *KENPAVE* untuk memprediksi nilai umur layanan sebelumnya sudah pernah dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019) untuk ruas jalan Tempel - Pakem. Peneliti tersebut mendapatkan hasil bahwa analisis menggunakan program *KENPAVE* terhadap prediksi kerusakan, menghasilkan prediksi kerusakan yang akan terjadi pertama kali pada Jalan Tempel – Pakem adalah tipe kerusakan *permanent deformation* yaitu dengan beban gandar maksimum 14.653.797 ESAL dengan prediksi umur pelayanan 18 tahun, disusul dengan kerusakan *rutting* dengan beban gandar maksimum 27.801.770 ESAL dengan prediksi umur pelayanan 29 tahun dan yang terakhir adalah kerusakan *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum 118.861.382 ESAL dengan prediksi umur pelayanan 61 tahun.

Prediksi nilai umur layanan juga telah diteliti oleh Hakim dan Kushari (2019) mengenai kaji ulang desain tebal perkerasan lentur pada ruas jalan Pakem-Prambanan untuk mengantisipasi peningkatan status jalan, pada penelitiannya disimpulkan bahwa hasil desain berdasarkan MDPJ 2013 yang telah diimplementasikan untuk pekerjaan rekonstruksi ruas jalan Pakem – Prambanan memiliki resiko yang kecil untuk mengalami kerusakan retak leleh sebelum umur rencana 20 tahun tercapai. Sehingga dengan penggunaan *KENPAVE* dapat diketahui bahwa resiko kerusakan sangat kecil dan kecenderungan untuk tidak mengalami kerusakan retak leleh sebelum 20 tahun didapati pada struktur-struktur lainnya yang kesemuanya memiliki lapis berbahan ikat yang lebih tebal.

Hadi dan Fauziah (2020) menerapkan penggunaan *KENPAVE* untuk mengetahui sensitivitas perkerasan bergradasi *Superpave* antara yang berbahan ikat

Starbit E-55 dan Pen 60/70. Pada penelitiannya disimpulkan bahwa dengan adanya penggunaan bahan ikat Starbit E-55 pada campuran perkerasan *Superpave*, maka campuran perkerasan tersebut relatif akan memiliki kemampuan dalam mempertahankan kinerja perkerasan terhadap resiko kerusakan awal yang telah diprediksi berupa *permanent deformation* yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan berbahan ikat Pen 60/70.





## 2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Yang Akan Dilaksanakan

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

**Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan *Superpave* dengan AC-WC Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

No	Aspek	Pangaraya (2015)	Al-Khateeb, dkk (2017)	Fauziah dan Handaka (2017)	Nugroho dan Subarkah (2018)	Yusuf dan Fauziah (2018)	Hussain dan Khan (2019)	Karahancer (2018)	Zumwari dan Edrees (2019)	Suwanda dan Khusari (2019)	Penelitian yang sedang dilakukan
1.	Judul	<i>Laboratorium Study Of Asphalt Starbit E-55 Polymer Modified Application On Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)</i>	<i>Effect of Superpave restricted zone on volumetric and compaction properties of asphalt mixtures</i>	Pemanfaatan Aspal Starbit E-55 Untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan Pada Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i>	Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i> Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Sarbit E-55 dengsn Substitusi <i>Filler</i> Abu Ampas Tebu	Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Kinerja Campuran Stone Matrix Asphalt Yang menggunakan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55	<i>Rutting And Moisture Susceptibility Assessment Of Asphalt Wearing Course Gradations</i>	<i>Superpave Volumetric Mix Design Of Hot Mix Asphalt: Case Study Of Isparta</i>	<i>Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes</i>	Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pemodelan Viskoelastik Dan Elastik Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem Yogyakarta	Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan <i>Superpave</i> dengan ACWC Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70
2.	Jenis Campuran	AC-WC	<i>Superpave</i>	<i>Split Mastic Asphalt</i>	<i>Hot Rolled Asphalt (HRA)</i>	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	<i>Hot Mix Asphalt</i>	<i>Superpave</i>	<i>Hot Mix Asphalt dan Superpave</i>	-	<i>Superpave</i> dan AC-WC
3.	Jenis Aspal	Starbit E-55 dan Pen 60/70	<i>Aspalt 60/70 Penetration</i>	Starbit E-55 dan Pen 60/70	Starbit E-55 dan Pen 60/70	Starbit E-55 dan Pen 60/70	<i>Aspalt Cement</i>	<i>Aspalt Cement</i>	<i>Aspalt Cement</i>	-	Starbit E-55 dan Pen 60/70
4.	Pengujian	<i>MQ, IRS dan ITS</i>	<i>MQ</i>	<i>MQ dan IRS</i>	<i>MQ, IRS dan ITS</i>	<i>MQ, IRS, ITS, Permeabilitas, dan Cantabro Test</i>	<i>ITS dan TSR</i>	<i>Marshall</i>	<i>Marshall</i>	Prediksi Jumlah Repetisi Beban dan Prediksi Masa Pelayanan Struktur Perkerasan <i>Eksisting</i>	<i>MQ, IRS, ITS, TSR, Cantabro Test, Stiffness Modulus dan Prediksi Umur Pelayanan (menggunakan program KENPAVE)</i>

**Lanjutan Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Studi Komparasi Karakteristik Campuran dan Prediksi Umur Pelayanan Antara Perkerasan *Superpave* dengan AC-WC Akibat Pengaruh Jenis Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

No	Aspek	Pangaraya (2015)	Al-Khateeb, dkk (2017)	Fauziah dan Handaka (2017)	Nugroho dan Subarkah (2018)	Yusuf dan Fauziah (2018)	Hussain dan Khan (2019)	Karahancer (2018)	Zumwari dan Edrees (2019)	Suwanda dan Khusari (2019)	Penelitian yang sedang dilakukan
5.	Hasil	Hasil penelitian menunjukkan campuran AC-WC dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai ITS yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70.	Hasil penelitian menunjukan bahwa zona gradasi larangan pada campuran <i>Superpave</i> memiliki peran untuk memberikan rongga yang lebih agar aspal dapat mengisi rongga secara maksimal.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 mampu mempertahankan penurunan stabilitas akibat perendaman air dan memiliki kemampuan mempertahankan kekuatan akibat rendaman air lebih baik dibandingkan dengan aspal Pen 60/70.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa campuran HRA dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai <i>Void in Mineral Agregate (VMA)</i> yang cenderung lebih tinggi dari pada campuran beraspal Pen 60/70 pada kadar aspal yang sama, hal ini dikarenakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas yang cenderung lebih tinggi dari pada campuran beraspal Pen 60/70 pada kadar aspal yang sama, sehingga campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 lebih baik dalam menahan beban.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa semua campuran lulus uji <i>TSR</i> dan memiliki nilai <i>ITS</i> yang cukup tinggi, sehingga dapat memberikan lebih ketahanan terhadap deformasi permanen atau rutting yang lebih baik..	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa campuran perkerasan bergradasi <i>Superpave</i> memiliki kemampuan dalam penurunan performa akibat kondisi ekstrim	Hasil penelitian menunjukan tingkat <i>density</i> pada campuran <i>Superpave</i> lebih tinggi dibandingkan campuran <i>Hot Mix Asphalt</i> , serta dapat diketahui bahwa campuran <i>Superpave</i> sangat cocok untuk diterapkan di iklim bersuhu rendah (terutama di Sudan)	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa untuk ruas Jalan Tempel - Pakem urutan prediksi kerusakan perkerasan yang akan terjadi pertama adalah <i>permanent deformation</i> dengan beban gandar maksimum sebesar 14.653.797 ESAL dengan umur rencana 18 tahun , kedua adalah <i>rutting</i> dengan beban gandar maksimum sebesar 27.801.770 ESAL dengan umur rencana 29 tahun, dan yang terakhir adalah <i>fatigue cracking</i> dengan beban gandar maksimum sebesar 118.861.382 ESAL dengan umur rencana 61 tahun.	Hasil penelitian menyimpulkan bahwa pengaruh campuran perkerasan bergradasi <i>Superpave</i> disetiap jenis penggunaan bahan ikatnya memiliki keunggulan nilai Stabilitas, <i>MQ</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>CL</i> , <i>Stiffness Modulus</i> serta prediksi masa pelayanan perkerasan yang lebih baik dibandingkan menggunakan gradasi AC-WC. Sedangkan untuk kajian berupa pengaruh dari penggunaan jenis bahan ikat disetiap jenis gradasinya dapat disimpulkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 akan memberikan dampak berupa peningkatan nilai Stabilitas, <i>MQ</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , <i>CL</i> , <i>Stiffness Modulus</i> serta prediksi masa pelayanan perkerasan disetiap resiko kerusakannya yang lebih baik jika dibandingkan penggunaan jenis bahan ikat Pen 60/70.

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Bahan Penyusun Perkerasan Lentur**

Pada perkerasan lentur terdapat beberapa bahan penyusun didalamnya. Bahan penyusun tersebut terdiri dari 2 jenis, yaitu bahan pokok yang bisa berupa pasir, kerikil, batu pecah dan lain- lain serta bahan ikat yang bisa berupa tanah liat, aspal, semen *portland*, dan kapur. Khusus untuk bahan ikat dapat disesuaikan tergantung dari jenis perkerasan jalan yang akan dipakai nantinya.

##### **3.1.1 Aspal**

Aspal merupakan material umum yang digunakan untuk bahan pengikat suatu agregat yang memiliki ciri-ciri berwarna hitam pekat atau coklat tua, dengan unsur utama berupa bitumen yang diperoleh dari alam maupun dari pengolahan minyak bumi.

Menurut Sukirman (2003), aspal adalah material yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Jadi, aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan.

Pada umumnya jenis aspal yang digunakan dalam suatu perkerasan jalan adalah jenis aspal minyak, sehingga saat ini banyak dilakukan modifikasi terhadap jenis aspal minyak untuk meningkatkan kinerja dari aspal. Salah satu hasil aspal modifikasi tersebut adalah aspal Starbit E-55. Menurut Fauziah dan Handaka (2017), aspal polimer Starbit merupakan produk aspal komersial yang sudah diberikan bahan tambah atau *additive*, sehingga kualitasnya lebih baik dibandingkan dengan aspal konvensional yang sering digunakan di Indonesia.

Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 terdapat syarat yang harus dipenuhi untuk aspal keras AC 60/70 dan aspal Starbit E-55, berikut **Tabel 3.1** Persyaratan Aspal AC 60/70 dan **Tabel 3.2** Persyaratan Aspal Starbit E-55.

**Tabel 3. 1 Persyaratan Aspal AC 60/70**

No.	Nilai Persyaratan	Standar	Jenis Pengujian
1	$\geq 1,0$	SNI-06-2441-1991	Berat Jenis
2	60-70	SNI-06-2456-1991	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)
3	$\geq 100$	SNI-06-2432-1991	Daktilitas pada 25°C (cm)
4	$\geq 232$	SNI-06-2433-1991	Titik Nyala (°C)
5	$\geq 48$	SNI-06-2434-1991	Titik Lembek (°C)
6	$\geq 99$	ASTM D5546	Kelarutan dalam TCE (%)

Sumber : Bina Marga (2018)

**Tabel 3. 2 Persyaratan Aspal Starbit E-55**

No.	Nilai Persyaratan	Standar	Jenis Pengujian
1	$\geq 1,0$	SNI-06-2441-1991	Berat Jenis
2	50-80	SNI-06-2456-1991	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)
3	$\geq 50$	SNI-06-2432-1991	Daktilitas pada 25°C (cm)
4	$\geq 225$	SNI-06-2433-1991	Titik Nyala (°C)
5	$\geq 54$	SNI-06-2434-1991	Titik Lembek (°C)
6	$\geq 99$	ASTM D5546	Kelarutan dalam TCE (%)

Sumber : Bina Marga (2018)

### 3.1.2 Agregat

Agregat adalah komponen bahan yang terdiri dari material yang padat yang digunakan sebagai bahan untuk campuran aspal. Didalamnya terdiri dari pasir, krikil, batu pecah dan agregat halus. Sifat agregat merupakan salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Bagian terbesar dari campuran aspal adalah agregat, menempati kira-kira 75 – 80 % dari volume campuran dan atau 90 – 95% dari persentase berat campuran, sehingga pengaruhnya terhadap sifat serta kinerja (*performance*) dari campuran sangat besar. Agregat yang ideal untuk campuran berbitumen harus mempunyai ukuran partikel serta gradasi yang baik, kuat, teguh, serta mempunyai

bentuk partikel yang bersudut. Selain itu, juga dibutuhkan porositas yang rendah, permukaan yang bersih, dan tekstur permukaan yang kasar.

Agregat dikelompokkan menjadi 3 jenis sesuai dengan persyaratannya, yaitu sebagai berikut.

#### 1. Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan agregat dengan ukuran butiran yang tertahan saringan No.8 (2,36) (SNI 03-6819-2002). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 3.3** berikut.

**Tabel 3. 3 Persyaratan Agregat Kasar**

No.	Nilai	Standar	Pengujian	
1	Maks 12%	SNI 3407 : 2008	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat	
2	> 2,5	SNI 1969 : 2008	Berat Jenis	
3	Maks 30 %	SNI 2417 : 2008	Campuran AC bergradasi kasar	Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>
4	Maks 40 %		Semua jenis campuran aspal bergradasi lainnya.	
5	< 95%	SNI-06-2439-1991	Kelekatan aspal pada agregat	
6	95/90*	<i>DoT's Pennsylvania Test Method, PTM No. 625</i>	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)	
7	80/75*		Angularitas (kedalaman dari permukaan ≥ 10 cm)	
8	Maks 10 %	ASTMD4791 (1:5)	Partikel pipih dan lonjong	
9	Maks 1 %	SNI 03-4142-1996	Material lolos ayakan No.200	
10	< 3%	SNI 1969 : 2008	Penyerapan air oleh agregat	

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

Sumber : Bina Marga (2018)

#### 2. Agregat Halus

Agregat halus merupakan agregat dengan ukuran butiran yang lolos saringan No.8 (2,36) (SNI 03-6819-2002). Persyaratan agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat pada **Tabel 3.4** berikut.

**Tabel 3. 4 Persyaratan Agregat Halus**

No.	Nilai	Standar	Pengujian
1	> 2,5	SNI 1970 : 2008	Berat Jenis
2	< 3	SNI 1970 : 2008	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)
3	Min. 60 %	SNI 03-4428-1997	Nilai setara pasir
4	Maks. 1 %	SNI 3423 : 2008	Kadar Lempung
5	Min. 45	SNI 03-6877-2002	Angularitas (kedalaman dari permukaan < 10 cm)
6	Min. 40	SNI 03-6877-2002	Angularitas (kedalaman dari permukaan $\geq$ 10 cm)

Sumber : Bina Marga 2018

### 3. Bahan Pengisi (*Filler*)

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

#### 3.1.3 Gradasi Agregat

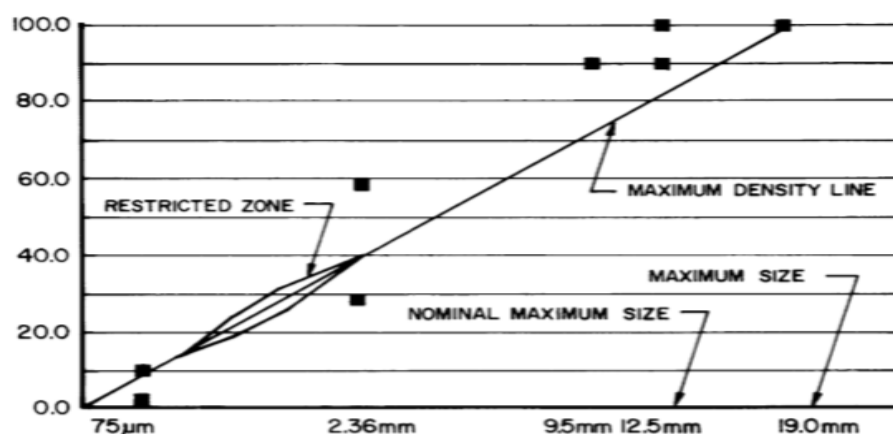
Gradasi agregat merupakan suatu campuran agregat yang dinyatakan dalam presentase lolos, presentase tertahan terhadap berat total. Gradasi agregat diperoleh melalui pemeriksaan analisis saringan dengan satu set saringan. Analisis saringan dapat dilakukan secara basah dan kering (saringan basah atau saringan kering).

### 3.2 *Superpave Asphalt*

*Superpave* merupakan suatu spesifikasi baru untuk gradasi campuran beton aspal yang dibuat oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*. *Superpave* menetapkan persyaratan spesifikasi target gradasi dalam bentuk ukuran nominal maksimum untuk setiap rancangan campuran aspal panas dengan maksud untuk mengurangi efek deformasi plastis dan keretakan awal akibat pengulangan beban kendaraan atau lalu lintas.

*Strategic Highway Research Program (SHRP)* juga menetapkan persyaratan khusus berupa zona larangan dalam perencanaan campuran perkerasan

dengan gradasi *Superpave*. Zona larangan ini merupakan daerah yang tidak boleh dilalui oleh susunan gradasi pada presentase 15 – 39 % dan ukuran saringan 1.15 mm – 2,36 mm. Spesifikasi gradasi dan spesifikasi sifat campuran yang akan digunakan pada gradasi *Superpave* pada penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 3.5** dan **Tabel 3.6**, serta zona terlarang pada gradasi *Superpave* dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut ini.



**Gambar 3. 1 Zona Larangan pada Gradasi *Superpave***

Sumber : *Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407 (1994)*

**Tabel 3. 5 Spesifikasi Gradasi Campuran *Superpave***

Standar Saringan (mm)	% Lolos pada Ukuran Nominal Maksimum				
	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm
50					100
37,5				100	90-100
25			100	90-100	Maks. 90
19		100	90-100	Maks. 90	
12,5	100	90-100	Maks. 90		
9,5	90-100	Maks. 90			
2,36	32-67	28-58	23-49	19-45	15-41
0,075	2-10,0	2-10,0	2,0-8,0	1,0-7,0	0,0-6,0
<i>Recommended Restricted Zone</i>					
4,75				39,5	34,7
2,36	47,2	39,1	34,6	26,8-30,8	23,3-27,3
1,18	31,6-37,6	25,6-31,6	22,3-28,3	18,1-24,1	15,5-21,5
0,6	23,5-27,5	19,1-23,1	16,7-20,7	13,6-17,6	11,7-15,7
0,3	18,7	15,5	13,7	11,4	10

Sumber : *Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407 (1994)*

**Tabel 3. 6 Spesifikasi Karakteristik Sifat Campuran pada Gradasi *Superpave***

No.	Sifat Campuran	Spesifikasi
1	% Rongga Terhadap Agregat	$\geq 15$
2	% Rongga Terisi Aspal	$\geq 65$
3	% Rongga Terhadap Campuran	3 - 5
4	Stabilitas	$\geq 800$
5	Kelelehan	2 - 4
6	<i>Marshall Quotient</i>	$\geq 250$

Sumber : Bina Marga 2018

### 3.3 AC-WC

Campuran AC-WC merupakan suatu lapisan pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat, *filler*, dan aspal, dan lapisan perkerasan ini terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus, lapisan kedap air, lapisan yang menahan beban roda, dan lapisan yang menyebarkan beban kelapisan dibawahnya. Campuran ini memiliki tekstur paling halus dibanding jenis laston lainnya yang di kembangkan oleh Bina Marga bersama dengan pusat Litbang jalan, seperti AC-WC, AC-BC, dan AC-Base, ketiga jenis laston tersebut merupakan konsep spesifikasi campuran beraspal yang telah disempurnakan.

Spesifikasi gradasi dan spesifikasi sifat campuran yang ditetapkan AC-WC dapat dilihat pada **Tabel 3.7** dan **Tabel 3.8** berikut ini.

**Tabel 3. 7 Spesifikasi Gradasi Campuran AC-WC**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)	
			Min	Max
3/4 "	19	mm	100	100
1/2 "	12,5	mm	90	100
3/8 "	9,5	mm	77	90
No. 4	4,75	mm	53	69
No. 8	2,36	mm	33	53
No.16	1,18	mm	21	40
No.30	0,6	mm	14	30
No.50	0,3	mm	9	22
No.100	0,15	mm	6	15
No.200	0,075	mm	4	9
Pen			0	0

Sumber : Bina Marga (2018)



**Tabel 3. 8 Spesifikasi Karakteristik Sifat Campuran pada Gradasi AC-WC**

No.	Sifat Campuran	Spesifikasi
1	% Rongga Terhadap Agregat	$\geq 15$
2	% Rongga Terisi Aspal	$\geq 65$
3	% Rongga Terhadap Campuran	3 - 5
4	Stabilitas	$\geq 800$
5	Kelelehan	2 - 4
6	<i>Marshall Quotient</i>	$\geq 250$

Sumber : Bina Marga 2018

### 3.4 Karakteristik *Marshall Test*

Karakteristik *Marshall Test* pada pengujian suatu campuran beton aspal dapat diukur dengan beberapa parameter pengujian berikut ini.

#### 3.4.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas sangat bergantung dari kemampuan campuran dalam mengadakan kunci (*interlocking*) dan gaya gesek (*friction*). Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah tekstur, bentuk dan gradasi agregat serta kepadatan campuran dan kadar aspal. Nilai yang diperoleh ini akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran.

Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.1 berikut.

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

dengan:

q = stabilitas (kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg.

#### 3.4.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*flow*) adalah perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau

0,01 *inch*. Kelelahan menunjukkan besarnya deformasi vertikal yang terjadi pada keadaan stabilitas maksimum akibat pembebanan. Nilai *flow* yang besar menimbulkan campuran akan cenderung mudah berdeformasi, sebaliknya bila nilainya rendah akan mudah rusak.

### 3.4.3 Kepadatan (*Density*)

*Density* merupakan nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan campuran agregat aspal. Campuran dengan nilai *density* yang tinggi akan mampu menahan beban yang lebih baik, hal ini disebabkan rongga di dalam campuran semakin mengecil dan butiran agregat akan memiliki bidang kontak yang luas sehingga gaya gesek (*friction*) antar butiran semakin besar dan juga menimbulkan kedapupan campuran terhadap udara dan air, sehingga akan sulit teroksidasi.

Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.2 dan 3.3 berikut.

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

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

dengan:

$g$  = 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>).

### 3.4.4 Void In Mineral Agregate (VMA)

VMA merupakan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. VMA dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai VMA antara lain gradasi agregat (komposisi campuran agregat dan ukuran diameter butir terbesar), kadar aspal, tekstur agregat, dan serapan air oleh agregat.

Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 dan 3.5 berikut.

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

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

dengan:

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

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

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

### 3.4.5 Void In Total Mix (VITM)

*VITM* merupakan persen rongga udara di dalam total campuran agregat aspal. Karakteristik ketahanan campuran terhadap deformasi plastis erat hubungannya dengan *VITM* (presentase rongga dalam campuran). Bila nilai *VITM* memenuhi syarat maka campuran aspal akan memiliki kemampuan dalam menghambat efek deformasi plastis, bila nilainya terlalu tinggi akan menyebabkan campuran menjadi bersifat *porous*, dimana air dan udara akan mudah masuk sehingga mengakibatkan campuran aspal mudah teroksidasi dan terdeformasi plastis. Sebaliknya bila nilainya terlalu rendah akan menimbulkan ketidakstabilan dan akan terjadi *flow plastis*.

Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut.

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

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

dengan:

$n$  = nilai *VITM*,

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

$h$  = berat jenis maksimum teoritis campuran.

### 3.4.6 Void Filled With Asphalt (VFWA)

*VFWA* merupakan persen rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Nilai *VFWA* berpengaruh terhadap sifat kekedapan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Nilai *VFWA* yang terlalu tinggi

akan menyebabkan *bleeding* dan bila terlalu rendah akan menimbulkan campuran menjadi *porous* (tidak kedap air dan udara) karena lapisan *film* aspal tipis sehingga mudah retak jika adapembebanan berat.

Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.8 sampai 3.12 berikut.

1. Presentase aspal terhadap campuran

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

dengan:

a = persentase aspal terhadap batuan, dan

b = persentase aspal terhadap campuran.

2. Presentase aspal terhadap agregat

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

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

$$l = 100 - j \quad (3.11)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{BJ \text{ Agregat}} \quad (3.12)$$

dengan:

m = *VFWA* (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran.

### 3.4.7 Marshall Quotient (MQ)

*Marshall Quoetient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan fleksibilitas (kelenturan) dari campuran agregat aspal, semakin besar nilai *MQ* maka campuran tersebut akan semakin kaku, dan sebaliknya bila nilai *MQ* kecil maka campuran tersebut akan semakin lentur. Faktor-faktor yang berpengaruh terhadap nilai ini adalah faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas dan *flow* seperti bentuk, kualitas, tekstur permukaan, kohesi dan viskositas aspal.

Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.13 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.13)$$

dengan:

$MQ$  = nilai *Marshall Quotient*,

$q$  = nilai stabilitas (kg), dan

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

### 3.5 *Immersion Test*

*Immersion Test* merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pada *Immersion Test* perendaman benda uji dilakukan dengan 2 kondisi berbeda yaitu dalam *waterbath* pada suhu 60° C selama 30 menit (stabilitas standar) dan direndam pada suhu 60° C selama 24 jam (stabilitas rendaman).

Pada pengujian *Immersion Test* ditemui istilah *Index or Retained Sterngth (IRS)*, yang dimana *IRS* tersebut merupakan nilai stabilitas *Marshall* sisa untuk mengukur daya tahan terhadap pengrusakan oleh air. Nilai *Index or Retained Sterngth (IRS)* dapat diperoleh menggunakan Persamaan 3.14 berikut.

$$IRS = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.14)$$

dengan:

$S_1$  = rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg),

$S_2$  = rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

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

*ITS* merupakan suatu metode pengujian yang bertujuan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal. Pada penerapannya dilapangan, nilai *ITS* ini digunakan untuk memperkirakan keretakan akibat kegagalan gaya tarik, sehingga mempermudah dalam proses mengevaluasi potensi retakan pada campuran aspal.

Nilai *ITS* dapat diperoleh dari Persamaan 3.15 berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_o \quad (3.15)$$

dengan:

*ITS* = kuat tarik tidak langsung (kg/cm<sup>2</sup>),

*Pruntuh* = beban puncak (kg),

$h$  = tinggi sampel (cm), dan  
 $A_0$  = konstanta (tabel  $A_0$  terlampir pada lampiran).

### 3.7 Tensile Strenght Ratio (TSR)

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai daya tahan tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60°C dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga diperoleh persamaan 3.16 sebagai berikut.

$$TSR = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.16)$$

dengan:

$S_1$  = rata – rata nilai *ITS* setelah perendaman selama 30 menit (kg),

$S_2$  = rata – rata nilai *ITS* setelah perendaman selama 24 jam (kg).

### 3.8 Cantabro Test

*Cantabro Test* merupakan suatu pengujian yang bertujuan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan. Pengujian ini menggunakan mesin *Loss Angeles* dengan kondisi benda uji yang telah dipadatkan kedua sisinya sebanyak 2x75 tumbukan. Kemudian benda uji diletakkan dalam drum *Los Angeles* tanpa bola dan diputar sebanyak 300 putaran.

Nilai *Cantabro* dapat diperoleh dari Persamaan 3.17 berikut.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100\% \quad (3.17)$$

dengan:

$M_o$  = Berat sebelum diabrasi (gr),

$M_i$  = Berat setelah diabrasi (gr), dan

$L$  = Persentase kehilangan berat (%).

### 3.9 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*. Sedangkan *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 untuk menentukan *Stiffness modulus of bitumen* digunakan persamaan 3.18 dan 3.19 oleh *Ullidtz* berikut ini.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-P_{ir}} \times (S_{pr} - T)^5 \quad (3.18)$$

Rumus ini berlaku apabila:

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

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

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

dengan:

$$\begin{aligned} P_{ir} &= \text{Recoverde penetration index asphalt} \\ &= \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times S_{Pr}}{50 \log Pr - S_{Pr} - 120,4} \end{aligned} \quad (3.19)$$

$$T = \text{Temperatur aspal}$$

$$Pr = \text{Recovered Penetration pada saat suhu } 25^{\circ}C$$

$$= 0,65 \times Pi$$

$$Pi = \text{Penetrasi Awal}$$

$$t = \text{Lama pembebanan}$$

Setelah didapatkan nilai *Stiffness bitumen* menggunakan persamaan *Ullidtz*, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Stiffness Mixture* menggunakan persamaan 3.20 dan 3.21 oleh *Nottingham* berikut ini.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left( 1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)} \right)^5 \quad (3.20)$$

dengan:

$$n = 0,83 \times \log\left(\frac{4 \times 10^4}{S_{bit}}\right) \quad (3.21)$$

### 3.10 Analisis Penetration Index (PI)

Nilai *penetration index* (IP) merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kepekaan aspal terhadap temperatur. Pfeiffer dan Van Doormal mengembangkan parameter kepekaan bitumen dengan Penetration Index (PI) seperti persamaan 3.22 dan 3.23 berikut.

$$A = \frac{\log \text{Penetration pada } T1 - \log 800}{25 - T2 \text{ (softening point)}} \quad (3.22)$$

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \quad (3.23)$$

dengan:

A = Kepekaan bitumen terhadap perubahan temperatur,

T1 = Temperatur saat penetrasi 25°C,

T2 = Temperatur saat *softening point*, dan

PI = *Penetration Index*.

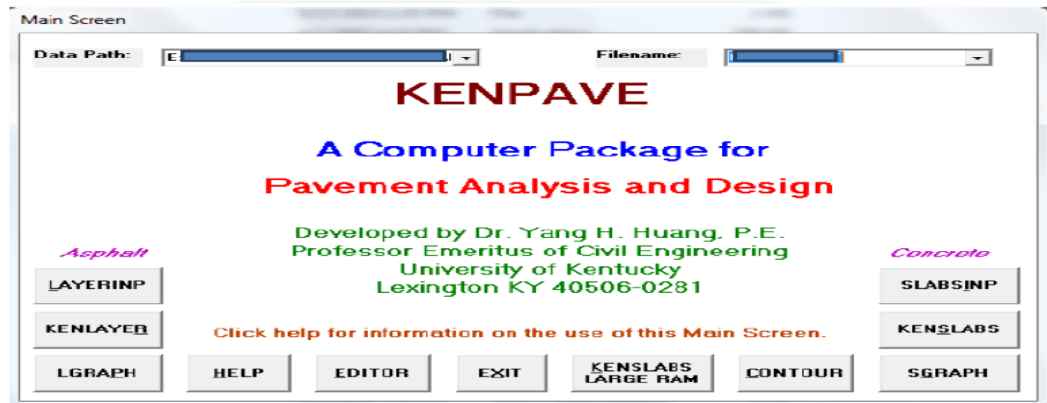
### 3.11 Analisis Mekanistik dengan Program KENPAVE

Metode mekanistik adalah suatu metode yang mengembangkan kaidah teoritis dan karakteristik material perkerasan, dilengkapi dengan perhitungan secara eksak terhadap respons struktur perkerasan terhadap beban sumbu kendaraan. Metode mekanistik mengasumsikan perkerasan jalan menjadi suatu struktur “*multi-layer (elastic) structur*” untuk perkerasan lentur dan suatu struktur *beam on elastic foundation*” untuk perkerasan kaku.

Pada metode mekanistik memiliki keuntungan yaitu peningkatan reabilitas dari desain, kemampuan untuk memprediksi jenis kerusakan, dan kemungkinan untuk memperkirakan data dari lapangan dan laboratorium yang kemungkinan untuk memperkirakan data dari lapangan dan laboratorium yang terbatas.



Program *KENPAVE* merupakan *software* desain perencanaan perkerasan yang dikembangkan oleh Dr. Yang H Huang, P.E Professor Emeritus of Civil Engineering University of Kentucky. *Software* ini ditulis dalam bahasa pemrograman *Visual Basic* dan dapat dijalankan dengan versi *windows 95* atau di atasnya. Tampilan program *Kenpave* dapat dilihat pada **Gambar 3.2** berikut ini.



**Gambar 3. 2 Tampilan Program *KENPAVE***

### 3.11.1 Program *KENLAYER*

Program komputer *KENLAYER* ini hanya didapat diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur. Dasar dari program *KENLAYER* ini adalah teori sistem lapis banyak. *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada perilaku 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.

Dari menu–menu yang ada dalam *LAYERINP*, ada beberapa menu yang diinput dan tidak perlu diinput. 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.
- 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 3.9** sebagai berikut.

**Tabel 3. 9 Satuan *English* dan SI**

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

Sumber : [https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_System\\_of\\_Units](https://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units) (akses 19.30, 20/01/2021)

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 tanganan-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 3.24 adalah sebagai berikut.

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

dengan:

$N_f$  = 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 3.25 adalah sebagai berikut.

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

dengan:

$N_r$  = Jumlah nilai repetisi beban yang dizinkan 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 3.26 adalah sebagai berikut.

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

dengan:

$N_d$  = Jumlah nilai repetisi beban yang dizinkan untuk mengontrol *deformasi* (ESAL).

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

## **BAB IV**

### **METODE PENELITIAN**

#### **4.1 Pengujian Sifat Fisik Material dan Pengujian untuk Mencari KAO**

Pengujian agregat bertujuan untuk mengetahui sifat dan propertis agregat yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian penyerapan air (SNI 1969 : 2008), pengujian berat jenis (SNI 1970 : 2008), pengujian kelekatan aspal pada agregat (SNI 06-2439-1991), pengujian abrasi (SNI 2417 : 2008), dan pengujian *sand equivalent* (SNI 3423 : 2008).

Pengujian bahan ikat atau pengujian aspal bertujuan untuk mengetahui sifat dan propertis bahan ikat yang digunakan. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian penetrasi (SNI 06-2456-1991), pengujian titik lembek (SNI 06-2434-1991), pengujian berat jenis (SNI 06-2441-1991), pengujian daktilitas (SNI 06-2432-1991), pengujian titik nyala dan titik bakar (SNI 06-2433-1991) dan pengujian kelarutan dalam *TCE (Trichloroethylene)* (RSNI M 04-2004). Sedangkan pengujian yang dilakukan untuk mencari KAO pada campuran *AC-WC* dan *Superpave* adalah pengujian *Marshall Standard (AASHTO T 254-74)*.

#### **4.2 Pengujian untuk Mencari Karakteristik Campuran Superpave dan ACWC pada Kondisi KAO**

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh jenis gradasi dan bahan ikat terhadap kinerja campuran adalah pengujian *marshall standard (AASHTO T 254-74)*, pengujian *immersion (AASHTO T 254-74)*, pengujian *indirect tensile strength* (SNI 6753 : 2008), pengujian *tensile strength ratio* (SNI 6753 : 2015), pengujian *cantabro loss (ASTM C-131)* dan pengujian *stiffness modulus (ASTM D 4123-82 1987)*.

#### **4.3 Rancangan Gradasi Agregat**

Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal. Pemilihan gradasi dilakukan berdasarkan tiga spesifikasi campuran yang

berbeda, yaitu AC-WC berdasarkan ketentuan Bina Marga (2018) dan *Superpave* berdasarkan ketentuan *SHRP A-407* (1994).

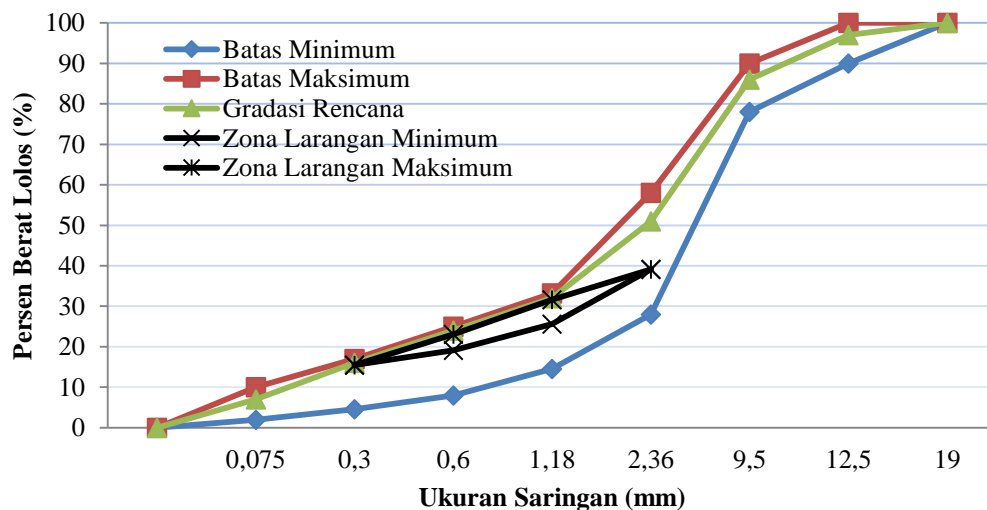
Adapun rancangan gradasi agregat untuk campuran *Superpave* dan campuran ACWC dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Tabel 4.2** berikut ini.

**Tabel 4. 1 Gradasi Agregat Campuran *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Zona Larangan (%)		Gradasi Rencana (%)
			Min	Max	Min	Max	Lolos
3/4 "	19	mm	100	100			100
1/2 "	12,5	mm	90	100			97
3/8 "	9,5	mm	78	90			86
No. 8	2,36	mm	28	58	39,1	39,1	51
No.16	1,18	mm	14,57	33,21	25,6	31,6	32
No.30	0,6	mm	7,97	25	19,1	23,1	24
No.50	0,3	mm	4,56	17	15,5	15,5	16
No.200	0,075	mm	2	10			7
Pen			0	0			0

Sumber : *Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407* (1994)

Grafik rencana gradasi rencana yang digunakan ke dalam campuran bergradasi *Superpave*, dapat dilihat pada **Gambar 4.1** berikut ini.



**Gambar 4. 1 Gradasi Agregat Campuran *Superpave* Ukuran Nominal Maksimum 12,5 mm**

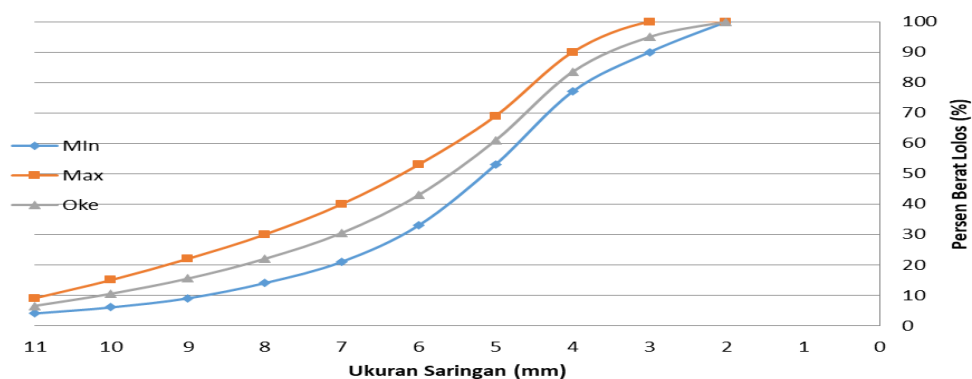
Berdasarkan *SHRP A-407* (1994) kadar aspal berada pada kisaran 5,55%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.

**Tabel 4. 2 Gradasi Agregat Campuran AC-WC**

Ukuran Saringan			Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)
			Min	Max	Lolos
3/4 "	19	mm	100	100	100
1/2 "	12,5	mm	90	100	95
3/8 "	9,5	mm	77	90	83,5
No. 4	4,75	mm	53	69	61
No. 8	2,36	mm	33	53	43
No.16	1,18	mm	21	40	30,5
No.30	0,6	mm	14	30	22
No.50	0,3	mm	9	22	15,5
No.100	0,15	mm	6	15	10,5
No.200	0,075	mm	4	9	6,5
Pen			0	0	0

Sumber : Bina Marga (2018)

Grafik rencana gradasi rencana yang digunakan ke dalam campuran AC-WC, dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut ini.



**Gambar 4. 2 Gradasi Agregat Campuran AC-WC**

Sumber : Bina Marga (2018)

Berdasarkan Bina Marga 2018 kadar aspal berada pada kisaran 5,99%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.



#### 4.4 Pengumpulan Data Ruas Jalan

Pengumpulan data ruas jalan bermaksud untuk memenuhi kelengkapan pada proses penganalisaan prediksi tipe kerusakan yang terjadi dan prediksi umur layanan pada perkerasan jalan yang nantinya akan disimulasikan untuk penggunaan perkerasan jenis *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan tipe bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70.

Pada penelitian ini proses prediksi nilai umur layanan (analisis dengan *KENPAVE*) menggunakan data sekunder dari Penelitian Suwanda dan Kushari (2019) untuk lokasi ruas Jalan Tempel - Pakem yang didapatkan berdasarkan Laporan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D. I. Yogyakarta Tahun 2018. Adapaun data-data tersebut adalah sebagai berikut.

##### 1. Data Lalu Lintas

Jalan Tempel – Pakem ini merupakan jalan alternatif yang digunakan pengemudi dari Magelang atau Solo jika ingin menghindari jalur dalam kota Yogyakarta. (Suwanda dan Kushari, 2019). Ruas jalan Tempel – Pakem merupakan jalan nasional dengan lebar jalan 7 meter, memiliki 2 lajur dengan 2 arah serta memiliki pertumbuhan lalu lintas (i) sebesar 3,5% pertahunnya. Berdasarkan data sekunder dari laporan Satuan Kerja Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I.Yogyakarta didapatkan hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan yang dapat dilihat pada **Tabel 4.3** berikut.

**Tabel 4. 3 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Tempel – Pakem**

No	Jenis Kendaraan	LHR 2017 (Unit)
1	Motor	6.944
2	Sedan, Jeep	1.622
3	Pick-up	252
4	Truk 2 As (L), Truk Kecil	531
5	Bus Kecil	18
6	Bus Besar	9
7	Truk 2 As (H)	90
8	Truk 2 As (H)	274
9	Truk 3 As	22
10	Trailer 4 As, Truk Gandeng	0
11	Truk Semi Trailer	0
12	Kendaraan Tidak Bermotor	178

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

## 2. Data Tebal Perkerasan Eksisting

Ruas jalan Tempel – Pakem merupakan jalan yang mulai mengalami rehabilitasi terhitung tanggal 3 Juli 2019. Pengerjaannya pun dibagi menjadi tiga segmen, sehingga ruas jalan Tempel – Pakem memiliki waktu mulai operasi yang fleksibel. (Suwanda dan Kushari, 2019). Berdasarkan data yang didapatkan dari Perencanaan dan Pengawasan Jalan Nasional D.I. Yogyakarta, tebal perkerasan Jalan Tempel – Pakem ini adalah sebagai berikut.

<i>AC-WC</i>	= 4 cm
<i>AC-BC</i>	= 6 cm
<i>AC-Base</i>	= 8 cm
Lapis Pondasi Agregat	= 30 cm

## 3. Rekapitulasi Prediksi Kendaraan Selama Umur Rencana

Data rekapitulasi prediksi kendaraan selama umur rencana (20 tahun) dapat dilihat pada **Tabel 4.4** berikut ini.

**Tabel 4. 4 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana**

No	Jenis Kendaraan	LHR/hari	ESA 4	ESA 5
1	Motor	6.944	0	0
2	Sedan, Jeep	1.622	0	0
3	Pick-up	252	0	0
4	Truk 2 As (L), Truk Kecil	531	0	0
5	Bus Kecil	18	22447,14	14964,76
6	Bus Besar	9	37411,89	37411,89
7	Truk 2 As (H)	90	189699,62	189699,62
8	Truk 2 As (H)	274	4764920,18	6467919,94
9	Truk 3 As	22	474997,07	688547,67
10	Trailer 4 As, Truk Gandeng	0	0	0
11	Truk Semi Trailer	0	0	0
12	Kendaraan Tidak Bermotor	178	0	0
<i>CESA 20 Tahun</i>			5489475,91	7398543,88

Sumber : Suwanda dan Kushari (2019)

Berdasarkan Tabel 4.4 di atas, maka dapat diketahui nilai :

CESA4 = 5.489.475,91 ESAL

CESA5 = 7.398.543,88 ESAL

#### 4.5 Variasi dan Jumlah Sampel Penelitian

Pada penelitian ini digunakan variasi dengan menggunakan 2 jenis aspal yang berbeda dan diterapkan pada 2 jenis perkerasan yang berbeda, yaitu dengan *superpave* dan *AC-WC*.

Jumlah total sampel yang digunakan adalah sebanyak 132 buah, yang diantaranya digunakan untuk pengujian kadar air optimum guna mendapatkan nilai KAO yang valid sebanyak 60 buah sampel dan penggunaan 72 buah sampel lainnya untuk tiap pengujian pada KAO. Untuk penjelasan jumlah sampel penelitian yang lebih detail, dapat dilihat pada **Tabel 4.5** dan **Tabel 4.6** berikut ini

**Tabel 4. 5 Jumlah Benda Uji Untuk Memperoleh Nilai KAO**

Jenis Aspal	ACWC					Superpave				
	Kadar Aspal					Kadar Aspal				
Pen	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Starbit	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Total	30					30				

**Tabel 4. 6 Jumlah Benda Uji Pada Kondisi KAO**

Jenis Aspal	ACWC						Superpave					
	MS	IRS	ITS	TSR	CL	SM	MS	IRS	ITS	TSR	CL	SM
Pen	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Starbit	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Total	36						36					

#### 4.6 Analisis Statistika

Penelitian ini menggunakan analisis berupa statistik *Anova*, analisis statistik bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh gradasi dan bahan ikat pada campuran *Superpave* dan *AC-WC*. Data-data seperti karakteristik *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro*, *Stiffness Modulus* nantinya akan dianalisis dengan statistik *Anova* guna menyimpulkan hasil penelitian. Secara umum analisis statistik *Anova* adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis nol ( $H_0$ ) dan hipotesis alternatif ( $H_1$ ) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel. Rumusan hipotesis dalam dilihat pada persamaan 4.1 dan 4.2 berikut ini.

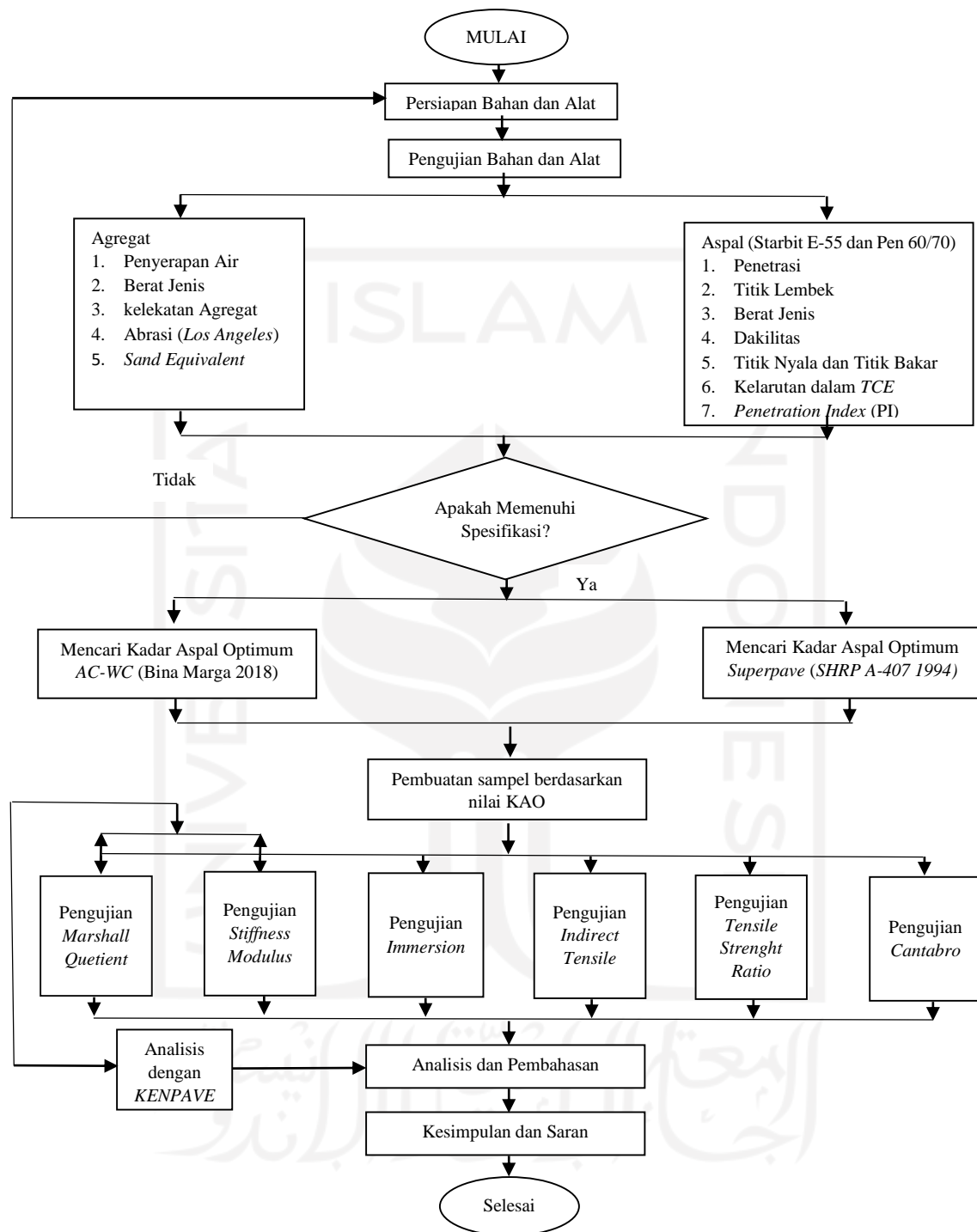
$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_k \quad (4.1)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k \quad (4.2)$$

2. 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.
3. 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.
4. Perumusan keputusan  $H_0$  dan  $H_1$   
 $H_0$  : Tidak ada perbedaan secara signifikan  
 $H_1$  : Ada perbedaan secara signifikan

#### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan bagan yang menunjukkan alir atau tahapan-tahapan suatu penelitian yang dibuat secara singkat dan jelas. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada **Gambar 4.3** berikut.



**Gambar 4. 3 Bagan Alir Penelitian**

## BAB V

### HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

#### 5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, maka didapatkan hasil masing-masing pengujian sebagai berikut.

##### 5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55. Data hasil pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018, rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 5.1** berikut.

**Tabel 5. 1 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal**

No.	Jenis Pengujian	Starbit E-55		AC Pen 60/70	
		Spesifikasi	Hasil	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,04	$\geq 1,0$	1,03
2	Penetrasi (0,1 mm)	50-80	55,8	60-70	61,5
3	Daktalitas (cm)	$\geq 50$	164,3	$\geq 100$	164
4	Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 225$	312	$\geq 232$	270
5	Titik Bakar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 225$	325	$\geq 232$	290
6	Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 54$	54	$\geq 48$	48
7	Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,53	$\geq 99$	100
8	Penetration Index (PI)	-	0,169	-	-1,176

##### 5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini menggunakan agregat yang berasal dari Sungai Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta. Data hasil pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018, rekapitulasi hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 5.2** sampai **Tabel 5.4** berikut.

**Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,733
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$\leq 3$	1,885
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Starbit E-55 (%)	$\geq 95$	97
4	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70 (%)	$\geq 95$	95
5	Keausan dengan Mesin <i>Loss Angeles</i> (%)	$\leq 40$	19,549

**Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Agegat Halus**

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,69
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$\leq 3$	2,125
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	$\geq 50$	91,987

**Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Berat Jenis *Filler***

No	<i>Filler</i>	Hasil
1	Debu Batu	2,6

### 5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall Test* Campuran *Superpave* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

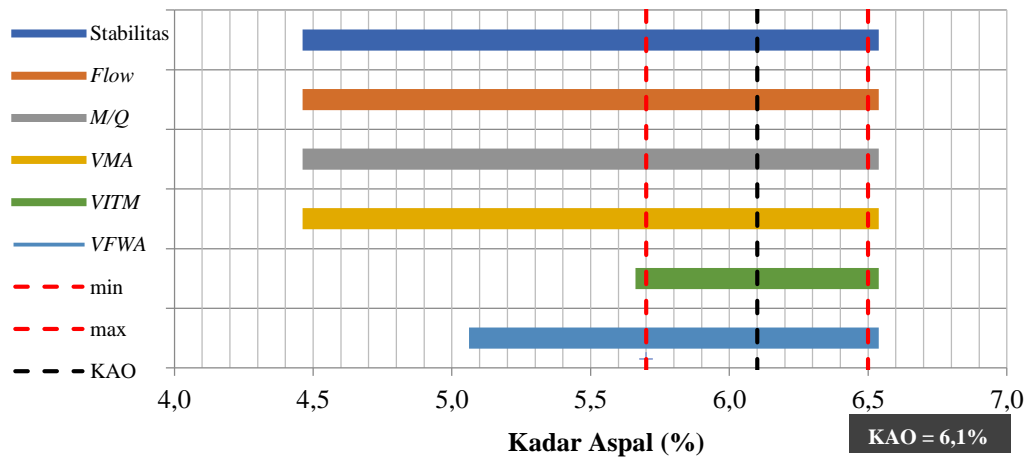
Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai KAO pada campuran *Superpave* yang menggunakan Pen 60/70 dan Starbit E-55. Hasil pengujian yang didapat adalah data nilai *stability*, *flow*, *MQ*, *VMA*, *VITM* dan *VFWA*. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.5** dan **Tabel 5.6**, serta untuk penetapan nilai KAO dapat dilihat pada **Gambar 5.1** dan **Gambar 5.2** berikut.

**Tabel 5. 5 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran *Superpave* dengan Aspal Starbit E-55**

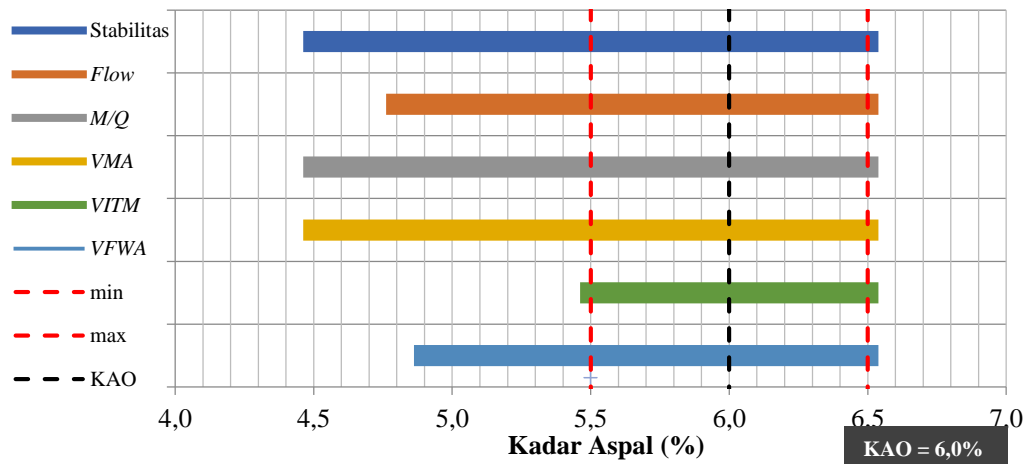
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	<i>Flow</i> (mm)	<i>MQ</i> (kg/mm)	<i>VMA</i> (%)	<i>VITM</i> (%)	<i>VFWA</i> (%)	<i>Density</i> (gr/cc)
4,5	1543,27	3,04	507,70	17,53	7,43	57,64	2,33
5	1645,28	3,07	536,20	17,60	6,33	64,14	2,34
5,5	1701,37	3,13	543,16	17,79	5,36	69,91	2,35
6	1578,72	3,30	478,38	18,03	4,43	75,45	2,36
6,5	1566,02	3,71	422,53	19,03	4,40	76,92	2,34
Spesifikasi	>800	2-4	>250	>15	3-5	>65	

**Tabel 5. 6 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran Superpave dengan Aspal Pen 60/70**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)
4,5	1148	2,93	395,68	16,85	6,86	59,27	2,35
5	1283	3,07	417,90	16,91	5,77	65,89	2,36
5,5	1339	3,46	388,83	17,27	5,00	71,13	2,37
6	1447	3,60	401,88	17,75	4,38	75,36	2,37
6,5	1308	3,93	337,98	18,09	3,58	80,35	2,37
Spesifikasi	>800	2-4	>250	>15	3-5	>65	



**Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Superpave dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E-55**



**Gambar 5. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran Superpave dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70**



#### 5.1.4 Hasil Pengujian *Marshall Test* Campuran AC-WC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

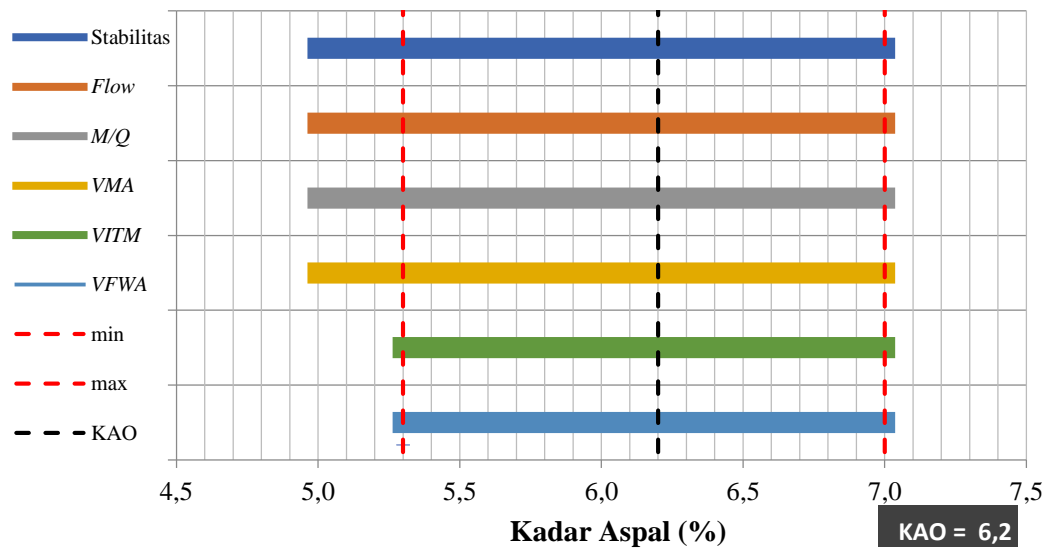
Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum untuk campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55. Hasil pengujian yang didapat adalah berupa data nilai *stability*, *flow*, *Marshall Quetient (MQ)*, *Void in Mineral Agregate (VMA)*, *Void In the Total Mix (VITM)*, dan *Void Filled With Asphalt (VFWA)*. Rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.7** dan **Tabel 5.8**, serta untuk penetapan nilai KAO dapat dilihat pada **Gambar 5.3** dan **Gambar 5.4** berikut.

**Tabel 5. 7 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran AC-WC dengan Aspal Starbit E-55**

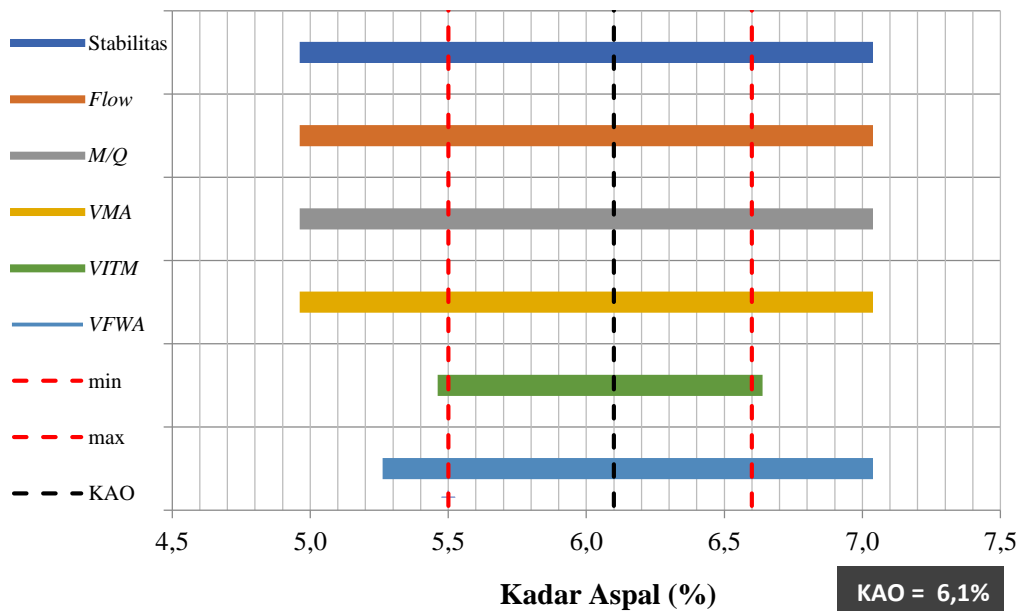
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)
5	1445,06	3,17	462,22	15,81	7,05	61,22	2,23
5,5	1479,88	3,20	467,00	15,70	5,78	68,11	2,23
6	1572,85	3,33	468,23	15,39	4,27	76,06	2,27
6,5	1522,01	3,57	420,11	16,07	3,87	79,36	2,26
7	1432,39	3,70	387,13	18,09	3,16	83,39	2,26
Spesifikasi	>800	2-4	>250	>15	3-5	>65	

**Tabel 5. 8 Hasil Pengujian untuk Menentukan KAO pada Campuran AC-WC dengan Aspal Pen 60/70**

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)
5	1165,66	3,07	380,31	15,47	6,67	61,98	2,24
5,5	1248,91	3,27	381,62	15,05	5,05	70,54	2,27
6	1407,13	3,40	416,88	15,30	4,16	76,05	2,27
6,5	1259,53	3,57	354,35	15,49	3,20	81,76	2,28
7	1114,57	4,03	276,47	16,22	2,87	84,35	2,27
Spesifikasi	>800	2-4	>250	>15	3-5	>65	



**Gambar 5. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC dengan Bahan Ikat Aspal Starbit E-55**



**Gambar 5. 4 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran AC-WC dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70**

### 5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Perkerasan Berdasarkan Jenis Gradasi dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 pada Kadar Aspal Optimum

Hasil pengujian campuran perkerasan pada penelitian ini meliputi pengujian *Marshall Standard*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro Loss*, dan *Stiffness Modulus*. Data rekapitulasi dari hasil masing-masing pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.9** sampai **Tabel 5.17** berikut ini.

**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall Standard* pada Campuran *Superpave***

Jenis Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)
Starbit E-55	1556	3,29	478,63	18,42	4,65	74,79	2,35
Pen 60/70	1469	3,44	428,92	17,70	4,32	75,67	2,37
Spesifikasi	>800	3	>250	>15	3-5	>65	

**Tabel 5. 10 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Marshall Standard* pada Campuran *ACWC***

Jenis Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VMA (%)	VITM (%)	VFWA (%)	Density (gr/cc)
Starbit E-55	1464	3,13	467,75	15,39	3,92	78,06	2,27
Pen 60/70	1320	3,20	412,68	19,48	3,36	80,23	2,29
Spesifikasi	>800	3	>250	>15	3-5	>65	

**Tabel 5. 11 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* pada Setiap Jenis Campuran**

Jenis Campuran	<i>Index of Retained Strength (%)</i>	
	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>Superpave</i>	93,73	90,57
<i>AC-WC</i>	92,02	90,46

**Tabel 5. 12 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Setiap Jenis Campuran**

Jenis Campuran	<i>Indirect Tensile Strength (kg/cm)</i>	
	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>Superpave</i>	25,33	24,12
<i>AC-WC</i>	21,06	17,93

**Tabel 5. 13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* pada Setiap Jenis Campuran**

Jenis Campuran	<i>Tensile Strength Ratio (%)</i>	
	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>Superpave</i>	92,51	91,27
<i>AC-WC</i>	90,56	90,10

**Tabel 5. 14 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Cantabro* pada Setiap Jenis Campuran**

Jenis Campuran	<i>Cantabro (%)</i>	
	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>Superpave</i>	3,11	4,03
<i>AC-WC</i>	3,26	4,34

**Tabel 5. 15 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Stiffness Modulus* pada Setiap Jenis Campuran**

Jenis Campuran	<i>Stiffness Modulus of Bitumen (MPa)</i>		<i>Stiffness Modulus of Mixture (MPa)</i>	
	Starbit E-55	Pen 60/70	Starbit E-55	Pen 60/70
<i>Superpave</i>	7,11	5,60	1357,11	1332,87
<i>AC-WC</i>			980,57	939,03

**Tabel 5. 16 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Pada Campuran *Superpave* Berbahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Starbit E-55	<i>Fatigue Cracking</i>	123.310.122	62,6
	<i>Rutting</i>	29.386.008	30,1
	<i>Permanent Deformation</i>	17.069.613	20,9
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	123.070.820	62,5
	<i>Rutting</i>	29.211.076	30,0
	<i>Permanent Deformation</i>	16.949.689	20,8

**Tabel 5. 17 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif Pada Campuran *AC-WC* Berbahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Starbit E-55	<i>Fatigue Cracking</i>	116.600.803	61,2
	<i>Rutting</i>	26.996.056	28,5
	<i>Permanent Deformation</i>	15.060.282	19,1
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	115.711.693	61,0
	<i>Rutting</i>	26.733.851	28,3
	<i>Permanent Deformation</i>	14.804.637	18,9

### 5.1.6 Hasil Analisis Statistik *T-Test*

Hasil analisis statistik *T-Test* meliputi data-data uji sifat fisik aspal Starbit E-55 terhadap aspal Pertamina Pen 60/70, yaitu berupa uji penetrasi, berat jenis, daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar, kelarutan dalam *TCE* dan *penetration indeks*. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *t-test* dapat dilihat pada **Tabel 5.18** berikut.

**Tabel 5. 18 Rekapitulasi Hasil Uji Signifikansi Perbedaan antara Sifat Fisik Aspal Starbit E-55 dan Aspal Pen 60/70**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Berat Jenis	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
Penetrasi	H <sub>0</sub> Ditolak	Signifikan
Daktilitas	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
Titik Lembek	H <sub>0</sub> Ditolak	Signifikan
Titik Nyala	H <sub>0</sub> Ditolak	Signifikan
Titik Bakar	H <sub>0</sub> Ditolak	Signifikan
Kelarutan dalam <i>TCE</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>Penetration Index (PI)</i>	H <sub>0</sub> Ditolak	Signifikan

### 5.1.7 Hasil Analisis Statistik *Anova*

Hasil analisis statistik *anova* meliputi data-data uji karakteristik *Marshall* pada nilai *KAO*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *CL*, *Stiffness Modulus* dan Prediksi Umur Layanan dengan masing-masing pengaruh terhadap penggunaan jenis gradasi campuran dan tipe bahan ikat. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *anova* dapat dilihat pada **Tabel 5.19** dan **Tabel 5.24** berikut ini.

**Tabel 5. 19 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik *Marshall* untuk Semua Jenis Gradasi pada *KAO***

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>VITM</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>VFWA</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>VMA</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>Density</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
Stabilitas	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>MQ</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5. 20 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR* dan *CL* untuk Semua Jenis Gradasi**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>ITS</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>TSR</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>CL</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5. 21 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *Stiffness Modulus* Untuk Semua Jenis Gradasi**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>Stiffness Modulus</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5. 22 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Karakteristik *Marshall* untuk Semua Jenis Bahan Ikat Pada Kondisi KAO**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>VITM</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>VFWA</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>VMA</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>Density</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
Stabilitas	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan
<i>Flow</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>MQ</i>	H <sub>1</sub> Diterima	Signifikan

**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *IRS*, *ITS*, *TSR* dan *CL* untuk Semua Jenis Bahan Ikat**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>IRS</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>ITS</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>TSR</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan
<i>CL</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan

**Tabel 5. 24 Rekapitulasi Uji Signifikansi Perbedaan Nilai *Stiffness Modulus* untuk Semua Jenis Bahan Ikat**

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
<i>Stiffness Modulus</i>	H <sub>0</sub> Diterima	Tidak Signifikan

## 5.2 Pembahasan

### 5.2.1 Karakteristik Aspal

Rangkaian pengujian karakteristik aspal dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang akan digunakan sebagai bahan ikat. Pembahasan hasil karakteristik aspal pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 adalah sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Aspal

Nilai berat jenis aspal memiliki pengaruh besar terhadap proses perencanaan rancangan perkerasan. Nilai ini didapat berdasarkan hasil perbandingan antara volume aspal dan volume air. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai berat jenis pada kedua jenis aspal tidak berbeda secara signifikan, yaitu pada jenis aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar 1,03 dan pada jenis aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 1,04. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $\geq 1$  untuk kedua jenis aspal.

#### 2. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kekerasan pada aspal. Semakin tinggi nilai penetrasi yang didapat maka dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan aspal tersebut lebih tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai penetrasi pada kedua jenis aspal berbeda secara signifikan, yaitu pada jenis aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar 61,5 mm dan pada jenis aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 55,8 mm. Perbedaan yang signifikan pada Starbit E-55 disebabkan oleh sifat aspal yang berbasis polimer elastomer sehingga memberikan dampak berupa penurunan nilai penetrasi yang artinya aspal modifikasi Stabit E-55 akan memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan aspal Pen 60/70. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pradani (2013), disebutkan bahwa dengan adanya penambahan polimer SBS pada aspal, maka aspal akan menjadi lebih keras dengan dibuktikan oleh penurunan nilai penetrasi. Prastanto, dkk (2015) juga menyebutkan dalam penelitiannya bahwa aspal yang dimofikasi dengan polimer akan mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan dan

meningkatkan ketahanan terhadap retak. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penetrasi aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu nilai penetrasi antara 60 mm sampai dengan 70 mm pada aspal Pen 60/70 dan antara 50 mm sampai dengan 80 mm pada aspal modifikasi Starbit E-55.

### 3. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas aspal merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kekenyalan pada aspal. Pada penelitian ini, nilai daktilitas pada aspal Pen 60/70 maupun aspal modifikasi Starbit E-55 memiliki nilai akhir yang sama, yaitu sebesar 164 mm atau dapat dikategorikan tidak putus pada saat pengujian. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai daktilitas aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $\geq 100$  cm pada aspal Pen 60/70 dan  $\geq 50$  cm pada aspal modifikasi Starbit E-55.

### 4. Titik Nyala Aspal

Nilai titik nyala aspal merupakan nilai yang menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Pada penelitian ini, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar 270°C dan pada aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 285°C. Perbedaan nilai titik nyala pada kedua aspal tersebut cukup signifikan, hal ini membuktikan bahwa aspal Pen 60/70 memiliki kandungan minyak yang relatif lebih besar jika dibandingkan aspal Starbit E-55. Subarkah, dkk (2020), menyebutkan bahwa aspal dengan nilai titik nyala yang lebih rendah cenderung akan memiliki nilai *flow* yang tinggi karena memiliki kandungan minyak yang lebih besar. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $\geq 232$  °C pada aspal Pen 60/70 dan  $\geq 225$ °C pada aspal modifikasi Starbit E-55.

### 5. Titik Bakar Aspal

Nilai titik bakar aspal merupakan nilai yang menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala  $\pm 5$  detik pada permukaan aspal. Pada penelitian ini, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar 290°C dan pada aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 295°C.



Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik bakar aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $\geq 232^\circ\text{C}$  pada aspal Pen 60/70 dan  $\geq 225^\circ\text{C}$  pada aspal modifikasi Starbit E-55.

#### 6. Titik Lembek Aspal

Nilai titik lembek aspal merupakan nilai yang menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Pada penelitian ini, nilai titik lembek pada kedua aspal memiliki perbedaan secara signifikan. Aspal Pen 60/70 memiliki nilai titik lembek sebesar  $48^\circ\text{C}$  dan pada aspal modifikasi Starbit E-55 sebesar  $54^\circ\text{C}$ . Nilai titik lembek berkaitan erat dengan nilai *Penetration Index* (PI), rendahnya nilai titik lembek pada aspal Pen 60/70 mengartikan bahwa aspal tersebut memiliki sifat yang lebih peka terhadap temperatur dibandingkan aspal Starbit E-55. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Arkan dan Subarkah (2018). Pada penelitiannya juga ditemukan bahwa nilai titik lembek aspal Pen 60/70 lebih rendah dibandingkan aspal Starbit E-55, yaitu dengan masing-masing nilai titik lembek sebesar  $48,1^\circ\text{C}$  pada aspal Pen 60/70 dan sebesar  $55,5^\circ\text{C}$  pada aspal Starbit E-55. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $48^\circ\text{C}$  pada aspal Pen 60/70 dan  $54^\circ\text{C}$  pada aspal modifikasi Starbit E-55.

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

Nilai kelarutan aspal dalam *TCE* merupakan nilai yang menunjukkan persentase jumlah aspal yang larut dalam *TCE* yang nantinya nilai ini akan berpengaruh terhadap ikatan aspal dengan batuan. Pada penelitian ini, nilai kelarutana dalam *TCE* aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar 100% dan pada aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 99,53%. Perbedaan nilai kelarutan pada kedua jenis aspal tidak signifikan. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai titik nyala aspal Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 telah memenuhi syarat yaitu  $48^\circ\text{C}$  pada aspal Pen 60/70 dan  $54^\circ\text{C}$  pada aspal modifikasi Starbit E-55 yaitu  $\geq 99\%$  untuk kedua jenis aspal.

#### 8. *Penetration Index* (PI)

Nilai *penetration index* (PI) merupakan nilai yang menggambarkan tingkat kepekaan aspal terhadap temperatur. Pada penelitian ini, nilai *penetration index* (PI)

pada kedua jenis aspal memiliki perbedaan yang signifikan, yaitu pada aspal Pen 60/70 didapatkan sebesar -1,176 dan pada aspal modifikasi Starbit E-55 didapatkan sebesar 0,169. Tingginya nilai PI pada aspal Starbit E-55 disebabkan oleh rendahnya nilai penetrasi dan tingginya nilai titik lembek sehingga aspal tersebut akan lebih relatif kurang peka terhadap pengaruh suhu. Indriyati (2017) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa semakin rendah nilai indeks penetrasi, maka makin rendah tingkat ketahanan aspal terhadap temperatur.

### **5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar**

Rangkaian pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat kasar yang akan digunakan sebagai bahan campuran perkerasan. Pembahasan hasil karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut.

#### **1. Berat Jenis Agregat Kasar**

Nilai berat jenis agregat merupakan nilai perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap air pada suhu tertentu. Data berat jenis yang diperiksa adalah berupa berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji dikering oven (BK). Pada penelitian ini, nilai berat jenis agregat kasar didapatkan sebesar 2,733. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis agregat kasar telah memenuhi syarat yaitu  $> 2,5$ .

#### **2. Penyerapan Air oleh Agregat**

Nilai penyerapan air oleh agregat merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan dalam menyerap air, rongga atau pori agregat. Pada penelitian ini, nilai penyerapan air oleh agregat kasar didapatkan sebesar 1,885%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penyerapan air oleh agregat telah memenuhi syarat yaitu  $< 3\%$ .

#### **3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal**

Nilai kelekatan agregat terhadap aspal merupakan nilai yang menunjukkan persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap luas keseluruhan permukaan. Pada penelitian ini, nilai kelekatan agregat terhadap aspal didapatkan

sebesar 95% pada aspal Pen 60/70 dan sebesar 97% pada aspal Starbit E-55. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai kelekatan agregat terhadap kedua jenis aspal telah memenuhi syarat yaitu  $> 95\%$ .

#### 4. Keausan Agregat dengan Mesin *Loss Angeles*

Nilai keausan agregat merupakan nilai yang menunjukkan tingkat ketahanan agregat terhadap abrasi dengan menggunakan mesin *loss angeles*, dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan yang aus lolos saringan No. 12 terhadap berat mula-mula. Pada penelitian ini, nilai keausan agregat didapatkan sebesar 19,549%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai keausan agregat terhadap aspal telah memenuhi syarat yaitu  $< 40\%$ .

### 5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

Rangkaian pengujian karakteristik agregat halus dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik agregat halus yang akan digunakan sebagai bahan campuran perkerasan. Pembahasan hasil karakteristik agregat halus adalah sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Agregat Halus

Nilai berat jenis agregat merupakan nilai perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap air pada suhu tertentu. Data berat jenis yang diperiksa adalah berupa berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji dikering oven (BK). Pada penelitian ini, nilai berat jenis agregat didapatkan sebesar 2,69. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai berat jenis agregat kasar telah memenuhi syarat yaitu  $> 2,5$ .

#### 2. Penyerapan Air oleh Agregat

Nilai penyerapan air oleh agregat merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kemampuan suatu bahan dalam menyerap air, rongga atau pori agregat. Pada penelitian ini, nilai penyerapan air oleh agregat kasar didapatkan sebesar 2,125%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penyerapan air oleh agregat telah memenuhi syarat yaitu  $< 3\%$ .

### 3. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent* merupakan nilai yang menunjukkan kadar debu dan lumpur pada agregat halus. Pada penelitian ini, nilai *sand equivalent* didapatkan sebesar 91,987%. Berdasarkan pedoman spesifikasi Bina Marga 2018, nilai penyerapan air oleh agregat telah memenuhi syarat yaitu  $> 50\%$ .

### 4. *Filler*

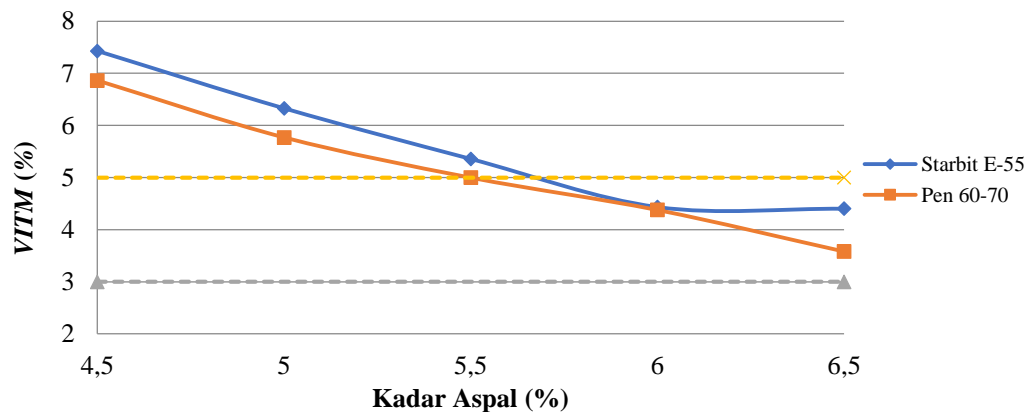
*Filler* merupakan agregat halus yang telah lolos saringan No. 200. Pada penelitian ini didapatkan hasil nilai berat jenis *filler* debu batu sebesar 2,6%.

## 5.2.4 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 untuk Mencari KAO

Tinjauan karakteristik *Marshall* untuk mencari nilai kadar aspal optimum pada campuran *Superpave* dan AC-WC yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 secara rinci dapat dilihat sebagai berikut.

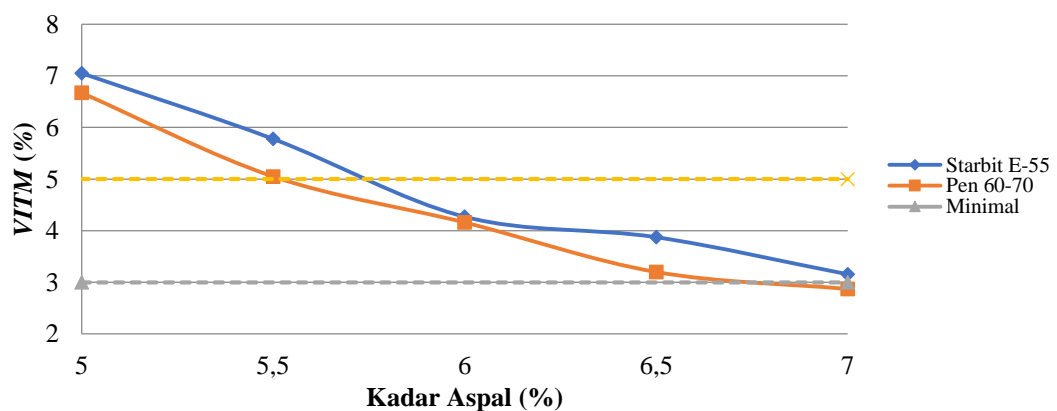
### 1. *Void In Total Mix (VITM)*

*Void In Total Mix (VITM)* merupakan persen rongga udara didalam total campuran agregat aspal. Karakteristik ketahanan campuran terhadap deformasi plastis erat hubungannya dengan *VITM*. Bila nilai *VITM* memenuhi syarat maka campuran aspal akan memiliki kemampuan dalam menghambat efek deformasi plastis, bila nilainya terlalu tinggi akan menyebabkan campuran menjadi bersifat *porous*, dimana air dan udara akan mudah masuk sehingga mengakibatkan campuran aspal mudah teroksidasi dan terdeformasi plastis. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* untuk campuran *Superpave* dan AC-WC pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.5** dan **Gambar 5.6** berikut ini.



**Gambar 5. 5 Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VITM Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.5, dapat dilihat campuran *Superpave* berbahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 sama-sama mengalami tren penurunan nilai *VITM* seiring bertambahnya kadar aspal. Namun dapat diperhatikan, tren penurunan nilai *VITM* pada penggunaan aspal Starbit E-55 di kadar 6% menuju 6,5% cenderung melambat dan hanya menghasilkan penurunan nilai *VITM* sebesar 0,03% saja, sedangkan tren penurunan nilai *VITM* pada penggunaan aspal Pen 60/70 di kadar tersebut menghasilkan penurunan nilai sebesar 0,8%. Secara keseluruhan, berdasarkan Gambar 5.5 dapat ditarik kesimpulan bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 pada kadar 5,7% sampai 6,5% dan yang berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 5,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3 – 5%.



**Gambar 5. 6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VITM Pada Campuran AC-WC**

Pada Gambar 5.6, dapat dilihat bahwa campuran AC-WC yang berbahan ikat Starbit E-55 pada kadar 5,7% sampai 7% dan yang berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 5,5% sampai 6,75% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 3 – 5%. Seiring dengan penambahan kadar aspal, penggunaan kedua jenis bahan ikat ini akan mengalami tren penurunan nilai *VITM*. Namun jika diperhatikan pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70 dikadar 7%, nilai *VITM* yang didapatkan sudah tidak memenuhi persyaratan yang sudah ditetapkan. Hal ini menunjukkan bahwa pada penelitian, penggunaan aspal Pen 60/70 hanya mampu menampung aspal maksimal sebesar 6,75% jika ingin digunakan sebagai bahan campuran perkerasan.

Berdasarkan Gambar 5.5 dan Gambar 5.6 secara keseluruhan dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai *VITM* akan semakin menurun. Penurunan nilai *VITM* ini disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran akan menjadi semakin kecil. Pada penggunaan aspal Starbit E-55 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* cenderung lebih tinggi dan mengalami tren penurunan nilai yang lebih rendah disetiap kadarnya. Hal ini dikarenakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai *stiffness modulus of bitumen (Sbit)* atau kekakuan aspal yang lebih dominan dibandingkan aspal Pen 60/70 berdasarkan hasil pengujian penetrasi dan titik lembek pada material aspalnya. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yulienda dan Fauziah (2017), penelitian tersebut menyimpulkan bahwa tingginya nilai *VITM* pada campuran berbahan ikat Starbit E-55 dikarenakan oleh sifat aspal Starbit E-55 yang lebih kaku dibandingkan aspal Pen 60/70 sehingga menimbulkan *void* yang besar pada campuran perkerasan. Nugroho dan Subarkah (2019) sebelumnya juga telah mengatakan bahwa rendahnya nilai *VITM* pada campuran berbahan ikat Starbit E-55 disebabkan oleh nilai viskositasnya yang relatif lebih tinggi sedikit jika dibandingkan aspal Pen 60/70. Perbandingan nilai viskositas berdasarkan penelitian Nugroho dan Subarkah (2019) dapat dilihat pada **Tabel 5.25** dan **Tabel 5.26** berikut ini.

**Tabel 5. 25 Viskositas Aspal Pen 60/70**

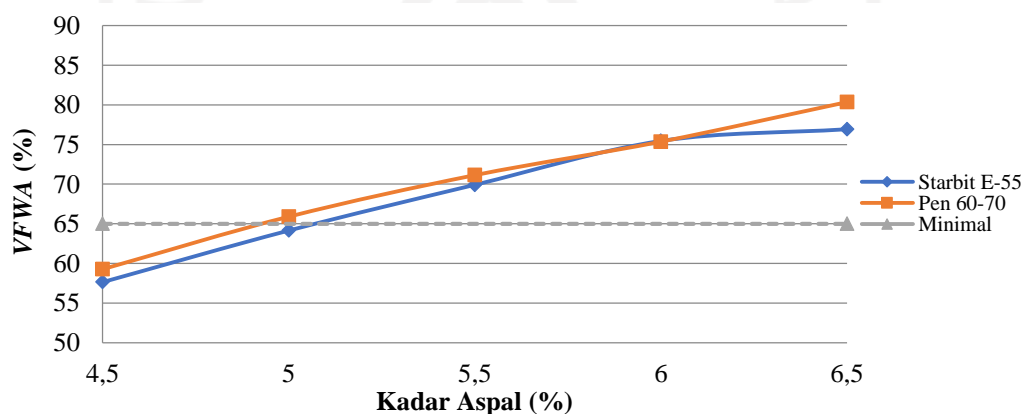
Suhu (°C)	Detik	Viskositas (Cst)	Suhu Pemadatan (°C)	Suhu Pencampuran (°C)
140	389	818,00	157,2	163,3
150	193	407,50		
160	106	222,85		

**Tabel 5. 26 Viskositas Aspal Stabir E-55**

Suhu (°C)	Detik	Viskositas (Cst)	Suhu Pemadatan (°C)	Suhu Pencampuran (°C)
140	390	820,00	157	163
150	195	411,67		
160	102	215,46		

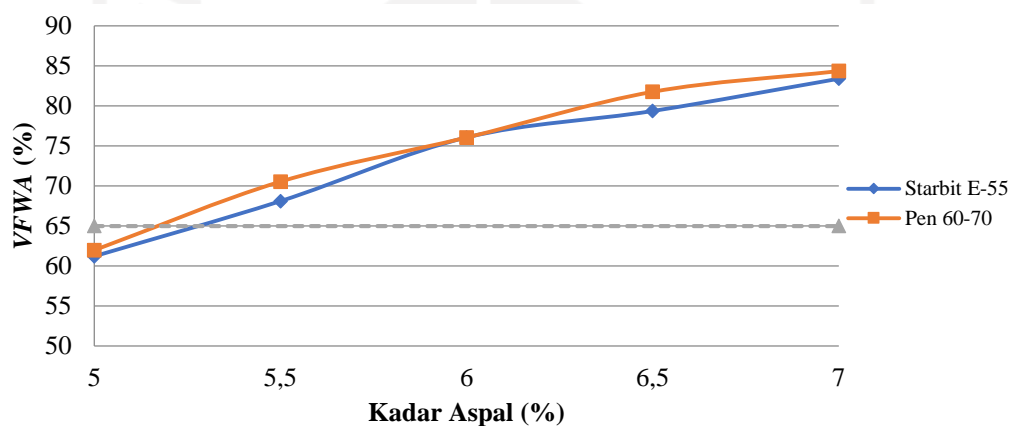
## 2. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

*Void Filled With Asphalt (VFWA)* merupakan persen rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan. Faktor-faktor yang mempengaruhi antara lain jumlah dan temperatur pemadatan, distribusi target gradasi agregat dan kasar aspal serta absorpsi agregat. Nilai *VFWA* ini berpengaruh terhadap sifat kedekatan campuran terhadap air dan udara serta sifat elastik campuran, sehingga akan menentukan stabilitas, fleksibilitas dan durabilitas. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* untuk campuran *Superpave* dan *AC-WC* pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.7** dan **Gambar 5.8** berikut ini.



**Gambar 5. 7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA* Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.7, dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 pada kadar 5,1% penggunaan aspalnya, sedangkan yang berbahan ikat Pen 60/70 mulai memenuhi syarat pada kadar 4,9%. Pada kadar yang sama, nilai *VFWA* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan ikat Starbit E-55 kecuali pada kadar aspal 6% menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Nilai yang ditunjukkan pada kondisi kadar aspal 6% adalah sebesar 75,45% pada penggunaan aspal Pen 60/70 dan sebesar 75,36% pada penggunaan aspal Starbit E-55, sehingga pada kadar ini perbedaan kedua jenis aspal hanya beselisih 0,09%.



**Gambar 5. 8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VFWA* Pada Campuran AC-WC**

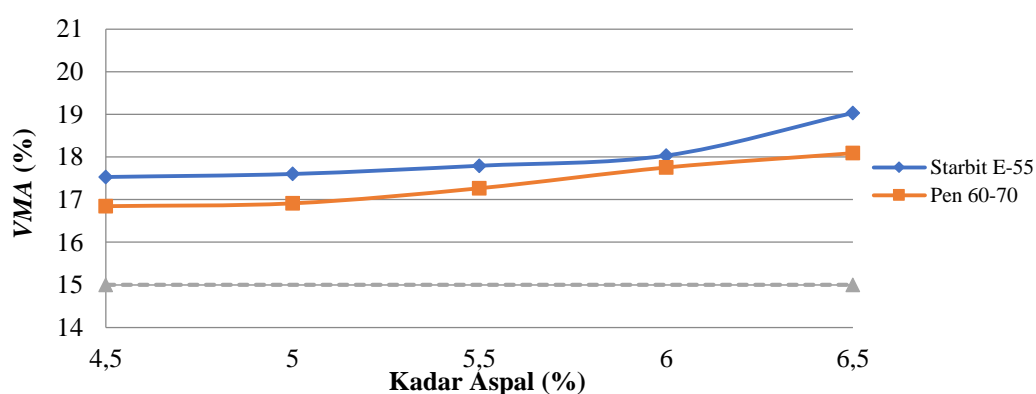
Pada Gambar 5.8, dapat dilihat bahwa campuran AC-WC yang berbahan ikat Starbit E-55 mulai memenuhi spesifikasi nilai *VFWA* berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 pada kadar 5,3% penggunaan aspalnya, sedangkan yang berbahan ikat Pen 60/70 mulai memenuhi syarat pada kadar 5,2%. Pada kadar yang sama, nilai *VFWA* pada campuran AC-WC dengan bahan ikat Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan dengan bahan ikat Starbit E-55 kecuali pada kadar aspal 6% dan 7% menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda. Selisih nilai yang ditunjukkan pada kondisi kadar aspal 6% adalah sebesar 0,01% dan pada kondisi kadar aspal 7% adalah sebesar 0,04%.



Berdasarkan Gambar 5.7 dan Gambar 5.8 dapat dapat diketahui bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai *VFWA* pada aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70 akan semakin meningkat. Secara volumetrik, dapat diketahui bahwa aspal Pen 60/70 memiliki nilai *VFWA* yang lebih besar, hal ini sebabkan aspal Pen 60/70 memiliki nilai indeks penetrasi yang lebih rendah apabila dibandingkan aspal Starbit E-55. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan Hadi dan Fauziah (2019), pada penelitiannya didapatkan hasil nilai *VFWA* aspal Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan aspal Starbit E-55. Tingginya nilai *VFWA* membuktikan bahwa jenis aspal Pen 60/70 memiliki sifat yang relatif lebih peka terhadap perubahan suhu sehingga akan lebih mudah untuk mengisi rongga pada campuran perkerasan.

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

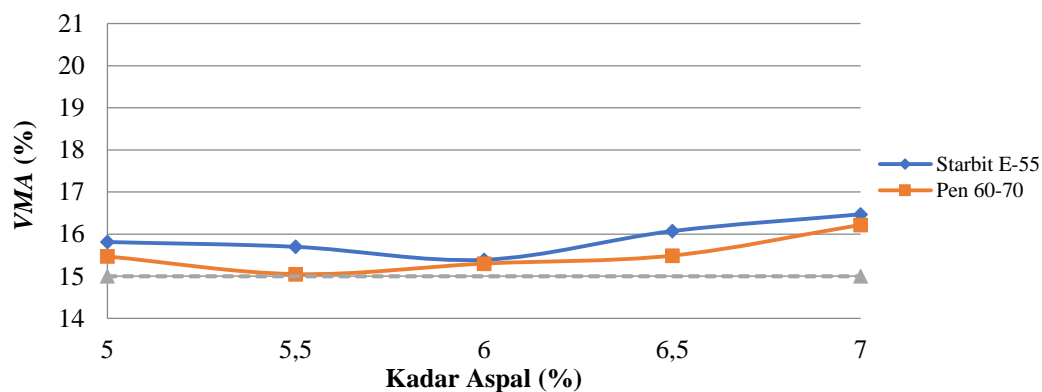
*Void In Mineral Agregate (VMA)* merupakan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. *VMA* dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VMA* untuk campuran *Superpave* dan *AC-WC* pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.9** dan **Gambar 5.10** berikut ini.



**Gambar 5. 9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VMA Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.9, dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 4,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 15%. Berdasarkan tinjauan

niali *VMA* juga dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai yang sedikit lebih tinggi jika dibandingkan campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70.



**Gambar 5. 10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VMA Pada Campuran AC-WC**

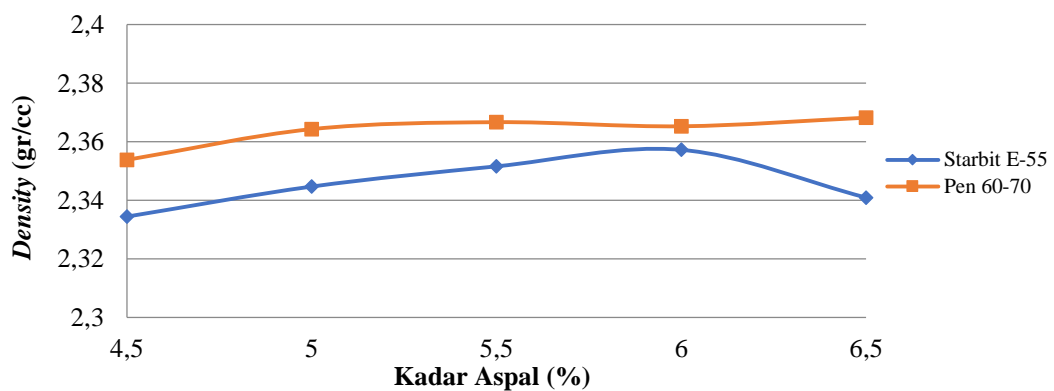
Pada Gambar 5.10, dapat dilihat bahwa campuran AC-WC yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 5% sampai 7% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 15%. Berbeda dengan tren peningkatan nilai *VMA* pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55, campuran AC-WC di kadar 6% menunjukkan nilai *VMA* yang tidak jauh berbeda atau hampir mendekati nilai *VMA* pada penggunaan aspal Pen 60/70. Nilai yang ditunjukkan pada kondisi kadar aspal 6% adalah sebesar 15,39% pada penggunaan Starbit E-55 dan sebesar 15,30% pada penggunaan Pen 60/70.

Berdasarkan Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 dapat disimpulkan bahwa nilai *VMA* pada setiap jenis aspal akan terus meningkat seiring dengan adanya penambahan kadar aspal yang digunakan. Hal ini dikarenakan 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* pada penggunaan aspal Starbit E-55 cenderung lebih tinggi jika dibandingkan penggunaan aspal Pen 60/70, hal ini dimungkinkan karena aspal Starbit E-55 memberikan dampak berupa besarnya nilai *VITM* pada campuran perkerasan sehingga seiring dengan bertambahnya kadar aspal maka *VMA* pada

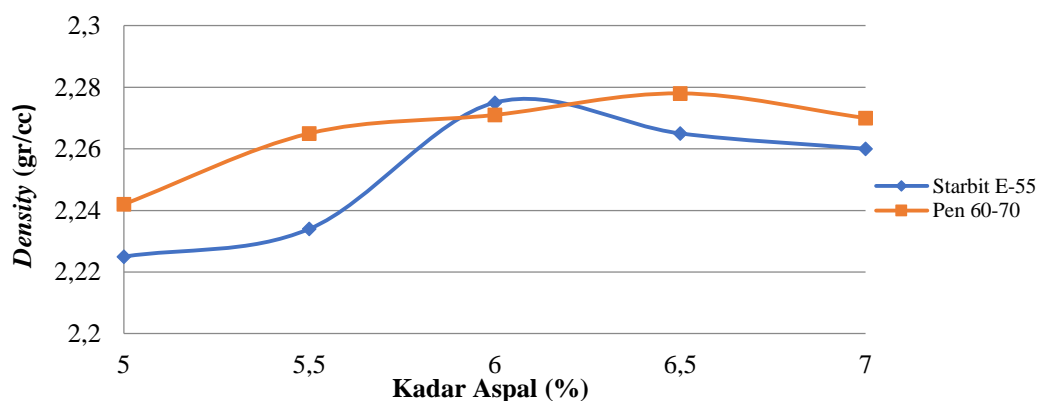
campuran tersebut akan meningkat. Tingginya nilai *VMA* pada penggunaan aspal Starbit E-55 dibandingkan aspal Pen 60/70 ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yulienda dan Fauziah (2017).

#### 4. Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* merupakan nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan campuran agregat aspal. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *density* untuk campuran *Superpave* dan *AC-WC* pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.11** dan **Gambar 5.12** berikut ini.



**Gambar 5. 11** Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density* Pada Campuran *Superpave*



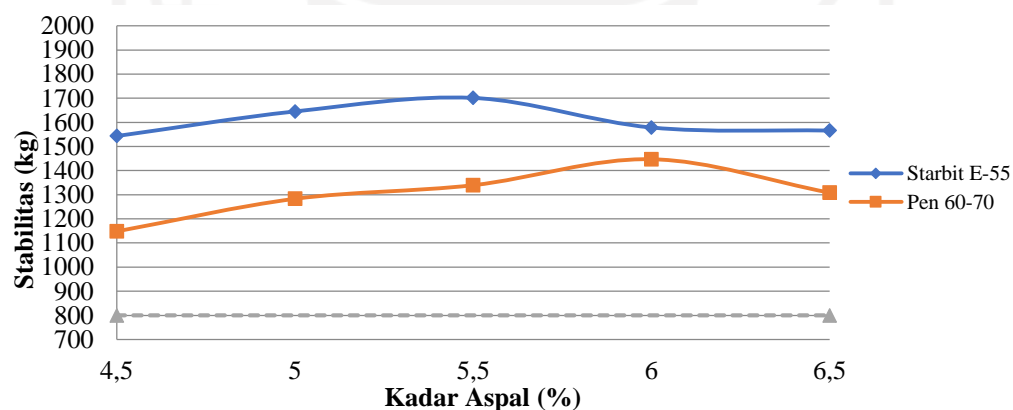
**Gambar 5. 12** Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density* Pada Campuran *AC-WC*

Berdasarkan Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 jika diperhatikan pada campuran bergradasi *AC-WC*, khususnya yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki tingkat kenaikan yang sangat dominan yaitu dimulai dari kadar 5,5%

hingga 6,2%. Hal ini membuktikan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 mampu memberikan dampak berupa kepadatan yang disebabkan oleh faktor nilai kekakuannya sehingga pada jumlah kadar aspal yang tepat, aspal dapat mengisi rongga dan memberikan peningkatan tingkat kepadatan yang secara maksimal.

#### 5. Stabilitas (*Stability*)

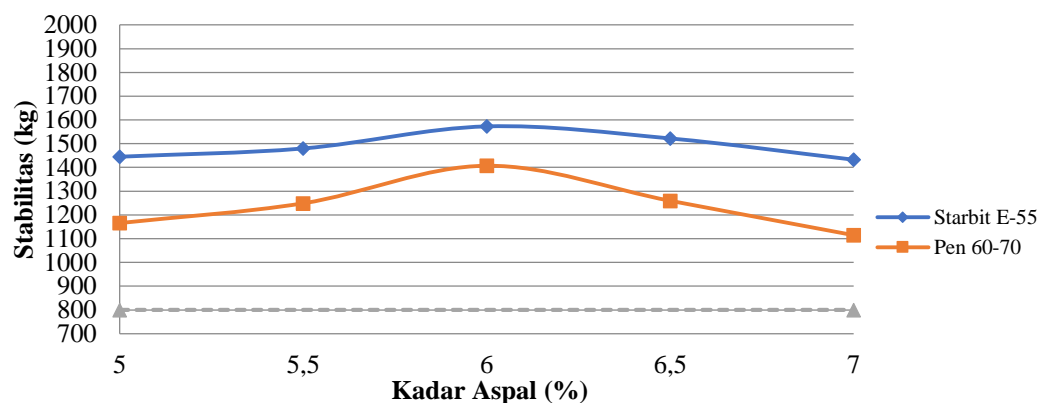
Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas tanpa mengalami deformasi permanen seperti gelombang dan alur (*rutting*). Nilai stabilitas sangat bergantung dari kemampuan campuran dalam mengadakan kuncian (*interlocking*) dan gaya gesek (*friction*). Nilai yang diperoleh ini akan menunjukkan kekuatan struktural suatu campuran aspal yang dipengaruhi oleh kandungan aspal, susunan gradasi, dan kualitas agregat dalam campuran. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas untuk campuran *Superpave* dan AC-WC pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.13** dan **Gambar 5.14** berikut ini.



**Gambar 5. 13 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.13, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 terus meningkat dimulai pada kadar 4,5% dan mencapai puncaknya pada kadar 5,5%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya, sedangkan pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 nilai stabilitas terus menaik mulai pada kadar 4,5% dan mencapai puncaknya di kadar 6%, kemudian terus menurun pada penambahan kadar aspal 6,5%. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa

campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 4,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 800 kg.



**Gambar 5. 14 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas Pada Campuran AC-WC**

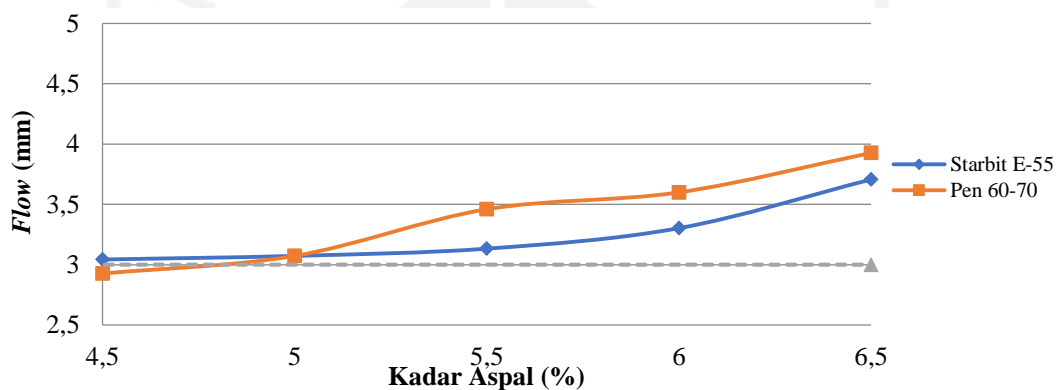
Pada Gambar 5.14, dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 maupun Pen 60/70 akan terus meningkat dimulai pada penggunaan kadar 5% dan mencapai puncaknya pada kadar 6%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 4,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 800 kg.

Berdasarkan Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai yang relatif lebih tinggi jika dibandingkan penggunaan aspal Pen 60/70. Tingginya nilai stabilitas yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dikarenakan aspal tersebut akan memberikan sifat kekerasan yang lebih disetiap jenis campurannya baik itu yang menggunakan gradasi *Superpave* ataupun AC-WC. Hal ini dapat dilihat pada tingginya nilai penetrasi pada aspal Starbit E-55. Selaras dengan penelitian yang dilakukan Intari, dkk (2018), dalam penelitiannya menjelaskan bahwa aspal Starbit E-55 memiliki kecenderungan untuk menghasilkan beton aspal dengan nilai stabilitas yang lebih tinggi dari batas minimum yang disyaratkan. Hal ini dikarenakan beton aspal dengan modifikasi polimer dapat meningkatkan

stabilitas dan kekuatan beton beraspal serta meningkatkan ketahanan lelah (*fatigue*) campuran beraspal. Faisal, dkk (2018) juga menegaskan bahwa berdasarkan hasil dari analisis perbandingan campuran, hasil menunjukkan campuran Starbit E-55 mempunyai nilai stabilitas terbaik dan digunakan untuk aplikasi di lapangan.

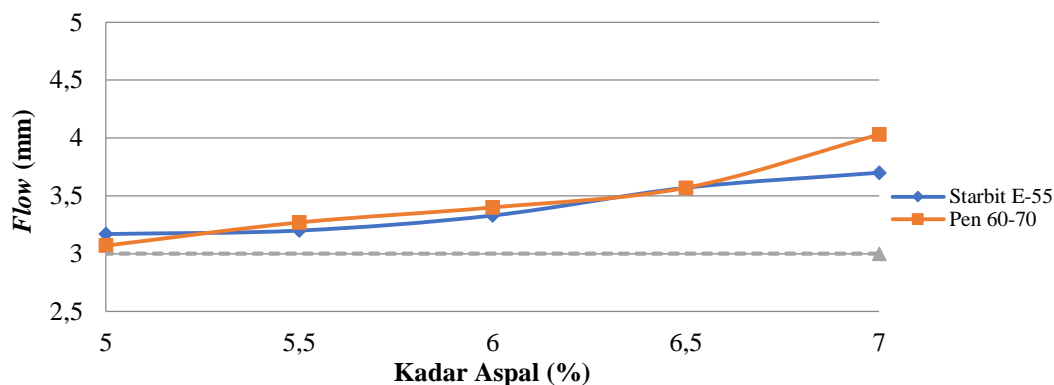
#### 6. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan adalah perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Grafik hasil perbandingan nilai *flow* untuk campuran *Superpave* dan *AC-WC* pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5. 15** dan **Gambar 5.16** berikut ini.



**Gambar 5. 15 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow* Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.15, dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 pada kadar 4,5% sampai 6,5% dan yang berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 4,9% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 2-4 mm. Pada Kadar 5% dapat diketahui bahwa nilai *flow* diantara kedua jenis bahan ikat yang digunakan berada di tren kenaikan yang sama yaitu dengan rerata nilai *flow* sebesar 2,07%, sehingga tidak tampak perbedaan dikeduanya.



**Gambar 5. 16 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Flow* Pada Campuran AC-WC**

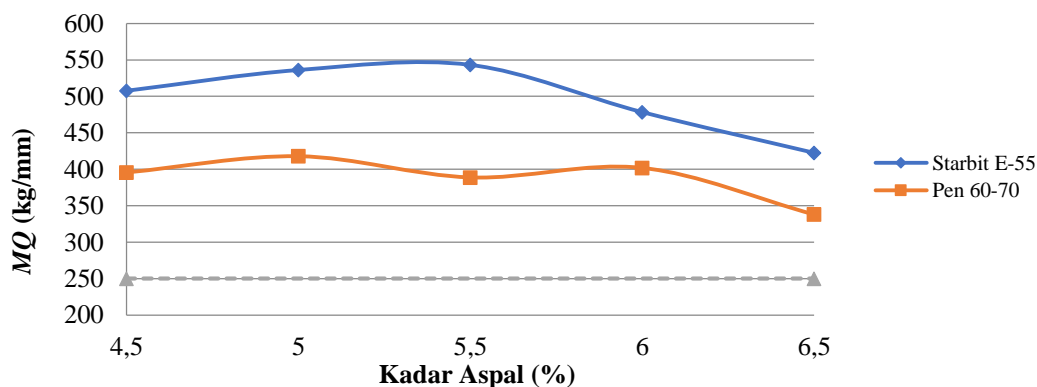
Pada Gambar 5.16, dapat dilihat bahwa campuran AC-WC yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 5% sampai 7% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 2-4 mm. Pada Kadar 6,5% dapat diketahui bahwa nilai *flow* diantara kedua jenis bahan ikat yang digunakan berada di tren kenaikan yang sama yaitu dengan rerata nilai *flow* sebesar 3,57%, sehingga tidak tampak perbedaan dikeduanya.

Berdasarkan Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 diketahui bahwa nilai *flow* akan terus meningkat seiring dengan adanya penambahan kadar aspal yang dilakukan. Peningkatan nilai *flow* ini merupakan dampak dari meningkatnya tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi dan mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (deformasi plastis). Jika diperhatikan, penggunaan aspal Pen 60/70 disetiap jenis campurannya memiliki nilai *flow* yang dominan lebih tinggi. Dominannya nilai *flow* dikarenakan aspal Pen 60/70 memiliki nilai penetrasi yang lebih tinggi (Arkan dan Subarkah, 2018) dan memiliki nilai titik lembek yang rendah. Sehingga dengan kedua parameter tersebut dapat diketahui bahwa penggunaan bahan ikat Pen 60/70 memiliki kepekaan yang lebih terhadap temperatur jika dibandingkan dengan Starbit E-55.

#### 7. *Marshall Quotient (MQ)*

*Marshall Quotient (MQ)* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan (fleksibilitas) dari campuran agregat aspal, semakin besar nilai *MQ* maka campuran tersebut akan semakin kaku, dan

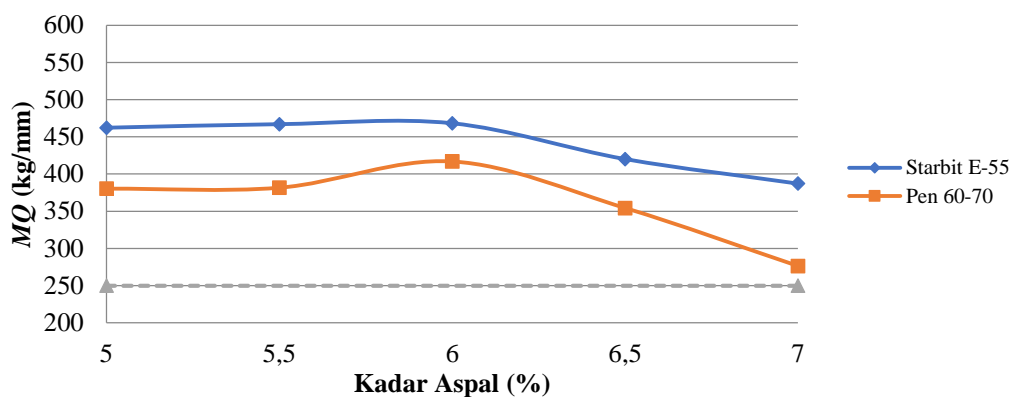
sebaliknya bila nilai  $MQ$  kecil maka campuran tersebut akan semakin lentur. Hasil perbandingan nilai  $MQ$  untuk campuran *Superpave* dan *AC-WC* pada berbagai jenis bahan ikat dapat dilihat pada **Gambar 5.17** dan **Gambar 5.18** berikut ini.



**Gambar 5. 17 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai  $MQ$  Pada Campuran *Superpave***

Pada Gambar 5.17, dapat dilihat bahwa nilai  $MQ$  pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 akan terus meningkat dimulai pada penggunaan kadar 4,5% dan mencapai puncaknya pada kadar 5,5%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya. Pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 nilai stabilitas terus menaik mulai pada kadar 4,5% dan mencapai puncaknya pada kadar 5%, kemudian menurun pada kadar selanjutnya. Namun pada kadar 6% terlihat mengalami kenaikan kembali dan akhirnya menurun seperti tren mulanya. Peristiwa kenaikan atau penurunan nilai  $MQ$  berkaitan dengan perbandingan nilai stabilitas dan nilai flow yang didapatkan sebelumnya, hal ini disebabkan oleh adanya distribusi agregat yang tidak merata serta turunnya temperatur aspal saat proses pemadatan campuran perkerasan. Secara keseluruhan, dapat disimpulkan bahwa campuran *Superpave* yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 4,5% sampai 6,5% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 250 kg/mm.





**Gambar 5. 18 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai  $MQ$  Pada Campuran AC-WC**

Pada Gambar 5.18, dapat dilihat bahwa nilai  $MQ$  pada campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 maupun Pen 60/70 akan terus meningkat dimulai pada penggunaan kadar 5% dan mencapai puncaknya pada kadar 6%, kemudian menurun pada penambahan kadar aspal berikutnya hingga pada kadar 7%. Secara keseluruhan, dapat dilihat bahwa campuran AC-WC yang berbahan ikat Starbit E-55 dan berbahan ikat Pen 60/70 pada kadar 5 sampai 7% telah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar 250 kg/mm.

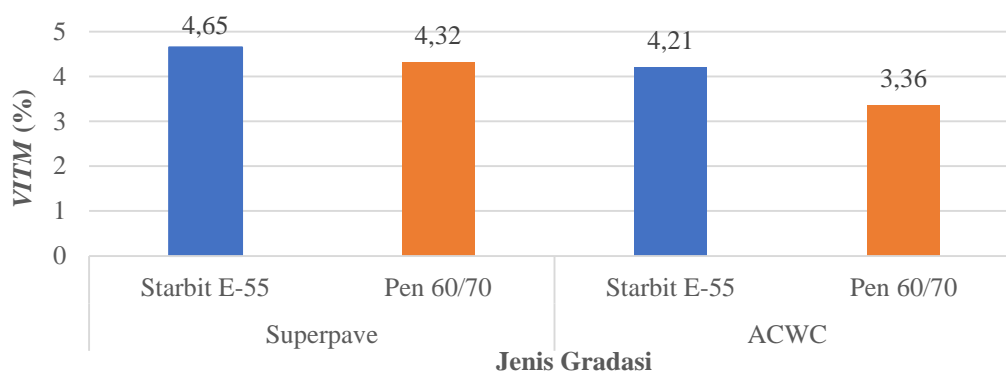
Berdasarkan Gambar 5.17 dan Gambar 5.18 dapat dilihat bahwa pengaruh perbandingan campuran perkerasan yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 seiring dengan adanya peningkatan kadar aspal maka nilai  $MQ$  pada campuran tersebut akan semakin menurun. Penurunan ini terjadi karena semakin tinggi kadar aspal, maka akan menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang secara langsung akan berdampak pada semakin tingginya fleksibilitas suatu campuran. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai  $MQ$  akan cenderung lebih besar dan bersifat kaku (Subarkah, 2008).

### 5.2.5 Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 pada KAO

Tinjauan pengaruh jenis gradasi *Superpave* dan AC-WC yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 terhadap karakteristik *Marshall Standard* adalah sebagai berikut.

1. *Void In Total Mix (VITM)*

Grafik perbandingan antara nilai *VITM* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5.19** berikut ini.



**Gambar 5. 19 Grafik Perbandingan Nilai *VITM* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

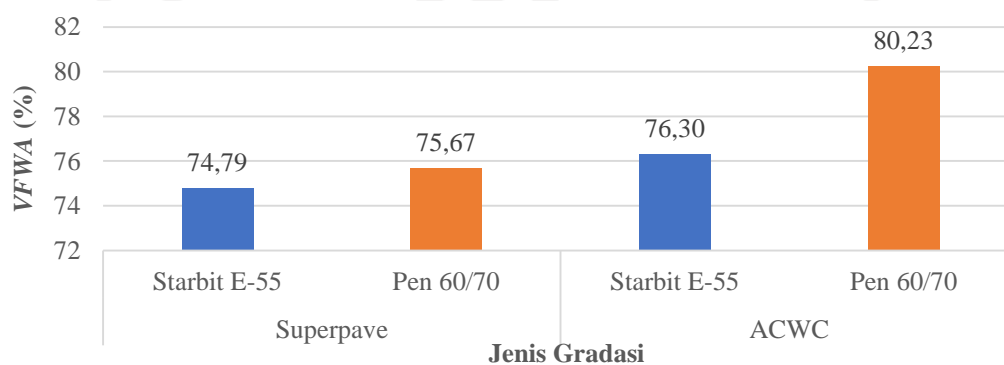
Pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa jenis campuran *Superpave* memiliki dominasi nilai *VITM* yang signifikan lebih tinggi. Dominasi nilai *VITM* pada campuran *Superpave* adalah sebesar 10,45% untuk berbahan ikat Starbit E-55 dan 28,57% untuk berbahan ikat Pen 60/70. Dominasi ini disebabkan oleh adanya zona gradasi larangan pada penentuan ukuran penggunaan agregat dan proporsinya, sehingga hal ini akan memberikan dampak berupa *void* yang lebih besar pada campuran yang menggunakan tipe gradasi *Superpave* jika dibandingkan dengan tipe gradasi *AC-WC*. Al-Khateeb, dkk (2017) dalam penelitiannya juga menjelaskan bahwa zona gradasi larangan pada campuran *Superpave* akan memberikan peran berupa volume rongga yang lebih besar, dengan harapan agar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga tersebut secara maksimal. Selain disebabkan oleh faktor zona larangan, besarnya nilai *VITM* campuran *Superpave* pada penelitian ini berkemungkinan juga disebabkan oleh penerapan pemadatan campuran yang menggunakan prosedur *Marshall*, sedangkan jika ingin mendapatkan performa yang maksimal pada campuran *Superpave* maka disarankan untuk menggunakan prosedur *Gyratory*. Perbandingan nilai *VITM* akibat proses pemadatan yang berbeda telah dijelaskan oleh Kamba (2013), pada penelitiannya didapatkan hasil

bahwa pemadatan menggunakan *Gyratory* menunjukkan nilai *VITM* dan *VMA* yang lebih rendah dibandingkan *Marshall*. Hal ini menunjukkan bahwa kondisi agregat hasil pemadatan *Gyratory* lebih padat dibandingkan hasil pemadatan *Marshall*.

Berdasarkan Gambar 5.19, diketahui bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang relatif lebih besar secara signifikan dibandingkan penggunaan bahan ikat Pen 60/70. Besarnya nilai *VITM* pada aspal Starbit E-55 merupakan pengaruh dari rendahnya nilai viskositas pada aspal sehingga kinerja aspal dalam mengisi rongga perkerasan tidak sebaik Pen 60/70. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Subarkah dan Romadhona (2015), didapatkan hasil nilai *VITM* sebesar 3,745% untuk Starbit E-55 dan sebesar 3,504% untuk Pen 60/70 sehingga disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang lebih tinggi apabila dibandingkan dengan nilai *VITM* pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70.

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

Grafik perbandingan nilai *VFWA* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5.20** berikut ini.



**Gambar 5. 20 Grafik Perbandingan Nilai *VFWA* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

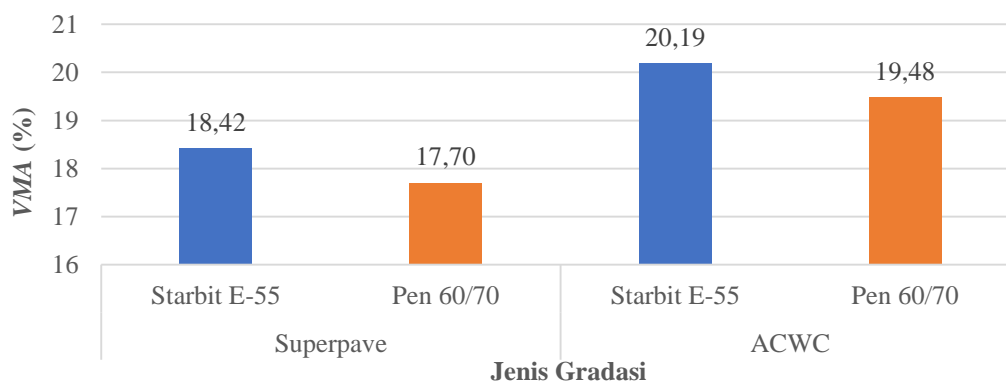
Berdasarkan Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa jenis campuran *AC-WC* memiliki nilai *VFWA* yang signifikan lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran bergradasi *AC-WC*, yaitu dengan didapatkannya perbandingan tinggi

persentasi nilai pada campuran AC-WC sebesar 6,03% untuk penggunaan aspal Pen 60/70 dan 2,02% untuk penggunaan bahan ikat Starbit E-55. Tingginya perbandingan nilai VFWA pada campuran AC-WC dikarenakan campuran AC-WC memiliki dominasi penggunaan agregat halus sebesar 61% dari total proporsi keseluruhan jenis agregat, sedangkan campuran *Superpave* hanya menggunakan agregat halus sebesar 51% dari total proporsi keseluruhan jenis agregat. Berdasarkan hal tersebut maka rongga campuran perkerasan yang menggunakan jenis gradasi AC-WC akan memiliki kesempatan yang lebih tinggi untuk keterisian aspal secara keseluruhan. Baskara (2019) pada penelitiannya juga menjelaskan hal yang sama, yaitu dengan adanya penggunaan proporsi agregat halus yang lebih dominan pada campuran perkerasan maka rongga perkerasan yang terbentuk akan lebih kecil karena telah diisi oleh aspal secara maksimal.

Pada Gambar 5.20 juga dapat dilihat bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 memiliki nilai VFWA yang relatif lebih tinggi namun tidak signifikan apabila dibandingkan dengan campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55. Nilai VFWA yang tinggi pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70 dikarenakan aspal tersebut memiliki nilai *Penetration Index* (PI) yang lebih rendah yaitu -1,176 sedangkan Starbit E-55 memiliki nilai 0,169. Hasil pada penelitian ini selaras dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Pangaraya (2015), Yusuf dan Fauziah (2018) serta Hadi dan Fauziah (2019). Tingginya nilai VFWA pada campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 mengidentifikasi bahwa aspal tersebut sangat peka terhadap perubahan suhu sehingga akan lebih mudah untuk mengisi rongga pada campuran perkerasan. (Hadi dan Fauziah, 2019).

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

Grafik perbandingan nilai VMA pada campuran *Superpave* dengan AC-WC yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 21** berikut ini.



**Gambar 5. 21 Grafik Perbandingan Nilai VMA Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

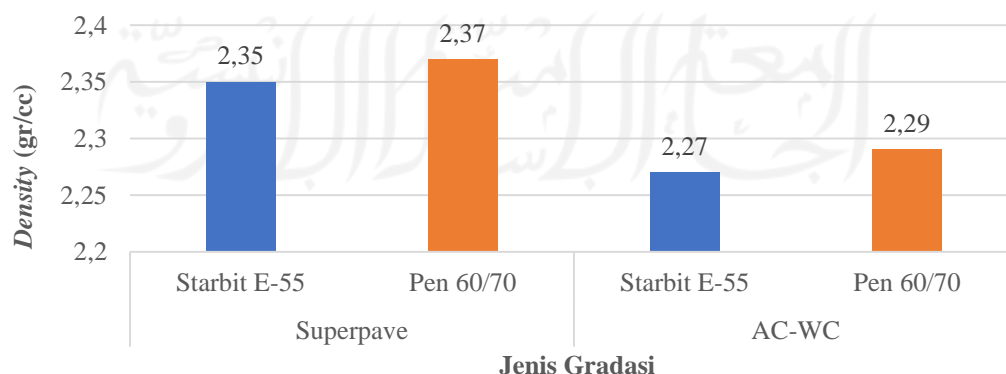
Gambar 5.21 menjelaskan bahwa campuran AC-WC memiliki nilai VMA yang cenderung lebih tinggi, yaitu dengan persentasi nilai pada penggunaan bahan ikat Starbit E-55 sebesar 9,61% dan pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70 sebesar 10%. Tingginya nilai VMA merupakan hasil dari korelasi antara tingginya nilai VFWA yang didapat dan relatif rendahnya nilai VITM yang ada. VMA memperlihatkan jarak antara agregat pada kondisi tertentu. Semakin besar nilai VMA maka menunjukkan keregangannya antar butir agregat. Hal ini dapat disebabkan oleh dua hal, yaitu makin besarnya nilai pori campuran atau makin tebalnya selimutan aspal pada agregat. Subarkah (2008). Sesuai dengan pernyataan Al-Khateeb, dkk (2017) campuran *Superpave* akan memberikan volume rongga yang lebih besar, dengan harapan agar aspal yang digunakan dapat mengisi rongga secara maksimal. Sehingga dapat diketahui bahwa pada penggunaan gradasi *Superpave*, kadar aspal masih memungkinkan untuk ditambah karena ruang yang tersedia untuk menampung aspal sehingga campuran perkerasan akan menjadi lebih baik dari saat ini. Baskara (2019) juga menjelaskan, semakin meningkatnya kadar aspal, maka nilai VMA akan cenderung mengalami penurunan hingga mencapai titik minimum dan akan meningkat kembali sesuai penambahan kadar aspal yang lebih tinggi. Hal ini dikarenakan aspal akan memenuhi rongga antar agregat tersebut hingga rongga sudah tidak dapat diisi oleh aspal, dalam hal ini nilai VMA akan menjadi minimum.

Apabila dilihat dari pengaruh penggunaan aspal pada campuran, campuran perkerasan yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai VMA yang

cenderung signifikan lebih tinggi. Hal ini merupakan dampak dari sifat aspal yang dirujuk pada nilai *penetration index* nya yang masuk kedalam kriteria kepekaan rendah terhadap temperatur apabila dibandingkan dengan aspal Pen 60/70. Mengenai tinggi nilai *VMA* pada aspal Starbit E-55, Nugroho dan Subarkah (2018) menjelaskan bahwa tingginya nilai *VMA* pada campuran perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-55 dikarenakan aspal memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan memiliki nilai titik lembek yang lebih tinggi, sehingga pada proses pencampuran aspal lebih sulit dalam mengisi rongga antar butiran agregat dan mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil. Berbeda dengan hasil yang disimpulkan oleh Subarkah, dkk (2020) dalam penelitiannya tidak ditemukan perbedaan secara signifikan antara nilai *VMA* aspal Starbit E-60 dan Pen 60/70, namun secara karakteristik nilai *VMA* pada aspal Starbit E-60 sedikit lebih tinggi. Perbedaan signifikansi pada penelitian saat ini dengan penelitian Subarkah, dkk (2020) dimungkinkan dari adanya perbedaan nilai penetrasi dan nilai titik lembek. Pada penelitian saat ini didapatkan nilai penetrasi sebesar 55,8 mm sedangkan penelitian pembanding sebesar 62,3 mm, dan nilai titik lembek sebesar 54°C pada penelitian saat ini serta sebesar 48°C pada penelitian pembanding.

#### 4. Kepadatan (*Density*)

Grafik perbandingan nilai *density* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 22** berikut ini.



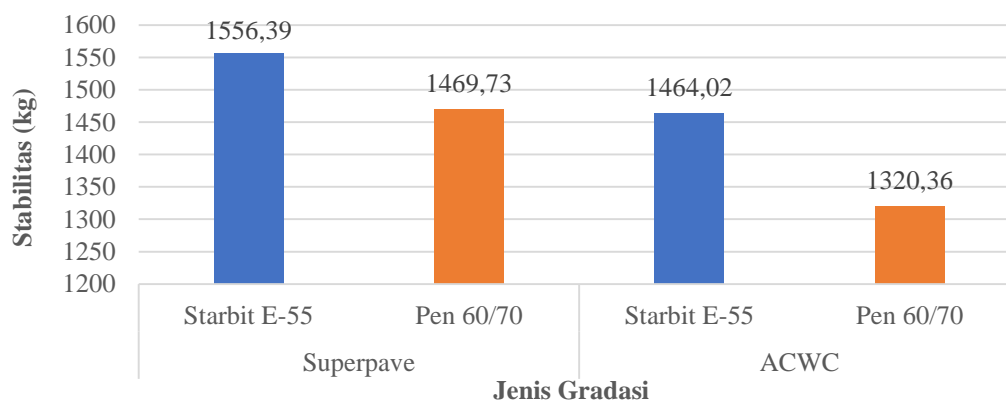
**Gambar 5. 22** Grafik Perbandingan Nilai *Density* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

Gambar 5.22 menunjukkan bahwa jenis campuran *Superpave* memiliki nilai *density* yang dominan lebih tinggi, yaitu 3,52% pada penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dan 3,49% pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70 apabila dibandingkan dengan jenis campuran AC-WC dan pada proses analisis statistik perbedaan nilai tersebut masuk kedalam kategori berbeda secara signifikan. Menurut Zumwari dan Edress (2019), tingginya nilai *density* pada perkerasan *Superpave* akan menimbulkan kekedapan campuran terhadap udara dan air, sehingga akan sulit teroksidasi dan sangat tepat untuk diterapkan didaerah dengan lingkungan beriklim ekstrim. Hadi dan Fauziah (2019) telah menyimpulkan bahwa perkerasan yang menggunakan jenis gradasi *Superpave* baik itu dengan bahan ikat Starbit E-55 ataupun Pen 60/70 masuk kedalam kategori drainase buruk atau relatif kedap air berdasarkan pengujian permeabilitas dengan hasil nilai koefisien 0,000344 cm/dt untuk *Superpave* berbahan ikat Starbit E-55 dan 0,000624 cm/dt untuk *Superpave* berbahan ikat Pen 60/70.

Pada perbandingan penggunaan bahan ikat, dapat diketahui bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 akan menghasilkan nilai kepadatan (*density*) yang secara signifikan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan penggunaan bahan ikat Starbit E-55. Nilai *density* pada aspal Pen 60/70 membuktikan bahwa aspal memiliki sifat yang lebih mudah mencair sehingga penggunaan aspal ini akan memberikan dampak berupa terbentuknya perkerasan yang lebih padat, hal ini juga dapat dilihat dari tingginya nilai *VFWA* dan rendahnya nilai *VITM* pada campuran berbahan ikat Pen 60/70. Menurut Nugroho dan Subarkah (2018), sifat aspal Pen 60/70 yang mudah mencair disebabkan oleh nilai viskositas yang dimiliki jenis aspal tersebut relatif lebih tinggi. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Yulienda dan Fauziah (2017), didalam penelitiannya diketahui bahwa nilai kepadatan (*density*) pada campuran berbahan ikat Pen 60/70 secara signifikan lebih tinggi jika dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Starbit E-55 yang dikarenakan oleh sifat aspal Pen 60/70 yang lebih cair.

## 5. Stabilitas

Grafik perbandingan nilai stabilitas pada campuran *Superpave* dengan AC-WC yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 23** berikut ini.



**Gambar 5. 23 Grafik Perbandingan Nilai Stabilitas Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 secara signifikan lebih tinggi jika dibandingkan dengan berbahan ikat Pen 60/70. Signifikasinya tingginya nilai stabilitas pada aspal Starbit E-55 disebabkan oleh adanya perbedaan nilai penetrasi pada aspal Starbit E-55 yaitu sebesar 55,8 mm dan pada aspal Pen 60/70 sebesar 61,5 mm. Perbedaan nilai penetrasi yang signifikan inilah yang memberikan sifat kekerasan yang lebih unggul pada perkerasan berbahan ikat Starbit E-55, sehingga nilai stabilitas pada perkerasan tersebut menjadi lebih tinggi. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dan Handaka (2017), tingginya nilai stabilitas pada campuran berbahan ikat Starbit E-55 dikarenakan aspal Starbit E-55 memiliki nilai penetrasi yang relatif lebih rendah yaitu sebesar 62,7 mm sedangkan pada aspal Pen 60/70 didapatkan nilai sebesar 68,8 mm, sehingga penggunaan aspal Starbit E-55 memberikan pengaruh terhadap sifat kekerasan yang lebih pada campuran. Faroz dan Herman (2017) juga telah membuktikan bahwa penggunaan aspal berbasis polimer akan memberikan kontribusi berupa peningkatan sifat kekerasan dan ketahanan perkerasan terhadap

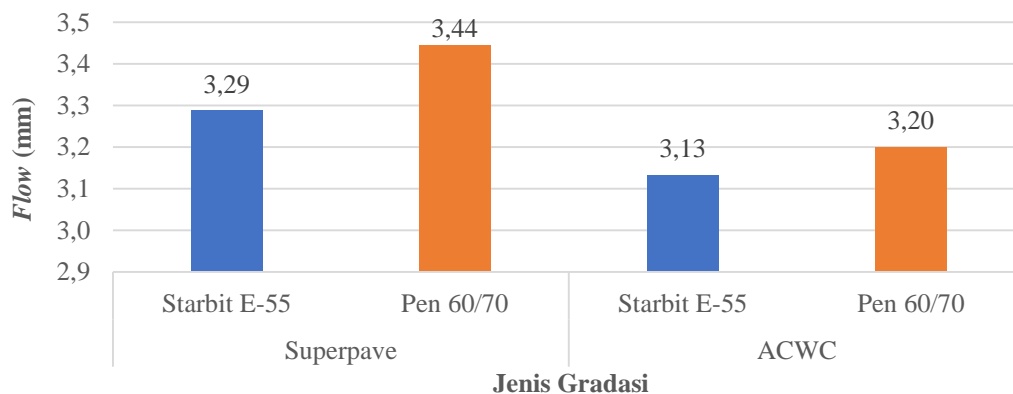


deformasi alur (*rutting*) sehingga sangat cocok diterapkan pada jalan beriklim ekstrim dan bervolume kendaraan yang tinggi.

Pada Gambar 5.23 perbandingan berdasarkan tipe gradasi campuran, dapat dilihat bahwa campuran *Superpave* juga memiliki nilai stabilitas yang secara signifikan lebih tinggi dibandingkan campuran *AC-WC*, yaitu dengan tingginya persentasi nilai stabilitas sebesar 6,31% untuk penggunaan aspal Starbit E-55 dan 11,31% untuk penggunaan aspal Pen 60/70. Hal ini dikarenakan salah satu keunggulan dari tipe gradasi *Superpave* yaitu kemampuan *interlocking* antara agregat dan aspal. Pada *Strategic Highway Research Program (SHRP)* telah dijelaskan bahwa tipe gradasi ini memiliki zona larangan gradasi. Zona ini dimaksudkan untuk memberikan kesempatan aspal untuk mengisi campuran perkerasan dan memungkinkan untuk meningkatkan kemampuan *interlocking* pada komponen campuran. Mengenai kemampuan *interlocking*, Purbanto dan Mataram (2015) menyebutkan bahwa penggunaan kadar aspal yang cukup tinggi pada suatu campuran perkerasan akan membuat kinerja aspal menjadi kurang efektif dalam menyelimuti agregat. Semakin tebal selimut aspal, sifat saling kunci antar agregat menjadi semakin berkurang. Pada penelitian ini diketahui bahwa kadar aspal yang digunakan pada campuran *AC-WC* lebih tinggi jika dibandingkan penggunaan kadar pada campuran *Superpave*, yaitu 6% dan 6,1% pada campuran *Superpave* berbahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 serta 6,1% dan 6,2% pada campuran *AC-WC* berbahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70, sehingga berdasarkan kajian dari segi penggunaan kadar aspal tersebut tentu campuran *Superpave* akan memberikan kemampuan *interlocking* yang lebih baik.

#### 6. *Flow*

Grafik perbandingan nilai *flow* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 24** berikut ini.



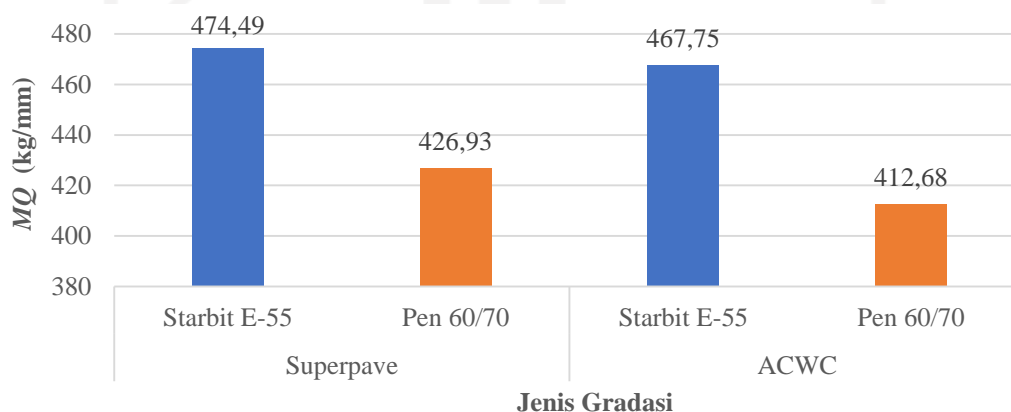
**Gambar 5. 24 Grafik Perbandingan Nilai *Flow* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Pada Gambar 5.24 dapat diketahui bahwa nilai *flow* yang dimiliki jenis campuran *Superpave* signifikan lebih tinggi apabila dibandingkan dengan campuran *AC-WC*. Perbandingan tinggi nilai *flow* pada campuran *Superpave* adalah sebesar 5,11% untuk penggunaan aspal Starbit E-55 dan 7,5% untuk penggunaan aspal Pen 60/70. Signifikannya nilai *flow* disebabkan oleh porsi penggunaan agregat kasar yang lebih dominan yaitu 49% pada *Superpave* sedangkan *AC-WC* hanya 39%. Metasari, dkk (2018) menjelaskan pada penelitiannya bahwa campuran beton aspal yang menggunakan dominan agregat kasar (di bawah *restricted zone*) akan menghasilkan nilai *flow* yang lebih tinggi jika dibandingkan campuran berton aspal yang menggunakan dominan agregat halus (di atas *restricted zone*). Selain faktor dominasi penggunaan dominasi agregat, tingginya nilai *flow* campuran *Superpave* juga diakibatkan oleh adanya faktor pendukung berupa zona larangan yang memungkinkan adanya kemudahan aspal untuk memasuki rongga antar butiran agregat pada campuran *Superpave*. Menurut Widajat dan Nono (2011), gradasi *Superpave* dapat dikategorikan masuk pada jenis gradasi senjang (*gap graded*) karena kondisi gradasi agregat yang mempunyai ukuran butir pada suatu bagian fraksi jumlahnya sedikit atau dibatasi. Namun gradasi ini tidak berbentuk amplop, tetapi berdasarkan titik kontrol yang merupakan batas yang diizinkan pada ukuran butir ayakan. Sehingga variasi target gradasi ini dapat dibuat lebih banyak yang berguna untuk memperbaiki tingkat pelayanan lapis perkerasan jalan.

Pada Gambar 5.24 juga dapat diketahui bahwa nilai *flow* pada campuran berbahan ikat Pen 60/70 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Starbit E-55. Nilai *flow* yang lebih tinggi pada aspal Pen 60/70 disebabkan oleh perbedaan nilai titik lembek pada kedua jenis bahan ikat, yaitu pada aspal Starbit E-55 sebesar 54°C dan aspal Pen 60/70 sebesar 48°C. Berdasarkan nilai titik lembek inilah didapatkan hasil bahwa aspal Pen 60/70 memiliki kepekaan yang lebih terhadap temperatur. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Javid (2016), peneliti tersebut menjelaskan bahwa aspal modifikasi polimer akan menurunkan sifat aspal yaitu berupa pengurangan kerentanan terhadap suhu. Nugroho dan Subarkah (2018) juga menjelaskan bahwa aspal Pen 60/70 lebih peka terhadap suhu jika dibandingkan dengan aspal Starbit E-55. Selain itu, nilai viskositas aspal Pen 60/70 lebih tinggi dibanding aspal Starbit E-55, dengan arti lain, aspal Pen 60/70 memiliki kemudahan dalam mengalir pada rongga campuran.

#### 7. *Marshall Quotient (MQ)*

Grafik perbandingan nilai *Marshall Quotient (MQ)* pada campuran *Superpave* dengan AC-WC yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 25** berikut ini.



**Gambar 5. 25** Grafik Perbandingan Nilai *MQ* Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

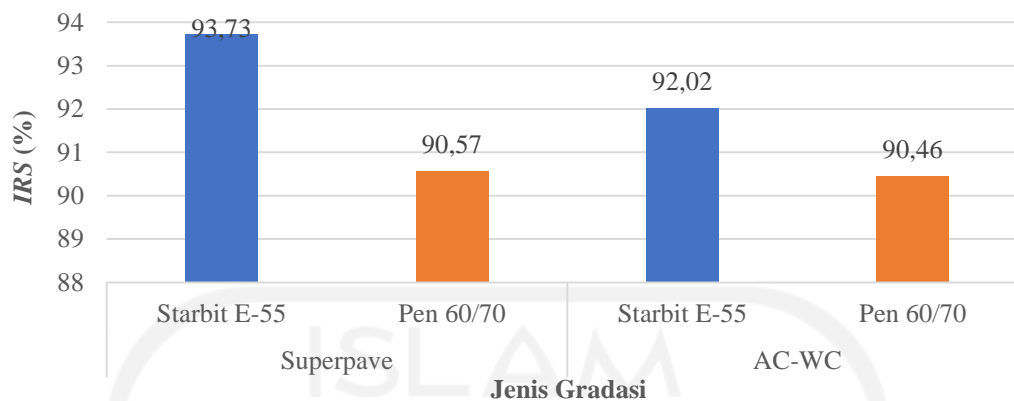
Gambar 5.25 menunjukkan tingginya nilai *MQ* pada campuran *Superpave*, namun tidak terlalu signifikan. Jenis campuran *Superpave* memiliki nilai *MQ* yang

cederung lebih tinggi, yaitu 1,44% pada penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dan 3,45% pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70 jika dibandingkan dengan jenis campuran AC-WC. Tingginya nilai  $MQ$  menggambarkan bahwa gradasi *Superpave* memungkinkan aspal untuk masuk dan mengikat agregat agar lebih mampu mempertahankan posisinya dibandingkan gradasi AC-WC, sehingga campuran perkerasan tidak akan mudah berdeformasi ketika menerima beban.

Berbeda dengan perbandingan jenis campuran, pada perbandingan penggunaan bahan ikat dapat dilihat bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai  $MQ$  yang lebih tinggi secara signifikan jika dibandingkan dengan penggunaan bahan ikat Pen 60/70. Nilai  $MQ$  yang tinggi pada aspal Stabit E-55 dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah nilai  $Smix$ . Pada campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 didapatkan nilai  $Smix$  sebesar 1357,11 MPa pada *Superpave* dan 980,57 MPa AC-WC sedangkan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 didapatkan nilai  $Smix$  sebesar 1332,87 MPa pada *Superpave* dan 939,03 MPa pada AC-WC. Nilai  $Smix$  yang tinggi pada penggunaan aspal Starbit E-55 menggambarkan kekakuan campuran perkerasan yang lebih dominan jika dibandingkan aspal Pen 60/70. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Pangaraya (2015), penggunaan aspal Starbit E-55 akan memberikan nilai  $MQ$  yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan penggunaan aspal Pen 60/70. Pebandingan nilai pada penelitian tersebut yaitu didapatkannya hasil nilai  $MQ$  sebesar 612 kg/mm pada penggunaan aspal Starbit E-55 dan sebesar 534 kg/mm pada penggunaan aspal Pen 60/70. Nugraha dan Subarkah (2019) dalam penggunaan jenis bahan ikat Starbit E-60, juga telah menjelaskan bahwa aspal Starbit E-60 memiliki sifat yang lebih getas dan lebih kaku daripada aspal Pen 60/70.

### **5.2.5 Perbandingan Nilai *Index Retained Strenght* Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Grafik perbandingan nilai  $IRS$  pada campuran *Superpave* dengan AC-WC yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 26** berikut ini.



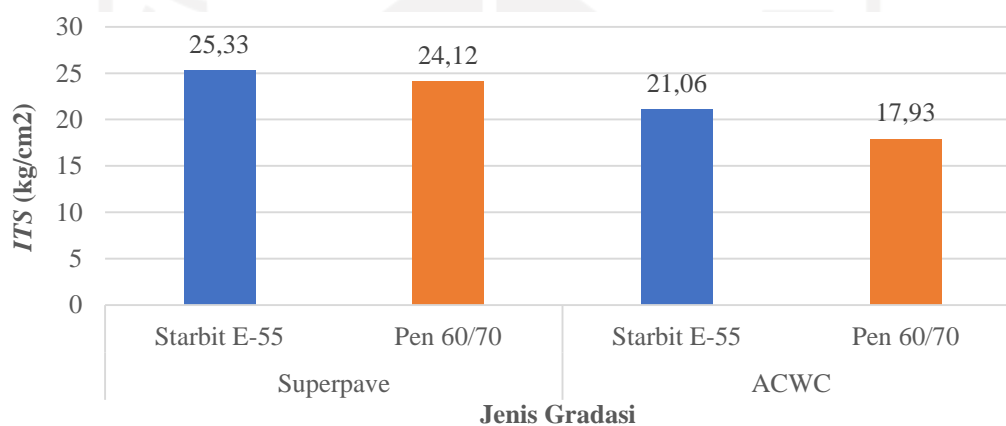
**Gambar 5. 26 Grafik Perbandingan Nilai *IRS* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Berdasarkan hasil penelitian yang disajikan pada Gambar 5.26 dapat dilihat bahwa nilai *IRS* pada campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan berbahan ikat Pen 60/70 namun tidak signifikan. Tingginya nilai *IRS* pada aspal Starbit E-55 merupakan dampak positif dari penggunaan pencampuran polimer pada aspal sehingga tingkat kepekaan aspal terhadap perubahan temperatur menjadi berkurang. Tingkat kepekaan temperatur inilah yang nantinya akan mempengaruhi kemampuan *durability* aspal Starbit E-55 terhadap simulasi perendaman yang akan diberikan. Hal ini sejalan dengan penelitian Fauziah dan Handaka (2017). Pada penelitiannya, campuran dengan bahan ikat aspal pen 60/70 mengalami penurunan kekuatan sampai dengan 88% setelah lama rendaman 72 jam, sedangkan campuran dengan bahan ikat Starbit hanya turun sebesar 91,9%, dengan selisih penurunan masing-masing berturut-turut sebesar 5,37% dan 2,65%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 akan memiliki sifat yang lebih tahan terhadap perendaman. Bahkan pada kajian penggunaan aspal Starbit dengan tipe penetrasi berbeda yaitu Starbit E-60, Putra dan Subarkah (2017) serta Nugroho dan Subarkah (2018) juga menyimpulkan bahwa nilai *IRS* campuran yang menggunakan aspal Starbit E-60 lebih tinggi dari pada yang menggunakan aspal Pen 60/70. Adapun untuk pengaruh perbedaan jenis campuran, diketahui bahwa campuran perkerasan yang menggunakan gradasi *Superpave* memiliki keunggulan terhadap nilai *IRS* jika dibandingkan dengan menggunakan gradasi *AC-WC*.

Keunggulan tersebut dapat terlihat dari tingginya persentasi nilai *IRS* pada campuran *Superpave* yaitu sebesar 1,86% pada penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dan sebesar 0,12% pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70, namun perbedaan nilai *IRS* pada kedua jenis campuran tidak berbeda secara signifikan.

### 5.2.6 Perbandingan Nilai *Indirect Tensile Strength* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

Grafik perbandingan nilai *ITS* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada Gambar 5. 27 berikut ini.



**Gambar 5. 27 Grafik Perbandingan Nilai *ITS* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

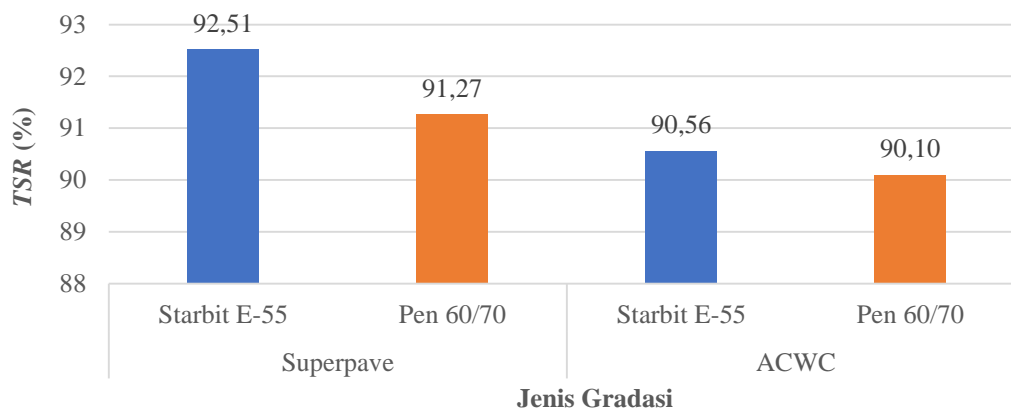
Gambar 5.27 menunjukkan bahwa jenis campuran *Superpave* memiliki nilai *ITS* yang relatif sedikit lebih tinggi, yaitu persentasi nilai *ITS* sebesar 10,78% pada penggunaan bahan ikat Starbit E-55 dan sebesar 34,53% pada penggunaan bahan ikat Pen 60/70 apabila dibandingkan dengan jenis campuran *AC-WC*. Tingginya nilai *ITS* ini menggambarkan bahwa penggunaan gradasi *Superpave* akan memberikan kemampuan lapis perkerasan untuk menahan kuat tarik yang disebabkan oleh beban kendaraan yang berefek kepada ketahanan yang lebih terhadap kerusakan berupa deformasi permanen ataupun *rutting*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Hussain dan Khan (2019). Pada penelitiannya didapatkan

kesimpulan bahwa keseluruhan sampel yang menggunakan tipe gradasi *Superpave* memiliki nilai *ITS* yang lebih unggul dibandingkan tipe jenis gradasi lainnya.

Pada Gambar 5.27 dapat diketahui bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 pada setiap campuran perkerasan akan memberikan dampak berupa tingginya nilai *ITS*. Nilai *ITS* yang tinggi pada aspal Starbit E-55 dikarenakan aspal tersebut memiliki karakteristik yang lebih lekat dibandingkan aspal Pen 60/70, namun perbedaan nilai *ITS* pada penggunaan kedua jenis aspal ini tidak memiliki perbedaan yang secara signifikan. Tingginya nilai *ITS* pada aspal Starbit E-55 ini dibuktikan dengan adanya nilai kelekatan aspal terhadap agregat sebesar 97% untuk aspal Starbit E-55 dan untuk aspal Pen 60/70 sebesar 95%. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Pangaraya (2015), peneliti tersebut mendapatkan hasil bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki keunggulan mempertahankan penurunan nilai *ITS* sebesar 3,07% dibandingkan aspal Pen 60/70. Sehingga hasilnya secara tidak langsung menunjukkan bahwa kekuatan tarik campuran Starbit E-55 lebih baik jika dibandingkan dengan campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70. Yusuf dan Fauziah (2018) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa perkerasan yang menggunakan aspal Starbit E-55 memiliki keunggulan nilai *ITS* dan memiliki ketahanan dalam mempertahankan penurunan nilai kondisi awalnya terhadap lamanya durasi perendaman air laut.

### **5.2.7 Perbandingan Nilai *Tensile Strength Ratio* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Grafik perbandingan nilai *TSR* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 28** berikut ini.



**Gambar 5. 28 Grafik Perbandingan Nilai *TSR* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

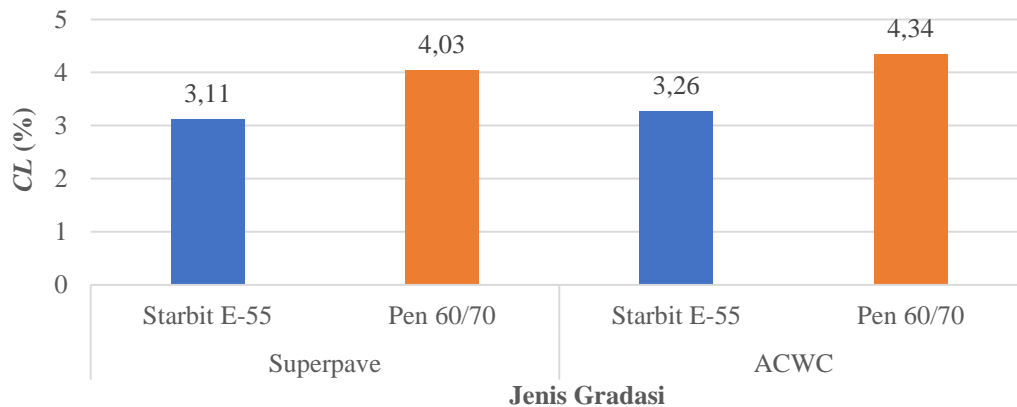
Berdasarkan Gambar 5.28 dapat disimpulkan bahwa jenis campuran *Superpave* memiliki nilai *TSR* yang relatif lebih tinggi apabila dibandingkan campuran *AC-WC*. Hal ini mengartikan bahwa penggunaan jenis gradasi *Superpave* lebih mampu mempertahankan kekuatan ikatan antar agregat dan aspal terhadap pengaruh kuat tarik yang sebelumnya telah diberikan penambahan berupa simulasi perendaman, sehingga dalam penerapannya gradasi *Superpave* akan memberikan dampak berupa keunggulan nilai *TSR* dibandingkan gradasi *AC-WC*. Keunggulan pada gradasi *Superpave* terlihat dari tingginya persentase nilai sebesar 2,15% untuk bahan ikat Starbit E-55 dan 1,3% untuk bahan ikat Pen 60/70. Menurut Hussain dan Khan (2019), penggunaan campuran *Superpave* dalam pemilihan alternatif perkerasan dapat memberikan ketahanan terhadap daya tarik yang lebih baik pada kondisi perendaman dengan suhu dan durasi tertentu.

Pada Gambar 5.28 juga dapat diketahui bahwa nilai *TSR* pada campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 lebih tinggi jika dibandingkan dengan berbahan ikat Pen 60/70 namun tidak signifikan. Tingginya nilai *TSR* tersebut mengidentifikasi bahwa bahan ikat Starbit E-55 memberikan pengaruh besar berupa keawetan perkerasan dalam mempertahankan kemampuan kuat tariknya yang disimulasikan dengan rendaman. Tingginya nilai *TSR* juga menunjukkan bahwa penggunaan aspal Starbit E-55 akan merekatkan antar agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik pada lamanya proses perendaman yang diterapkan.



### 5.2.8 Perbandingan Nilai *Cantabro Loss* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

Grafik perbandingan nilai *CL* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 29** berikut ini.



**Gambar 5. 29** Grafik Perbandingan Nilai *CL* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

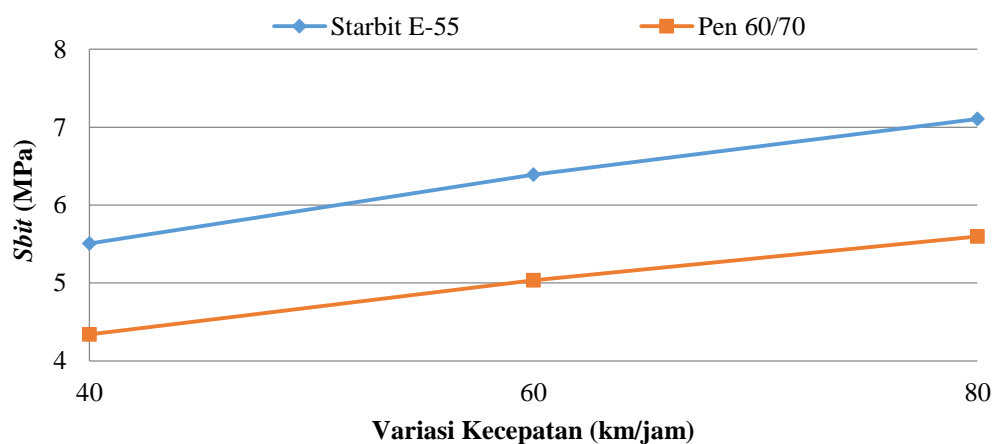
Pada Gambar 5.29 dapat diketahui bahwa jenis campuran *Superpave* memiliki nilai *CL* yang lebih dominan rendah, yaitu 4,82% untuk bahan ikat Starbit E-55 dan 7,69% untuk bahan ikat Pen 60/70 jika dibandingkan campuran *AC-WC*. Rendahnya nilai *CL* ini membuktikan bahwa penggunaan gradasi *Superpave* mampu menciptakan *interlocking* antar material yang lebih baik sehingga mampu mempertahankan kondisi awalnya terhadap efek benturan yang diterima. Kemampuan *interlocking* ini merupakan dampak dari penggunaan persentasi proporsi agregat kasar yang lebih tinggi dan persentasi proporsi agregat halus yang lebih rendah jika dibandingkan penggunaan persentasi proporsi agregat masing-masing pada campuran bergradasi *AC-WC*, sehingga karena hal ini *interlocking* yang terbentuk pada campuran bergradasi *Superpave* akan lebih unggul.

Berdasarkan Gambar 5.29 juga dapat dilihat bahwa nilai *CL* pada campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 lebih rendah jika dibandingkan dengan berbahan ikat Pen 60/70. Perbedaan hasil ini membuktikan bahwa aspal Starbit E-55 lebih mampu memberikan kontribusi kepada campuran berupa ikatan antara aspal dan

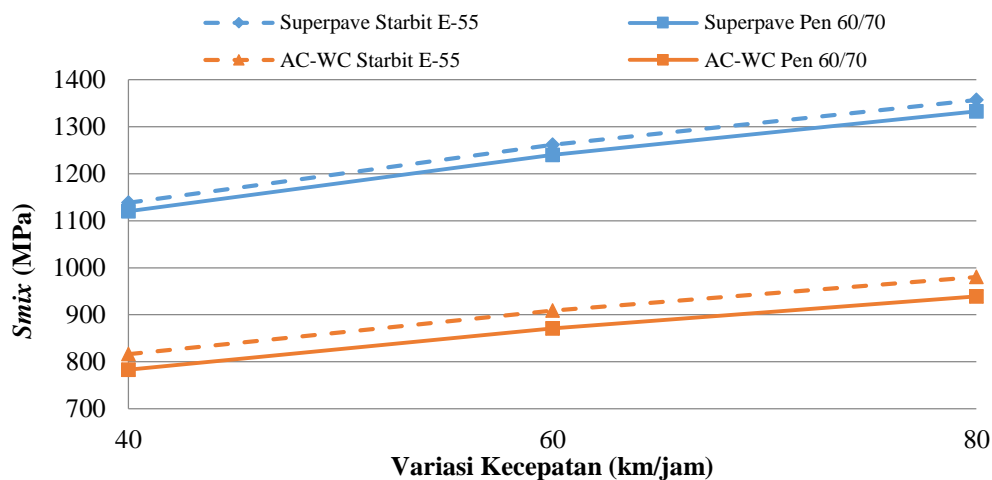
agregat yang lebih kuat sehingga tidak mudah terlepas saat terjadi simulasi benturan. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Yulienda dan Fauziah (2017), pada penelitiannya juga didapatkan bahwa nilai *CL* yang dimiliki oleh perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 lebih tinggi apabila dibandingkan pada perkerasan yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70. Penelitian Putra dan Subarkah (2018) pada penggunaan jenis bahan ikat Starbit dengan nilai penetrasi yang berbeda, yaitu Starbit E-60 juga menyimpulkan bahwa campuran dengan bahan ikat Starbit E-60 lebih tahan terhadap benturan atau abrasi dibandingkan dengan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70 yaitu dengan perkiraan pesentasi nilai sebesar 3,9% pada aspal Pen dan 2% pada aspal Starbit E-55. Hal ini disebabkan oleh kandungan aspal Starbit E-60 berbasis elastomer yang memiliki kekuatan dan keelastisan yang tinggi sehingga dapat mengurangi dampak terhadap benturan.

### 5.2.9 Perbandingan Nilai *Stiffness modulus* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

*Stiffness modulus* terbagi atas 2 bagian, yaitu *Sbit* dan *Smix*. Grafik perbandingan nilai *Stiffness Modulus* pada campuran *Superpave* dengan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 dapat dilihat pada **Gambar 5. 30** dan **Gambar 5. 31** berikut ini.



**Gambar 5. 30** Grafik Perbandingan Nilai *Sbit* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70



**Gambar 5.31** Grafik Perbandingan Nilai *Smix* Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

Berdasarkan Gambar 5.30 dapat dilihat bahwa nilai *Sbit* pada kedua jenis aspal akan meningkat seiring dengan adanya penambahan durasi kecepatan kendaraan. Pada pengaruh penggunaan bahan ikat, diketahui bahwa nilai *Sbit* pada aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibandingkan aspal Pen 60/70 baik itu pada variasi kecepatan kendaraan 40 km/jam, 60 km/jam dan 80 km/jam. Tingginya nilai *Sbit* pada penggunaan aspal Starbit E-55 dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu rendahnya nilai penetrasi dan tingginya nilai titik lembek yang dimiliki. Rekapitulasi perbandingan pada kedua jenis faktor tersebut dapat dilihat pada **Tabel 5.27**.

**Tabel 5.27** Rekapitulasi Perbandingan Faktor Nilai *Sbit*

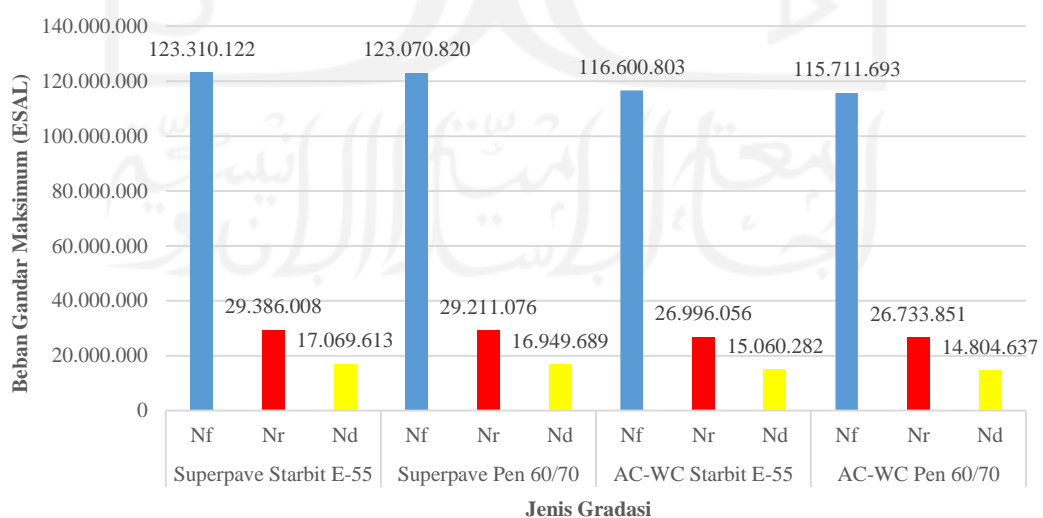
Faktor yang Mempengaruhi	Starbit E-55	Pen 60/70
Nilai Penetrasi	55,8 mm	61,5 mm
Nilai Titik Lembek	54°C	48°C

Menurut Hadi dan Fauziah (2020), tingginya nilai kekakuan baik itu pada nilai *Sbit* dan *Smix* campuran berbahan ikat Starbit E-55 membuktikan bahwa perkerasan yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 akan menghasilkan struktur perkerasan yang memiliki keunggulan berupa ketahanan terhadap perubahan distribusi beban yang berasal dari kecepatan kendaraan dibandingkan dengan perkerasan yang berbahan ikat Pen 60/70.

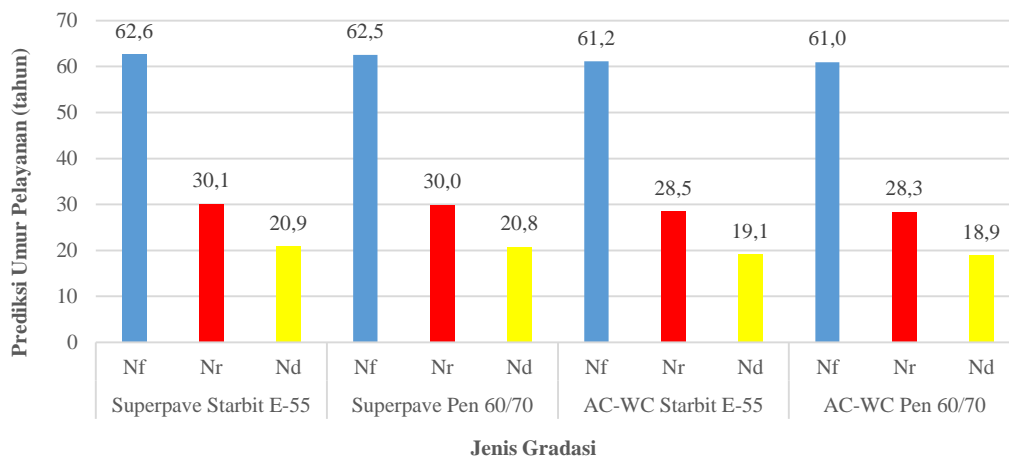
Pada Gambar 5.31 diketahui bahwa campuran bergradasi *Superpave* memiliki nilai *Smix* yang cenderung lebih tinggi namun tidak terlalu berbeda secara signifikan jika dibandingkan dengan campuran bergradasi *AC-WC* disetiap jenis bahan ikatnya serta disetiap variasi kecepatan yang diberikan. Adapun perbedaan nilai yang terjadi dapat dilihat salah satunya pada campuran *Superpave* berbahan ikat Starbit E-55 divariasikan kecepatan 80 km/jam. Pada kondisi ini campuran memiliki nilai *Smix* sebesar 1138,36 MPa sedangkan pada campuran *AC-WC* dengan kondisi yang sama memiliki nilai *Smix* sebesar 1120,03 MPa, sehingga diketahui selisih perbedaan pada kedua jenis perkerasan hanya sebesar 18,33 MPa. Tingginya nilai *Smix* pada campuran *Superpave* disetiap jenis bahan ikatnya membuktikan bahwa campuran tersebut memiliki kemampuan ketahanan penyebaran pembebanan dari suatu campuran pada perkerasan dan kembali ke bentuk semula dibandingkan pada campuran bergradasi *AC-WC*.

#### 5.2.10 Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70

Perbandingan pengaruh jenis gradasi campuran *Superpave* dan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 terhadap nilai umur pelayanan dapat dilihat pada **Gambar 5. 32** sampai **Gambar 5. 33** berikut ini.



**Gambar 5. 32 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**



**Gambar 5. 33 Grafik Perbandingan Prediksi Umur Pelayanan Campuran *Superpave* dan AC-WC dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70**

Pada campuran *Superpave*, berdasarkan Gambar 5.32 dapat diketahui bahwa perkerasan yang menggunakan campuran *Superpave* berbahan ikat Starbit E-55 mampu mengakomodasi beban repitisi sebesar 123.310.122 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 29.386.008 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 17.069.613 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd). Adapun yang berbahan ikat Pen 60/70 memiliki kemampuan untuk mengakomodasi beban repitisi sebesar 123.070.820 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 29.211.076 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 16.949.689 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd).

Pada Gambar 5.32 juga dapat diketahui bahwa perkerasan yang menggunakan campuran AC-WC berbahan ikat Starbit E-55 mampu mengakomodasi beban repitisi sebesar 116.600.803 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 26.996.056 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 15.060.282 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd). Adapun yang berbahan ikat Pen 60/70 memiliki kemampuan untuk mengakomodasi beban repitisi sebesar 115.711.693 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 26.733.851 ESAL sampai terjadinya kerusakan

*rutting* (Nr), dan 14.804.637 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd).

Berdasarkan hasil perbandingan nilai beban gandar maksimum diatas, dapat dilihat bahwa campuran perkerasan baik itu yang menggunakan gradasi *Superpave* dan *AC-WC* akan sama-sama mengalami kerusakan awal berupa *permanent deformation*. Hasil ini selaras dengan hasil prediksi kerusakan perkerasan yang dilakukan oleh Suwanda dan Kushari (2019) pada penelitiannya. Peneliti tersebut menyebutkan bahwa untuk ruas Jalan Tempel - Pakem urutan prediksi kerusakan perkerasan yang akan terjadi pertama adalah *permanent deformation* dengan beban gandar maksimum sebesar 14.653.797 ESAL, kedua adalah *rutting* dengan beban gandar maksimum sebesar 27.801.770 ESAL, dan yang terakhir adalah *fatigue cracking* dengan beban gandar maksimum sebesar 118.861.382 ESAL.

Gambar 5.33 memperlihatkan bahwa prediksi nilai sisa pada campuran *Superpave* untuk kedua jenis aspalnya tidak terlalu berbeda secara signifikan. Campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 sudah akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 20,8 tahun, sedangkan campuran *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 memiliki umur pelayanan yang lebih panjang yaitu baru akan mengalami deformasi pada tahun ke 20,9, sehingga perbedaan nilai prediksi umur sisa pada kedua jenis aspal hanya beselisih 0,1 tahun atau 37 hari kalender. Dominasinya kemampuan aspal Starbit E-55 selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi dan Fauziah (2020). Peneliti tersebut melakukan prediksi terhadap penerapan campuran aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70 untuk lokasi Ruas Jalan Kretek - Parangteritis. Pada hasil penelitian disimpulkan bahwa perkerasan dengan bahan ikat Starbit E-55 relatif memiliki kemampuan dalam mempertahankan kinerja perkerasan terhadap resiko kerusakan awal yang telah diprediksi, yaitu berupa kerusakan *permanent deformation* yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan berbahan ikat Pen 60/70.

Secara keseluruhan, campuran perkerasan yang menggunakan jenis gradasi *Superpave* baik itu dengan penggunaan bahan ikat Starbit E-55 ataupun Pen 60/70 memiliki prediksi nilai sisa yang signifikan lebih lama jika dibandingkan campuran

bergradasi AC-WC, serta telah memenuhi umur pelayanan rencana yaitu sebesar 20 tahun. Campuran perkerasan yang menggunakan gradasi AC-WC hanya mampu memenuhi umur pelayanan rencana sekitar 19 tahun saja atau dapat dikatakan bahwa jenis gradasi tersebut tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Hal ini dapat dilihat pada prediksi umur pelayanan yang terjadi pada kondisi kerusakan pertama yaitu *permanent deformation*. Campuran *Superpave* memiliki nilai prediksi selama 20,9 tahun pada penggunaan aspal Starbit E-55 dan selama 20,8 tahun pada penggunaan aspal Pen 60/70, sedangkan pada campuran AC-WC didapatkan nilai prediksi selama 19,1 tahun pada penggunaan aspal Starbit E-55 dan selama 18,9 tahun pada penggunaan aspal Pen 60/70. Sehingga berdasarkan prediksi nilai umur sisa tersebut dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan tipe gradasi *Superpave* disetiap jenis bahan ikatnya, dan perkerasan yang menggunakan tipe bahan ikat Starbit E-55 disetiap jenis gradasinya memiliki keunggulan berupa performa masa layanan yang lebih baik terhadap pengaruh beban kendaraan yang melintasinya.

### 5.2.11 Rekapitulasi Perbandingan Hasil Pengujian Karakteristik Keseluruhan Campuran

Rekapitulasi hasil pengujian karakteristik pada keseluruhan campuran dengan penggunaan dua jenis aspal dapat dilihat pada **Tabel 5.28** berikut ini.

**Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter**

Parameter	<i>Superpave</i>		<i>AC-WC</i>	
	Starbit E-55	Pen 0/70	Starbit E-55	Pen 0/70
<i>VITM</i>	√			×
<i>VFWA</i>	×			√
<i>VMA</i>		×	√	
<i>Density</i>		√	×	

Keterangan :

- = Tipe campuran yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih tinggi
- = Tipe campuran yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih rendah
- √ = Tipe bahan ikat yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih tinggi
- ×

**Lanjutan Tabel 5. 28 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik pada Keseluruhan Parameter**

Parameter	<i>Superpave</i>		<i>AC-WC</i>	
	Starbit E-55	Pen 0/70	Starbit E-55	Pen 0/70
Stabilitas	√			×
<i>Flow</i>		√	×	
<i>MQ</i>	√			×
<i>IRS</i>	√			×
<i>ITS</i>	√			×
<i>CL</i>	×			√
Sbit	√	×	√	×
<i>Smix</i>	√			×
ESAL	√			×
Prediksi Umur	√			×

Keterangan :

- = Tipe campuran yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih tinggi
- = Tipe campuran yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih rendah
- √ = Tipe bahan ikat yang memiliki parameter karakteristik nilai yang lebih tinggi
- ×

Berdasarkan Tabel 5.28 dapat dilihat bahwa secara keseluruhan apabila dikaji berdasarkan parameter disetiap jenis gradasinya, tipe gradasi *Superpave* adalah jenis gradasi yang memiliki karakteristik nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan jenis gradasi *AC-WC*. Adapun apabila dikaji berdasarkan parameter disetiap jenis bahan ikatnya, tipe bahan ikat Starbit E-55 adalah jenis bahan ikat yang memiliki karakteristik nilai yang lebih tinggi jika dibandingkan jenis bahan ikat Pen 60/70.



## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis data pengaruh perbedaan jenis campuran *Superpave* dan *AC-WC* yang menggunakan jenis bahan ikat penetrasi 60/70 dan bahan ikat Starbit E-55, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua jenis campuran dengan dua jenis bahan ikat terhadap nilai *VITM* dan *VFWA*, namun demikian nilai *VMA* dan *density* memiliki perbedaan signifikan baik antar kedua jenis campuran maupun antara campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70. Dilihat dari parameter mekanisnya, Campuran *Superpave* dengan Starbit E-55 memiliki nilai Stabilitas dan *MQ* yang signifikan lebih tinggi dibandingkan dengan campuran *AC-WC* dengan bahan ikat yang sama, sedangkan nilai *flow* tidak menunjukkan perbedaan hasil yang signifikan pada semua jenis campuran.
2. Perbandingan penggunaan jenis gradasi *Superpave* dengan *AC-WC* disetiap jenis bahan ikatnya terhadap nilai *IRS* tidak terlihat berbeda secara signifikan, begitu juga halnya dengan perbandingan penggunaan jenis bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 disetiap jenis gradasinya.
3. Campuran bergradasi *Superpave* memiliki nilai *ITS* yang sedikit lebih tinggi dibandingkan campuran bergradasi *AC-WC* walaupun perbedaannya tidak terlalu signifikan. Adapun pada perbandingan penggunaan jenis bahan ikat, dapat diketahui bahwa penggunaan bahan ikat Starbit E-55 pada campuran *Superpave* memiliki nilai *ITS* yang lebih tinggi dibandingkan penggunaan bahan ikat Pen 60/70 pada jenis gradasi yang sama.
4. Perbedaan yang signifikan tidak ditemukan pada perbandingan nilai *TSR* antara kedua jenis campuran dengan dua jenis bahan ikat. Namun demikian,

nilai *TSR* pada campuran *Superpave* relatif lebih tinggi dibandingkan campuran *AC-WC* disetiap jenis bahan ikat serta pada tinjauan bahan ikat dapat diketahui bahwa penggunaan bahan ikat Starbit E-55 lebih dominan tinggi dibandingkan Pen 60/70 disetiap jenis gradasi.

5. Nilai *CL* pada kedua jenis campuran dengan dua jenis bahan ikat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dilihat dari parameter ketahanan terhadap benturan, campuran perkerasan bergradasi *Superpave* yang menggunakan bahan ikat Starbit E-55 lebih baik dibandingkan campuran bergradasi *AC-WC* dengan bahan ikat yang sama.
6. *Sbit* pada jenis bahan ikat Starbit E-55 memiliki perbedaan yang cenderung lebih tinggi jika dibandingkan jenis bahan ikat Pen 60/70 disetiap parameter variasi kecepatannya. Dilihat dari perbandingan nilai *Smix*, campuran perkerasan yang menggunakan gradasi *Superpave* memiliki nilai yang lebih tinggi namun tidak signifikan, sama halnya dengan perbandingan yang terdapat pada penggunaan jenis bahan ikat Starbit E-55 disetiap jenis gradasinya yang lebih tinggi dibandingkan Pen 60/70.
7. Sensitivitas akan kerusakan pada keseluruhan jenis campuran dengan kedua jenis bahan ikat memiliki kecenderungan yang sama, yaitu bahwa jenis kerusakan yang paling cepat terjadi adalah *permanent deformation*, dan paling lambat adalah *fatigue cracking*. Campuran *Superpave* dengan Starbit E-55 memiliki masa layanan yang lebih lama, yaitu memiliki nilai sisa 20,9 tahun, sedikit lebih tinggi namun signifikan dengan *Superpave* berbahan ikat Pen 60/70 dengan nilai sisa 20,8 tahun, meskipun demikian nilai sisa campuran *AC-WC* lebih rendah secara signifikan, yaitu hanya sebesar 19,1 tahun untuk *AC-WC* dengan Starbit E-55, dan hanya 18,9 tahun untuk *AC-WC* dengan Pen 60/70, sehingga kedua jenis *AC-WC* tidak mampu mencapai umur rencana 20 tahun.

## 6.2 Saran

Merujuk pada hasil penelitian studi komparasi karakteristik campuran dan prediksi umur pelayanan antara perkerasan *Superpave* dengan *AC-WC* akibat pengaruh jenis bahan ikat aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Penggunaan jenis campuran bergradasi *Superpave* dapat digunakan untuk mengantisipasi jumlah lalu lintas yang tinggi dan beban yang berlebih, khususnya di Indonesia.
2. Penggunaan jenis bahan ikat Starbit E-55 dianjurkan penerapannya pada daerah yang memiliki kerentanan banjir akibat dari pengaruh intensitas curah hujan yang tinggi dan durasi yang lama.
3. Perlu dilakukannya penerapan proses pemadatan yang sama baik itu perkerasan campuran yang menggunakan tipe gradasi *Superpave* ataupun *AC-WC* dengan menggunakan mesin *gyratory*. Nantinya setelah proses pemadatan selesai, maka akan menghasilkan kondisi perbandingan sampel yang sama disetiap parameter pengujiannya saat menggunakan mesin uji UTM.

## DAFTAR PUSTAKA

- Al-Khateeb, G.G., et al. 2017. *Effect of Superpave restricted zone on volumetric and compaction properties of asphalt mixtures. International Journal of Pavement Research and Technology 2017.*
- Arkan, N., dan Subarkah. 2018. Pemanfaatan Limbah Gerabah Kasongan Sebagai Pengganti Bahan Pengisi Pada Campurab Lapisan AW-WC. Jurnal Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Asphalt Institute.* 1982. *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual. (MS-1), Ninth Edition, Research Report kR 82-2, College Park. Maryland.*
- Asphalt Institute.* 2001. *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, Manual Series No. 22 (MS-22). Second Edition, Lexington, USA.*
- Baskara, G.M.B. 2019. Analisis Modulus Kekakuan Campuran Aspal Beton dengan Penggunaan Agregat Buatan Berbahan Geopolimer. Tesis (RC185401). Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Surabaya.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. 1983. Manual Pemeliharaan Jalan No. 03/MN/B/1983. Jakarta.
- Direktorat Jendral Bina Marga, 2018. Spesifikasi Umum Divisi 6. Penerbit Bina Marga. Jakarta.
- Fadlan. 2013. Evaluasi Perencanaan Tebal Perkerasan Lentur Metode Bina Marga Pt T-01-2002-B dengan Menggunakan Program KENPAVE. Jurnal Teknik Sipil USU Vol. 2, No.2. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Faisal, D., Styawan, A., Sumarsono, A. 2018. Pemilihan Beberapa Campuran Lapis Tipis Aspal Panas Untuk Aplikasi di Lapangan. e-Jurnal MATRIKS TEKNIK SIPIL/September 2018/419. Universitas Sebelas Maret, Surakarta.
- Faroz, R.R., dan Herman. 2017. Studi Pengaruh Temperatur terhadap Modulus Kekakuan Campuran Menggunakan Aspal Berpolimer BituBale. Reka Racana. Jurnal Online Institut Teknologi Nasional, No. 4 Vol.3 Desember 2017.

- Fauziah, M., dan Handaka, A. 2017. Pemanfaatan Aspal Starbit E-55 Untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan Pada Campuran *Split Mastic Asphalt*. Jurnal Transportasi, Vol. 17, No. 1, Hal. 11-20, April 2017, ISSN: 1411-2442.
- Fauziah, M., Kushari, B., dan Ransky, F. 2014. Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* pengganti Terhadap Karakteristik *Marshall* Campuran *Superpave*, *Proc of 17th International Symposium FSTPT*. Universitas Jember. Jember.
- Fauziah, M. dan Ransky, F. 2014. Kajian Pengaruh Abu Ampas Tebu sebagai *Filler* pengganti Terhadap Kinerja Struktur dan Permeabilitas Campuran *Superpave*, *Proc of 8th Konferensi Nasional Teknik Sipil (Konteks-8)*, Itenas. Bandung.
- Fauziah, M., dan Safitri, A. D. 2016. Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Retona Blend 55 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Hujan, *Prosiding The 19th International Symposium of FSTPT, Islamic University of Indonesia*, ISBN: 979-95721-2-19. Yogyakarta.
- Golalipour, A., et al. 2012. *Effect of Aggregate Gradation on Rutting of Asphalt Pavements. SIIV - 5th International Congress - Sustainability of Road Infrastructures*. Roma.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Antara yang Menggunakan Bahan Ikat Starbit E-55 dengan Pen 60/70 pada Variasi Durasi Rendaman Air Payau. *Civil Engineering and Environment Symposium 2019*. ISBN: 978-623-7263-09-8. Universitas Negeri Semarang. Semarang.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. 2020. Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran *Superpave* Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikat dan Kecepatan Kendaraan. *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium 2020*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.

- Hakim, I. N., dan Kushari, B. 2019. Kaji Ulang Desain Tebal Perkerasan Lentur Pada Ruas Jalan Pakem-Prambanan Untuk Mengantisipasi Peningkatan Status Jalan. Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun – FTSP UII 2019. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Huang, Y.H. 2004. *Pavement Analysis and Design. 2nd edition. Pearson Prentice-Hall: New Jersey.*
- Hussain, A. dan Khan, M. K. 2019. *Rutting And Moisture Susceptibility Assessment Of Asphalt Wearing Course Gradations. The Civil Engineering Journal 3-2019, Article No. 37. Pakistan.*
- Indriyati, E. W. 2017. Pengaruh Asbuton Murni Terhadap Indeks Penetrasi Aspal. *Jurnal Transportasi Vol. 17 No. 3 Desember 2017: 185-192.*
- Intari, D. E., Fathonah, W., dan Kirana, F.W. 2018. Analisis Karakteristik Campuran Laston (HRS-WC) Akibat Rendaman Air Laut Pasang (Rob) Dengan Aspal Modifikasi Polimer Starbit E-55. *Jurnal Fondasi. Vol. 7 No. 3 2018. Universitas Sultan Ageng Tirtayasa. Banten.*
- Javid, M. A. 2016. *Effect of Polymer Modification on Rheological Properties of Asphalt. Journal of Civil Engineering Research 2016, 6(3): 44-60. Departement of Civil Environmental Engineering, Universitas of Nizwa. Nizwa. Oman.*
- Kamba, C. 2013. Pengaruh Penentuan Kadar Aspal Optimum Terhadap Kualitas Desain Campuran Beraspal. *Prosiding Seminar Teknik Sipil UKI Paulus Makassar, Agustus 2013. Makassar.*
- Karahancer, S., et al. 2018. *Superpave Volumetric Mix Design Of Hot Mix Asphalt: Case Study Of Isparta. Journal of Engineering Sciences and Design. e-ISSN: 1308-6693. Turkey.*
- Metasari, D. Y., Hasanuddin, A., Koesoemawati, D. J. 2018. Perbandingan Kinerja Laston AC-WC berdasarkan Spesifikasi Gradasi Agregat yang Diizinkan. *Jurnal Teoritis dan Terapan Bidang Rekayasa Keteknisipilan dan Lingkungan. Univeritas Jember. Jawa Timur.*

- Miagi, E.Z.E. 2015. Evaluasi Kinerja Stabilitas Dinamis Pada Campuran *Superpave* dengan Tambahan Serat Serabut Kelapa Menggunakan Uji *Marshall* dan Uji *Wheel Tracking*. Tugas Akhir. Universitas Mercu Buana. Jakarta.
- Nono. 2010. Rentang Kadar Aspal Campuran Beraspal Panas Sesuai Spesifikasi Berbasis *Superpave*. Puslitbang Jalan dan Jembatan. Bandung.
- Nugroho, A., dan Subarkah. 2018. Perbandingan Karakteristik Campuran *Hot Rolled Asphalt (HRA)* Berbahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-55. *Jurnal Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta.
- 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 (September 2015).
- Pradani, N. 2013. Pengaruh Penambahan Polimer Elastomer Terhadap Indeks Penetrasi Aspal yang Mengandung Aspal Daur Ulang. *Jurnal Infrastruktur*. Vol. 3 No.1 Juni 2013: 9-15.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., Ramadhan, A. 2015. Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Adiktif. *Jurnal Penelitian Karet*. 33 (1) : 75 – 82. Bogor.
- PT Bintang Jaya. 2013. Latar Belakang Pengembangan Aspal Modifikasi Starbit E-55, PT Bintang Djaja. Semarang.
- Purbanto, I.G.R, dan Mataram, I.N.K. 2015. Studi Sifat Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dengan Bahan Utama Bongkaran Aspal Beton Lama dan *Autoclaved Aerated Concrete (AAC)* Sebagai *Filler*. Laporan Akhir Hibah Penelitian Dosen Muda. Nomor : 1994 /UN 14. LI 1/PN.00.00.00/2015. Universitas Udayana. Bali.
- Putra, D. W. T., dan Subarkah. 2018. Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai Terhadap Karakteristik Campuran AC - WC dengan Bahan Ikat Starbit E-60 dan Pen 60/70. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhani, R.I., dan Fauziah, M. 2018. Evaluasi Tebal Perkerasan Lentur Dengan Metode Bina Marga 2013 Dan Metode Mekanistik-Empirik Menggunakan Program Kenpave Pada Ruas Jalan Jogja–Solo. *Civil Engineering and Environment Symposium 2018*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.

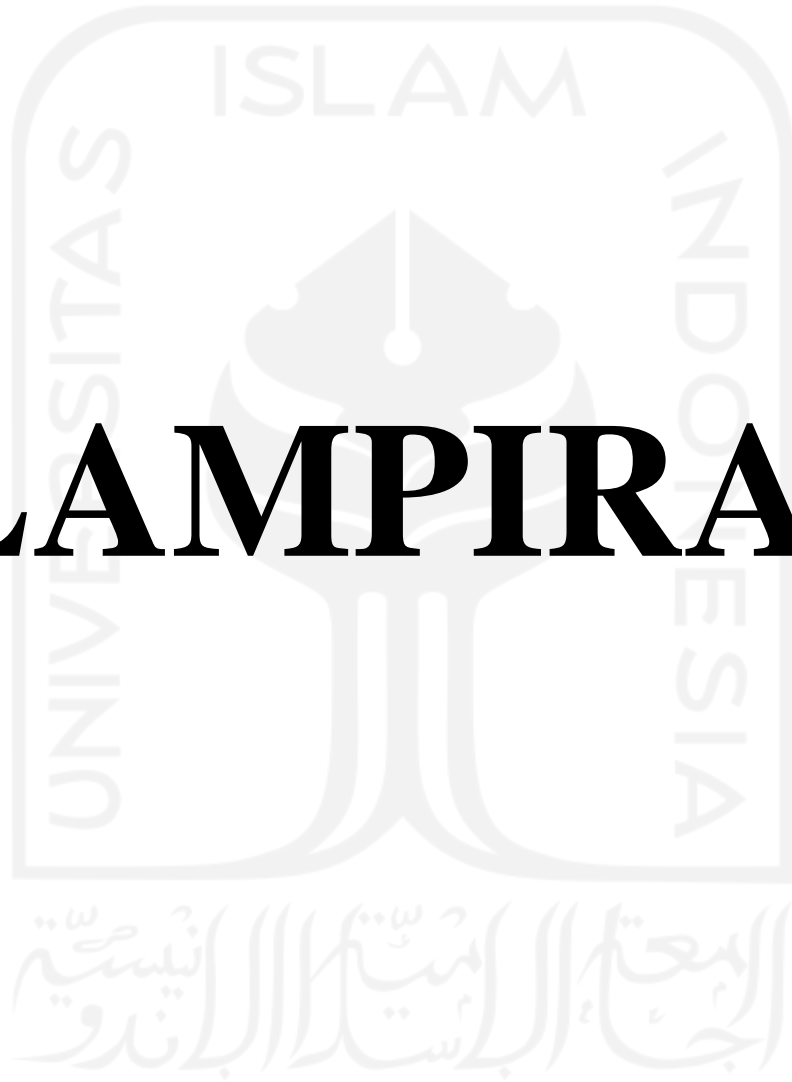
- Strategic Highway Research Program (SHRP) A-407. 1994. The Superpave Mix Design Manual for New Construction and Overlays. Strategic Highway Research Program National Research Council. Washington.*
- Subarkah. 2008. Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan Jalan. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Subarkah., Bale, H. A., Nugraha, A. A. 2020. Pemanfaatan Batu Zeolite Sebagai Agregat Kasar Pada Campuran *Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC)* Dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E-60. *Jurnal Teknisia*. P-ISSN 0853-8557. E-ISSN 2746-0185. Yogyakarta.
- Subarkah, dan Romadhona, W. 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. 1 No. 1. Yogyakarta.
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Penerbit Nova. Bandung.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Penerbit Grani. Jakarta.
- Suwanda, A., dan Kushari, B. 2019. Analisis Perbandingan Desain Struktur Perkerasan Lentur Menggunakan Metode Mekanistik Empiris Dengan Pendekatan Viskoelastik Dan Elastik Linier Pada Ruas Jalan Tempel – Pakem. *Jurnal Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta.
- Widajat, J., dan Nono. 2011. *Propertis Bahan dan Campuran Beraspal Panas Beton*. Pusat Penelitian dan Pengembangan Jalan dan Jembatan. Penerbit Informatika. Bandung.
- Wikipedia. *International System of Units*.  
[https://en.wikipedia.org/wiki/International\\_System\\_of\\_Units](https://en.wikipedia.org/wiki/International_System_of_Units)
- Yulienda, P., dan Fauziah, M. 2017. Pengaruh Rendaman Air Rawa Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dengan Bahan Ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70. *Jurnal Universitas Islam Indonesia*. Yogyakarta.
- Yusuf, N., dan Fauziah, M. 2018. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* Yang menggunakan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55. *Prosiding Konferensi Nasional Teknik Sipil 12, Batam, Volume 2, September 2018, ISBN: 978-602-60662-3-7.*



Zumrawi, M. M. E., and Edrees, S. A. S. 2019. *Comparison of Marshall and Superpave Asphalt Design Methods for Sudan Pavement Mixes. International Journal of Scientific and Technical Advancements, Volume 2, Issue 1, pp. 29-35, 2016.*



# LAMPIRAN





## Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Starbit E-55

### PEMERIKSAAN PENETERASI ASPAL

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

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai		08.30
	Selesai		09.00
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	25 °C	09.00
	Selesai	25 °C	10.00
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	10.00
	Selesai	25 °C	11.30

### 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		

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.

NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.

NIM : 19914042



## Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen Pertamina 60/70

### PEMERIKSAAN PENETERASI ASPAL

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

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai		08.00
	Selesai		08.30
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	25 °C	08.30
	Selesai	25 °C	09.30
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	09.30
	Selesai	25 °C	10.30

### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	61	61		
2.	61	60		
3.	64	60		
4.	60	62		
5.	62	64		
Rata2	61,6	61,4		

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



### Lampiran 3. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Starbit E-55

#### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP 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		09.00
	Selesai		09.05
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	25 °C	09.05
	Selesai	25 °C	09.40
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	09.40
	Selesai	25 °C	09.40

#### HASIL PENGAMATAN

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

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 4. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70

### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

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

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai		09.50
	Selesai		09.55
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	25 °C	09.55
	Selesai	25 °C	10.30
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	10.30
	Selesai	25 °C	10.30

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1.	Benda Uji 1	95	
2.	Benda Uji 2		
3.	Rata-Rata		

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 5. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Starbit E-55

### 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		09.15
	Selesai		09.30
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	25 °C	09.30
	Selesai	25 °C	10.05
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	10.05
	Selesai	25 °C	10.30

#### 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.	30 °C	778	778		
2.	35 °C	883	883		
3.	40 °C	1005	1005		
4.	45 °C	1113	1113		
5.	50 °C	1200	1200		
6.	55 °C	1310	1296	54,2	54

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 6. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pertamina Pen 60/70

### PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

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

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
		Mulai	10.30
		Selesai	10.45
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
		Mulai	10.45
		Selesai	11.15
3.	Diperiksa		
		Mulai	11.15
		Selesai	11.45

#### 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,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042





## Lampiran 7. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pe 60/70

### 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 °C
2.	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm$ 28 °C
3.	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu 25 °C	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm$ 25 °C
4.	Pemeriksaan	Diuji Daktilitas Pada Suhu 25 V, Kecepatan 5 Cm Per Menit	20 Menit	Suhu Alat $\pm$ 25 °C

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Hasil pengujian	Keterangan
1.	Sampel 1	164,3 cm	Tidak putus
2.	Sampel 2	164,3 cm	Tidak putus

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 8. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pen 60/70

### PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina,  
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 $\pm 28^{\circ}\text{C}$
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 PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Hasil pengujian	Keterangan
1.	Sampel 1	164 cm	Tidak putus
2.	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 9. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Starbit E-55

### PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Starbit E-55  
Sumber : PT. Bintang Djaja,  
TahunUji : 2020

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27 °C	13.00
	Selesai	130 °C	13.15
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130 °C	13.15
	Selesai	27 °C	13.20
3.	Diperiksa		
	Mulai	35 °C	13.20
	Selesai	325 °C	13.50

#### HASIL PENGAMATAN

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

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 10. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70

### PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

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

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27 °C	13.00
	Selesai	130 °C	13.15
2.	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130 °C	13.15
	Selesai	27 °C	13.20
3.	Diperiksa		
	Mulai	35 °C	13.20
	Selesai	290 °C	13.45

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1.	Benda Uji 1	270 °C	290 °C

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 11. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Starbit E-55 Dalam CCL4

### PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

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

#### PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu (°C)
1.	Penimbangan	Mulai	11.30	27
2.	Pelarutan	Mulai	11.40	27
3.	Penyaringan	Mulai	11.42	27
		Selesai	11.45	27
4.	Di Oven	Mulai	11.45	110
5.	Penimbangan	Selesai	12.10	27

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat Erlen Mayer Kosong	75,23 Gr	68,90 Gr
2.	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	76,17 Gr	69,96 Gr
3.	Berat Aspal (2-1)	0,94 Gr	1,06 Gr
4.	Berat Kertas Saring Bersih	0,57 Gr	0,57 Gr
5.	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral	0,57 Gr	0,58 Gr
6.	Berat Mineral(5-4)	0 Gr	0,01 Gr
7.	Persentase Mineral (6/3 X 100%)	0 %	0,94 %
8.	Aspal Yang Larut (100%-7)	100 %	99,06 %
9.	Rata-Rata Aspal Yang Larut (100%)	99,53 %	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 12. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Starbit E-55 Dalam CCL4

### PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70  
Sumber : Pertamina,  
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	10.42	27
		Selesai	10.55	27
4.	Di Oven	Mulai	10.55	110
5.	Penimbangan	Selesai	11.20	27

#### HASIL PENGAMATAN

No.	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat Erlen Mayer Kosong	68,87 Gr	73,49 Gr
2.	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	69,22 Gr	73,89 Gr
3.	Berat Aspal (2-1)	0,35 Gr	0,4 Gr
4.	Berat Kertas Saring Bersih	0,61 Gr	0,61 Gr
5.	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral	0,61 Gr	0,61 Gr
6.	Berat Mineral(5-4)	0 Gr	0 Gr
7.	Persentase Mineral (6/3 X 100%)	0 %	0 %
8.	Aspal Yang Larut (100%-7)	100 %	100 %
9.	Rata-Rata Aspal Yang Larut (100%)	100 %	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



### Lampiran 13. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Starbit E-55

#### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

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

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1.	Berat Picnometer Kosong (gr)	20,74	20,07
2.	Berat Picnometer + Aquadest (gr)	44,30	42,34
3.	Berat Aquadest (gr)	23,56	22,27
4.	Berat Picnometer + Aspal (gr)	22,89	22,46
5.	Berat Aspal (gr)	2,15	2,39
6.	Berat Picnometer + 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,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pertamina Pen 60/70

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

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

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1.	Berat Picnometer Kosong (gr)	20,57	20,68
2.	Berat Picnometer + Aquadest (gr)	43,53	43,65
3.	Berat Aquadest (gr)	22,96	22,97
4.	Berat Picnometer + Aspal (gr)	22,81	22,38
5.	Berat Aspal (gr)	2,24	1,70
6.	Berat Picnometer + 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,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042





## Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

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

No.	Keterangan	Sampel	
		1	2
1.	Berat Benda Ui Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	1592,52	1612,44
2.	Berat benda uji alam air (BA)	1000,03	1000,01
3.	Berat benda uji kering oven (BK)	1570,67	1583,32
4.	Berat Jenis (Bulk)	2,651	2,628
5.	Berat Jenis (SSD)	2,688	2,660
6.	Berat Jenis (Semu)	2,752	2,714
7.	Penyerapan Air	1,391	1,839

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 16. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

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

No.	Keterangan	Sampel	
		1	2
1.	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	500,03	500
2.	Berat Picnometer + Air (B)	665,31	690,22
3.	Berat Picnometer + Air + Benda Uji (BT)	972,80	995,77
4.	Berat Benda Uji Kering (BK)	489,79	489,01
5.	Berat Jenis (Bulk)	2,54	22,51
6.	Berat Jenis (SSD)	2,60	5,57
7.	Berat Jenis (Semu)	2,69	2,67
8.	Penyerapan Air	2,05	2,20

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 17. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

### PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan		Benda Uji	
			1	2
1.	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan CaCL <sub>2</sub> ( $\pm$ 10.1 menit)	Mulai	10.22	10.22
		Selesai	10.32	10.32
2.	Waktu pengadapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x dan ditambah larutan CaCl <sub>2</sub> )	Mulai	10.32	10.32
		Selesai	10.35	10.35
3.	Clay reading (inch)		3,9	3,6
4.	Sand reading		3,6	3,3
5.	Sand equivalen ((sand reading/clay reading)*100)		92,31	91,67

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 18. Pemeriksaan Keausan Agregat

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

Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Jenis Gradasi		F	
	saringan		Benda Uji (gram)	
	Lolos	Tertahan	1	2
1.	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")		
2.	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")		
3.	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")		
4.	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")		
5.	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")		
6.	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")		
7.	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500	
8.	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")	2500	
9.	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (No.4)		
10.	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)		
11.	Jumlah Benda Uji (A)		5000	4225
12.	Jumlah Tertahan Di Sieve 12 (B)		4225	3228
13.	Keausan = $\frac{A-B}{A} \times 100$		15,5	23,6
14.	Rata-rata Keausan		19,55	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lampiran 19. Pemeriksaan Berat Jenis Debu Batu

### PEMERIKSAAN BERAT DEBU BATU

Material : Debu Batu  
Sumber : Clereng, Kulonprogo  
Tahun Uji : 2020

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1.	Berat Picnometer Kosong (gr)	11,89	12,09
2.	Berat Picnometer + Aquadest (gr)	29,23	29,26
3.	Berat Aquadest (gr)	17,34	17,17
4.	Berat Picnometer + Debu Batu (gr)	13,25	13,11
5.	Berat Debu Baru (gr)	1,36	1,02
6.	Berat Picnometer + Debu Batu + Aquadest (gr)	30,09	29,85
7.	Berat Aquadest (gr)	16,84	16,74
8.	Volume Debu Batu (gr)	0,5	0,43
9.	Berat Jenis Debu Batu	2,72	2,47
10.	Rata-Rata BJ Debu Batu	2,60	

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



**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 20. Hasil Pengujian Marshall Campuran Superpave untuk Menentukan KAO pada Aspal Starbit E-55

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL STARBIT E-55

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran

SUPERPAVE

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4.5A	68,64	4,71	4,5	1170,98	1175,12	674,11	501,01	2,337	2,522	10,113	82,568	7,319	17,43	58,01	7,32	88	1749,90	0,8900	1557,41	2,93	531,54
4.5B	67,99	4,71	4,5	1185,03	1189,96	680,11	509,85	2,324	2,522	10,057	82,110	7,833	17,89	56,22	7,83	85	1690,24	0,8978	1517,41	3,15	481,72
4.5C	66,65	4,71	4,5	1174,21	1179,38	677,98	501,40	2,342	2,522	10,133	82,731	7,136	17,27	58,68	7,14	84	1670,36	0,9309	1555,00	3,05	509,84
								<b>2,334</b>					<b>17,53</b>	<b>57,64</b>	<b>7,43</b>				<b>1543,27</b>	<b>3,04</b>	<b>507,70</b>
5A	67,35	5,26	5,0	1169,40	1175,72	679,82	495,90	2,358	2,503	11,337	82,870	5,793	17,13	66,18	5,79	87	1730,01	0,9138	1580,80	2,97	532,26
5B	65,71	5,26	5,0	1172,33	1180,70	683,24	497,46	2,357	2,503	11,330	82,817	5,853	17,18	65,94	5,85	91	1809,55	0,9486	1716,47	3,00	572,16
5C	66,36	5,26	5,0	1208,68	1210,22	689,10	521,12	2,319	2,503	11,151	81,509	7,341	18,49	60,30	7,34	88	1749,90	0,9364	1638,56	3,25	504,17
								<b>2,345</b>					<b>17,60</b>	<b>64,14</b>	<b>6,33</b>				<b>1645,28</b>	<b>3,07</b>	<b>536,20</b>
5.5A	67,34	5,82	5,5	1175,98	1180,44	681,82	498,62	2,358	2,485	12,473	82,446	5,082	17,55	71,05	5,08	98	1948,75	0,9140	1781,16	3,20	556,61
5.5B	70,52	5,82	5,5	1172,11	1178,32	677,79	500,53	2,342	2,485	12,384	81,861	5,755	18,14	68,27	5,76	97	1928,86	0,8652	1668,85	3,20	521,52
5.5C	70,26	5,82	5,5	1177,92	1183,90	683,65	500,25	2,355	2,485	12,453	82,313	5,235	17,69	70,40	5,23	95	1889,09	0,8756	1654,09	3,00	551,36
								<b>2,352</b>					<b>17,79</b>	<b>69,91</b>	<b>5,36</b>				<b>1701,37</b>	<b>3,13</b>	<b>543,16</b>
6A	65,93	6,38	6,0	1174,07	1185,92	684,98	500,94	2,344	2,467	13,522	81,497	4,981	18,50	73,08	4,98	84	1670,36	0,944	1577,55	3,48	453,32
6B	64,78	6,38	6,0	1179,61	1186,40	687,74	498,66	2,366	2,467	13,647	82,256	4,097	17,74	76,91	4,10	89	1769,78	0,830	1468,92	3,18	461,92
6C	65,38	6,38	6,0	1178,19	1184,89	686,18	498,71	2,362	2,467	13,630	82,149	4,222	17,85	76,35	4,22	89	1769,78	0,955	1689,70	3,25	519,91
								<b>2,357</b>					<b>18,03</b>	<b>75,45</b>	<b>4,43</b>				<b>1578,72</b>	<b>3,30</b>	<b>478,38</b>
6.5A	67,18	6,95	6,5	1176,56	1183,83	681,28	502,55	2,341	2,449	14,632	80,975	4,392	19,02	76,91	4,39	80	1590,82	0,9988	1588,91	3,72	427,13
6.5B	66,63	6,95	6,5	1185,72	1192,54	689,33	503,21	2,356	2,449	14,727	81,499	3,774	18,50	79,60	3,77	84	1670,36	0,9313	1555,62	3,65	426,20
6.5C	64,92	6,95	6,5	1171,93	1181,89	677,92	503,97	2,325	2,449	14,534	80,429	5,037	19,57	74,26	5,04	81	1610,70	0,9645	1553,52	3,75	414,27
								<b>2,341</b>					<b>19,03</b>	<b>76,92</b>	<b>4,40</b>				<b>1566,02</b>	<b>3,71</b>	<b>422,53</b>

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

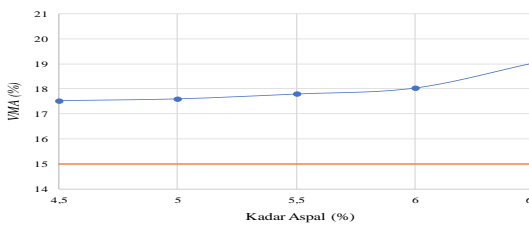
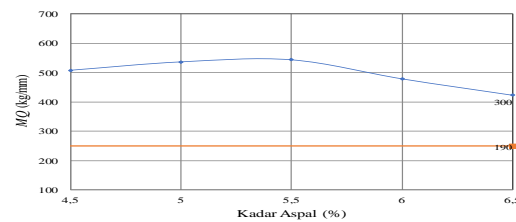
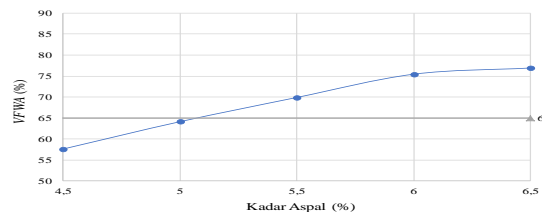
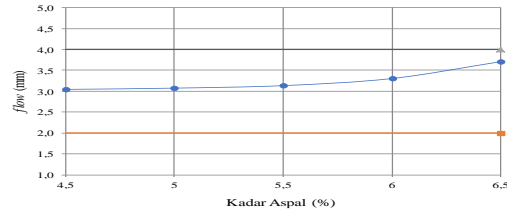
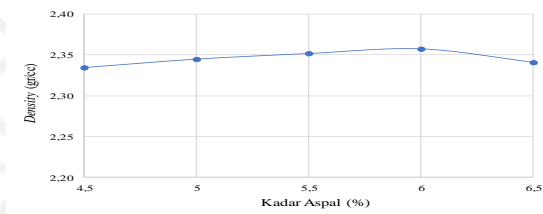
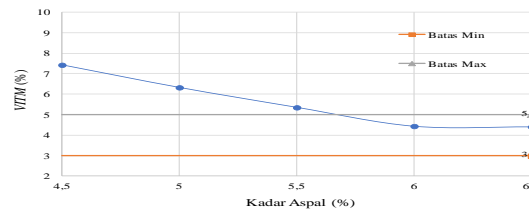
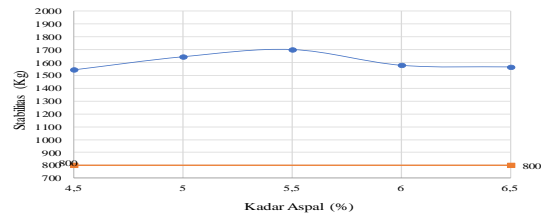
Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lanjutan lampiran 20. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *Superpave* untuk Menentukan KAO pada Aspal Starbit E-55

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL STARBIT E-55

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran *SUPERPAVE*





**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 21. Hasil Pengujian Marshall Campuran Superpave untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran *SUPERPAVE*

Sampel	t (cm)	a (%)	b (%)	c (gram)	d (gram)	e (gram)	f (gram)	g	h	i	j	k	l VMA (%)	m VFWA (%)	n VITM (%)	o	p	Koreksi Tebal	q Stab. (kg)	r Flow (mm)	MQ (kg/mm)
4.5A	66,40	4,71	4,50	1176,44	1178,48	677,37	501,11	2,348	2,527	9,957	82,937	7,106	17,06	58,35	7,11	62	1232,88	0,9356	1153,52	3,03	380,70
4.5B	67,66	4,71	4,50	1180,96	1184,09	682,92	501,17	2,356	2,527	9,994	83,245	6,761	16,75	59,65	6,76	63	1252,77	0,9060	1135,01	2,55	445,10
4.5C	66,99	4,71	4,50	1178,05	1180,70	680,98	499,72	2,357	2,527	9,998	83,281	6,720	16,72	59,80	6,72	63	1252,77	0,9228	1155,99	2,50	361,25
								<b>2,354</b>					<b>16,85</b>	<b>59,27</b>	<b>6,86</b>				<b>1148,17</b>	<b>2,93</b>	<b>395,68</b>
5A	66,93	5,26	5,00	1179,91	1184,03	684,12	499,91	2,360	2,509	11,123	82,944	5,933	17,06	65,21	5,93	69	1372,08	0,9243	1268,14	2,97	426,98
5B	66,43	5,26	5,00	1182,01	1185,93	685,22	500,71	2,361	2,509	11,125	82,959	5,916	17,04	65,28	5,92	68	1352,19	0,9368	1266,67	3,00	422,22
5C	65,93	5,26	5,00	1181,51	1185,90	687,81	498,09	2,372	2,509	11,179	83,360	5,461	16,64	67,18	5,46	70	1391,96	0,9444	1314,62	3,25	404,50
								<b>2,364</b>					<b>16,91</b>	<b>65,89</b>	<b>5,77</b>				<b>1283,14</b>	<b>3,07</b>	<b>417,90</b>
5.5A	66,16	5,82	5,50	1181,43	1184,31	680,65	503,66	2,346	2,491	12,160	81,999	5,842	18,00	67,55	5,84	76	1511,28	0,9401	1420,79	3,68	386,08
5.5B	69,56	5,82	5,50	1188,46	1195,87	696,13	499,74	2,378	2,491	12,328	83,134	4,538	16,87	73,09	4,54	70	1391,96	0,8900	1238,85	3,55	348,97
5.5C	66,37	5,82	5,50	1185,12	1188,82	690,09	498,73	2,376	2,491	12,318	83,068	4,614	16,93	72,75	4,61	73	1451,62	0,9362	1358,99	3,15	431,42
								<b>2,367</b>					<b>17,27</b>	<b>71,13</b>	<b>5,00</b>				<b>1339,54</b>	<b>3,46</b>	<b>388,83</b>
6A*	65,06	6,38	6,00	1190,66	1192,43	694,86	497,57	2,393	2,474	13,532	83,208	3,259	16,79	80,59	3,26	86	1710,13	0,961	1643,43	3	547,81
6B	62,88	6,38	6,00	1181,87	1185,77	684,93	500,84	2,360	2,474	13,345	82,055	4,601	17,95	74,36	4,60	83	1650,47	0,830	1369,89	3,43	399,39
6C	65,19	6,38	6,00	1188,19	1192,05	690,88	501,17	2,371	2,474	13,407	82,439	4,154	17,56	76,35	4,15	80	1590,82	0,958	1524,50	3,77	404,38
								<b>2,365</b>					<b>17,75</b>	<b>75,36</b>	<b>4,38</b>				<b>1447,20</b>	<b>3,60</b>	<b>401,88</b>
6.5A	65,01	6,95	6,50	1178,76	1185,12	682,31	502,81	2,344	2,456	14,362	81,085	4,553	18,92	75,93	4,55	68	1352,19	0,9623	1301,15	4,20	309,80
6.5B	64,75	6,95	6,50	1184,45	1185,43	690,48	494,95	2,393	2,456	14,661	82,770	2,569	17,23	85,09	2,57	70	1391,96	0,9688	1348,47	4,33	311,42
6.5C	64,00	6,95	6,50	1179,07	1182,02	683,95	498,07	2,367	2,456	14,503	81,878	3,619	18,12	80,03	3,62	65	1292,54	0,9875	1276,38	3,25	392,73
								<b>2,368</b>					<b>18,09</b>	<b>80,35</b>	<b>3,58</b>				<b>1308,66</b>	<b>3,93</b>	<b>337,98</b>

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

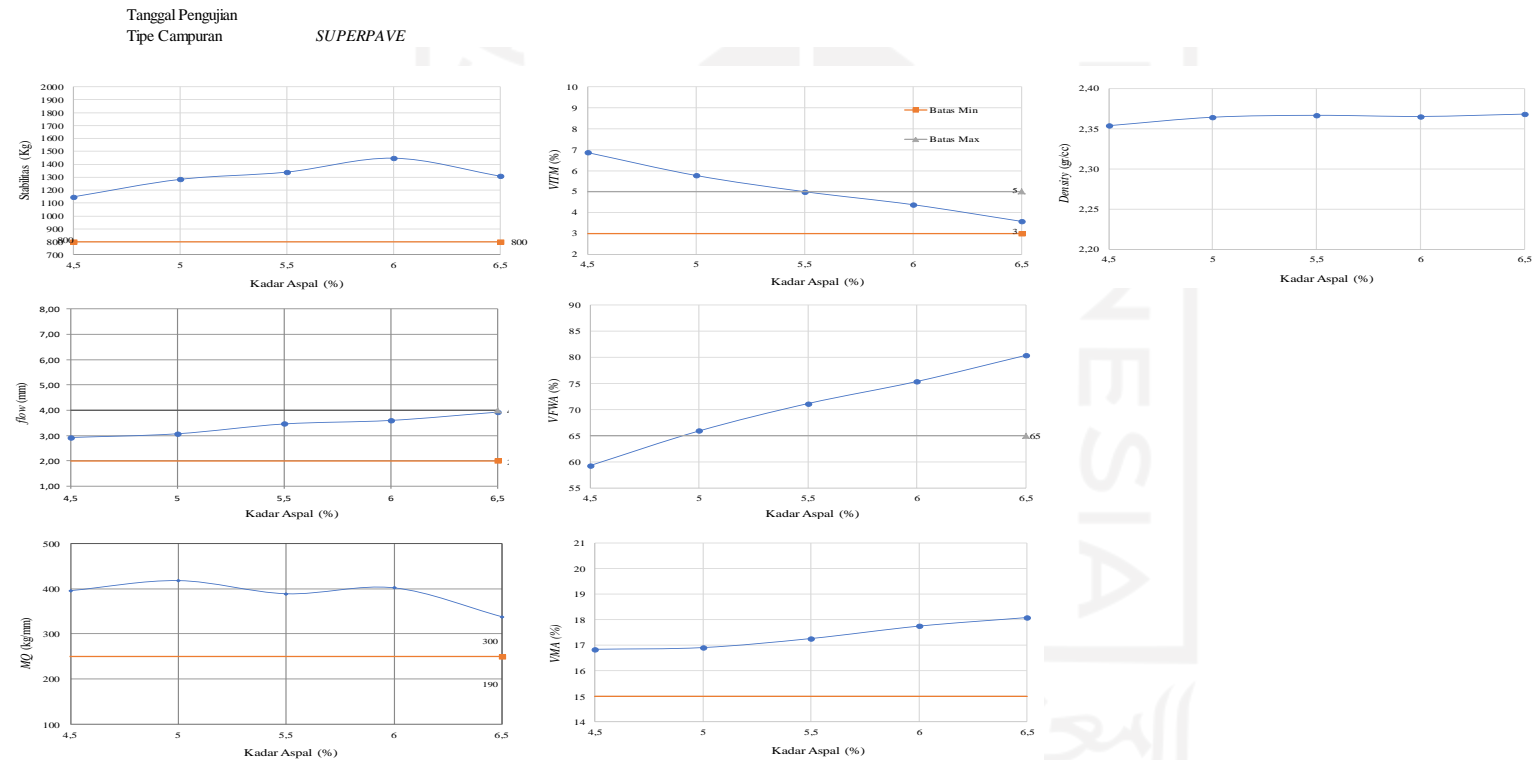
Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042





## Lanjutan lampiran 21. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *Superpave* untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70





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

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL STARBIT E-55

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

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

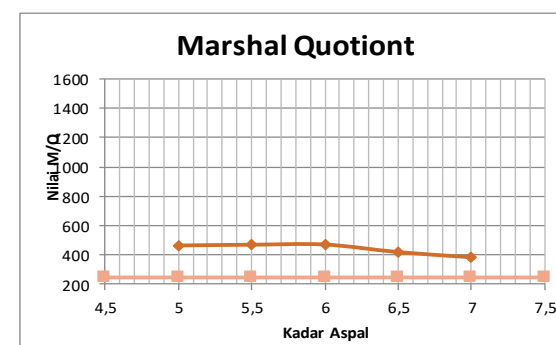
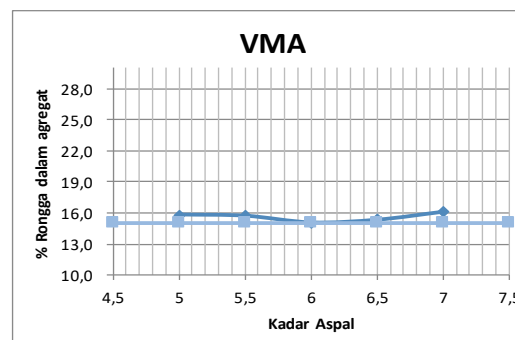
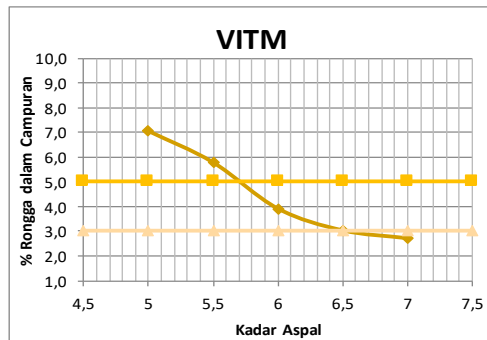
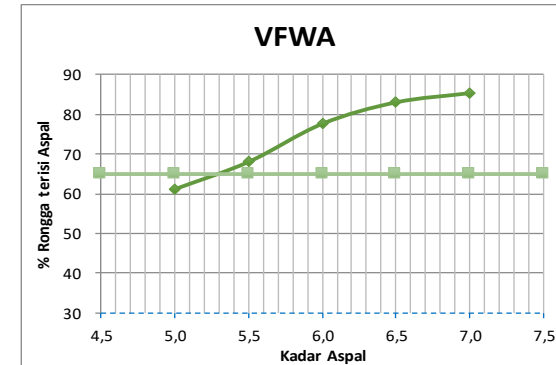
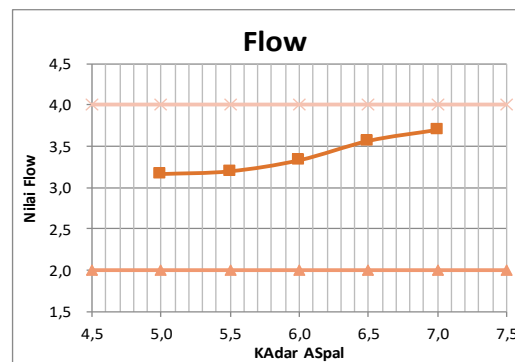
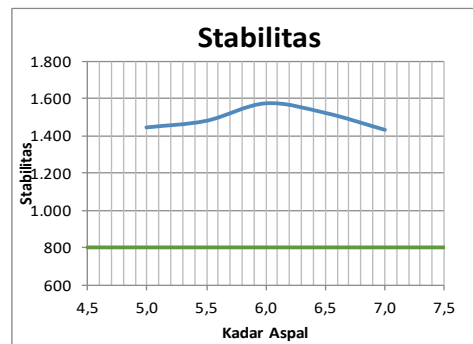
Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lanjutan lampiran 22. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Starbit E-55

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL STARBIT E-55





**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 23. Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70

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		
				D	E	F			G	H	I	J	K		
			% Total Campuran	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T) + I x 100%	Data Pemb. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. 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
									6,7	15,5	62,0		1.159,0	3,1	378,0
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
									5,0	15,0	70,5		1.251,1	3,3	382,3
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
									4,2	15,3	76,0		1.409,8	3,4	417,8
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	3,1511143	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
									3,2	15,5	81,8		1.280,7	3,6	360,3
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
									2,6	16,0	85,7		1.220,1	4,1	301,5

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

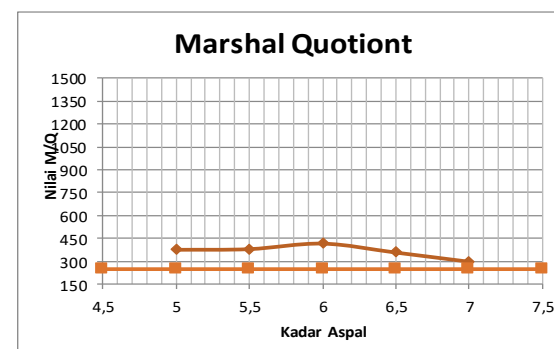
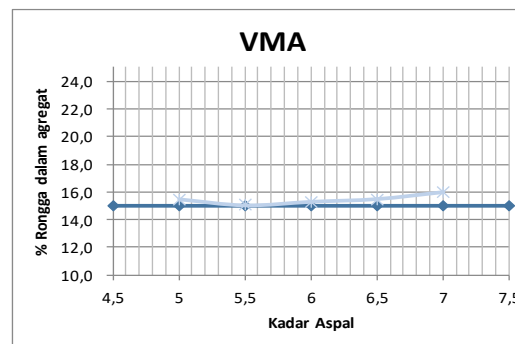
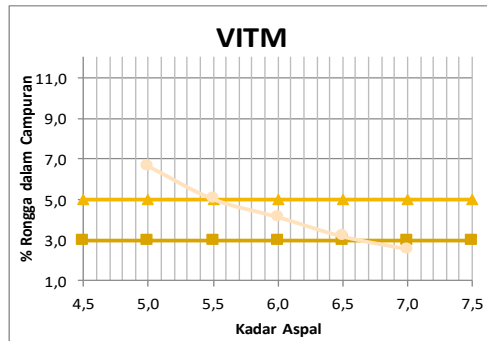
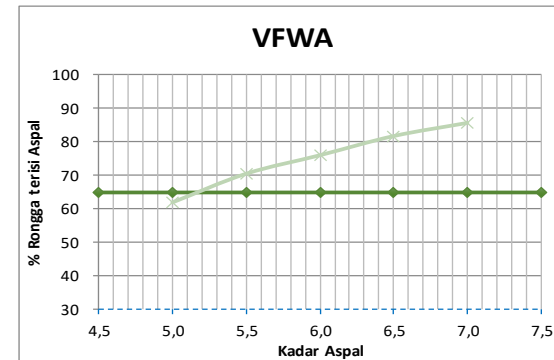
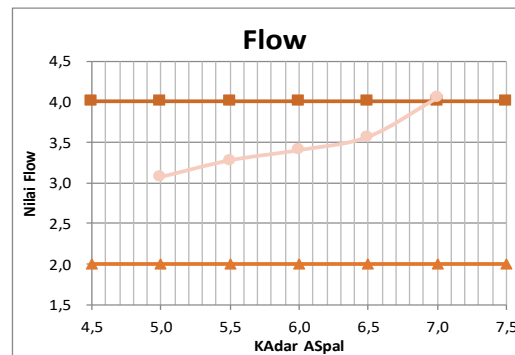
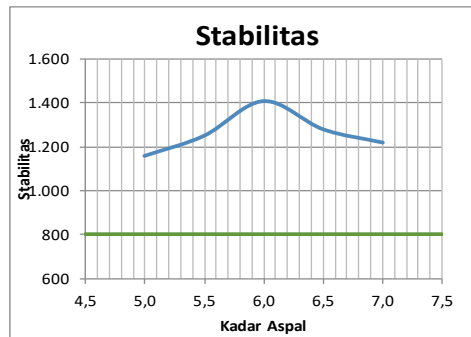
Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



## Lanjutan lampiran 23. Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-WC untuk Menentukan KAO pada Aspal Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA PENGGUNAAN ASPAL PEN 60/70





**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. Hasil Pengujian Marshall Gradasi Superpave dan AC-WC pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL

Tanggal Pengujian

Tipe Campuran *SUPERPAVE*

*ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Kadar Aspal	VITM	VFWA	VMA	Density	Stabilitas	Flow	MQ
		(%)	(%)	(%)	(%)	(gr/mm)	(kg)	(mm)	(kg/mm)
Superpave	Starbit E-55	6,1	4,65	74,79	18,42	2,35	1556,39	3,29	474,49
	Pen 60/70	6	4,32	75,67	17,70	2,37	1469,73	3,44	426,93
AC-WC	Starbit E-55	6,2	4,21	76,30	20,19	2,27	1464,02	3,13	467,75
	Pen 60/70	6,1	3,36	80,23	19,48	2,29	1320,36	3,20	412,68

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042

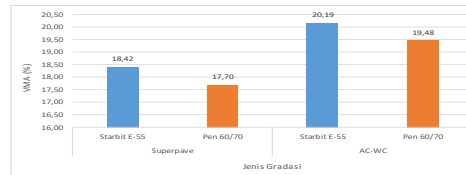
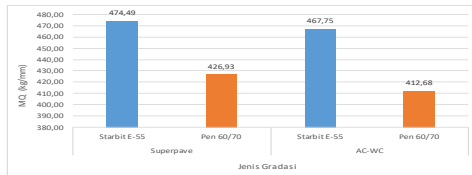
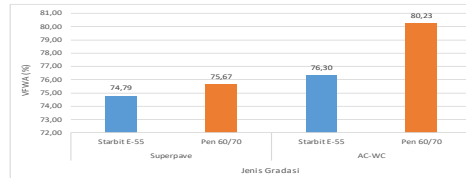
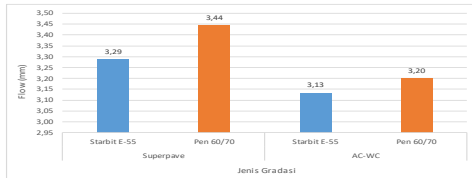
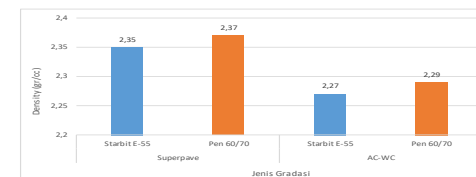
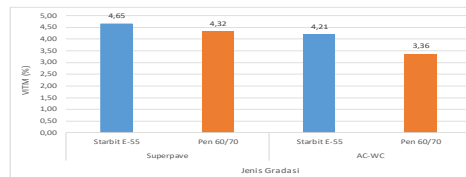
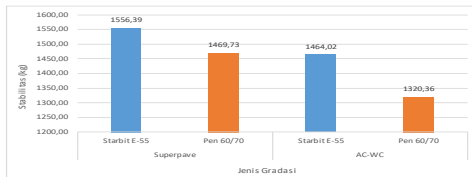


## Lanjutan Lampiran 24. Hasil Pengujian *Marshall Gradasi Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN MARSHALL

Tanggal Pengujian

Tipe Campuran *SUPERPAVE*  
*ACWC*





**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 25. Hasil Pengujian *IRS* Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN *IMMERSION*

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran

*SUPERPAVE*  
*ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Rendaman 0,5 jam	Rendaman 24 jam	<i>Immersion</i>
		Stabilitas (kg)	Stabilitas (kg)	(%)
<i>Superpave</i>	Starbit E-55	1556,39	1458,82	93,73
	Pen 60/70	1469,73	1331,08	90,57
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55	1464,02	1347,18	92,02
	Pen 60/70	1320,36	1194,37	90,46

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042





**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

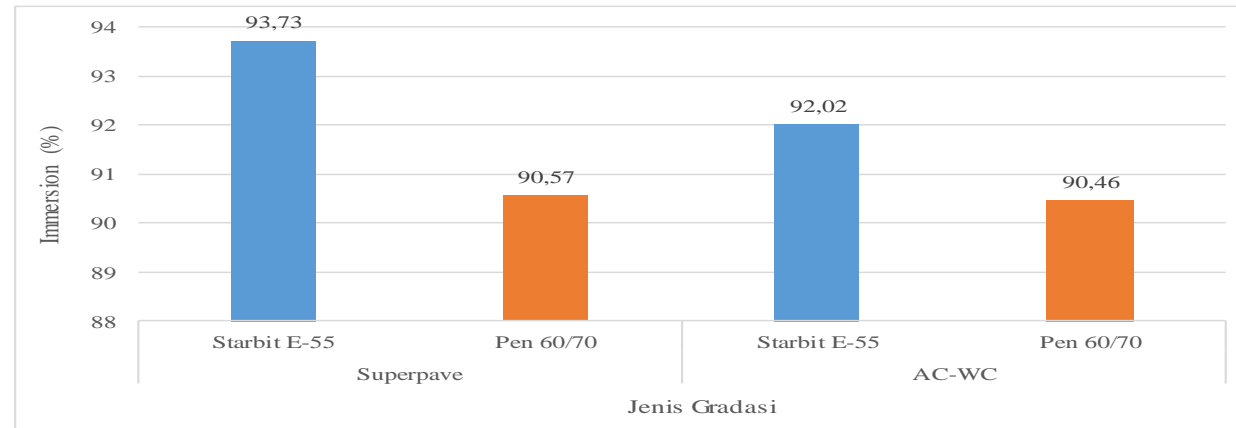
**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**  
Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uui.ac.id

### Lanjutan Lampiran 25. Hasil Pengujian IRS Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

#### HASIL PENGUJIAN *IMMERSION*

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran

*SUPERPAVE*  
*ACWC*





**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 26. Hasil Pengujian *ITS* dan *TSR* Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

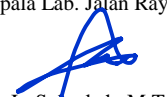
### HASIL PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH DAN TENSILE STRENGTH RATIO

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran


*SUPERPAVE*  
*ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Indirect Tensile Strength		Tensile Strength Ratio (%)
		Rendaman 0 jam	Rendaman 24 jam	
		(kg/cm <sup>2</sup> )	(kg/cm <sup>2</sup> )	
<i>Superpave</i>	Starbit E-55	25,33	23,43	92,51
	Pen 60/70	24,12	22,02	91,27
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55	21,06	19,07	90,56
	Pen 60/70	17,93	16,15	90,10

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

  
Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101

Peneliti,

  
Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042

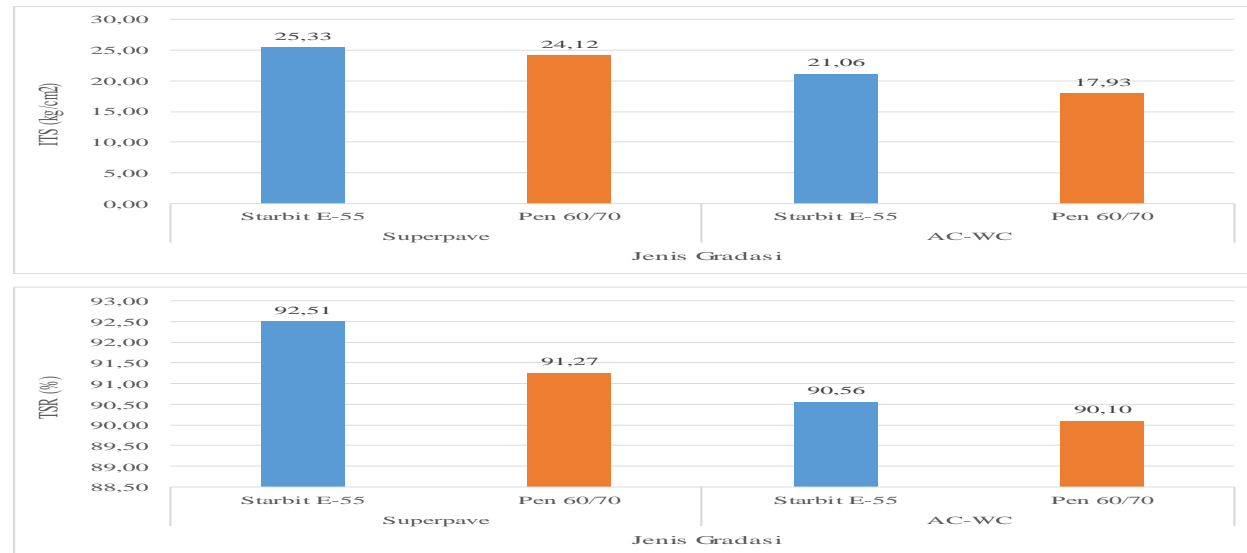


## Lanjutan Lampiran 26. Hasil Pengujian ITS dan TSR Gradasi Superpave dan AC-WC pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH DAN TENSILE STRENGTH RATIO

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran

SUPERPAVE  
ACWC





**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

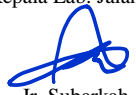

## Lampiran 27. Hasil Pengujian *CL Gradasi Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN *CANTABRO*


Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran      *SUPERPAVE*  
                                 *ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	<i>Cantabro</i>
		(%)
<i>Superpave</i>	Starbit E-55	3,11
	Pen 60/70	4,03
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55	3,26
	Pen 60/70	4,34

Mengetahui,  
Kepala Lab. Jalan Raya UII

  
Ir. Subarkah, M.T.  
NIK : 865110101 

Peneliti,

  
Muhamad Abdul Hadi, S.T.  
NIM : 19914042



**LABORATORIUM  
JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

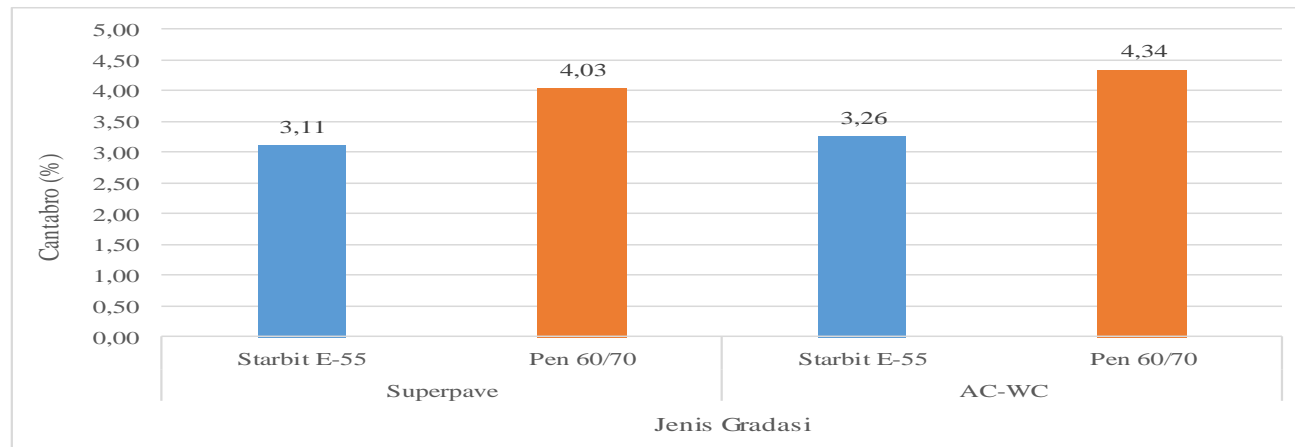
**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**  
Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uui.ac.id

## Lanjutan Lampiran 27. Hasil Pengujian *CL* Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70

### HASIL PENGUJIAN *CANTABRO*

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran

*SUPERPAVE*  
*ACWC*



## Lampiran 28. Nilai *Stiffness Modulus* Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

### NILAI *STIFFNESS MODULUS*

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran *SUPERPAVE*  
*ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Aspal	Temperatur Aspal (°C)	Kecepatan Kendaraan (km/jam)	<i>Stiffness Modulus</i>			
				<i>Sbit</i> (MPa)	<i>Smix</i> (MPa)		
<i>Superpave</i>	Starbit E-55	30	40	5,51	1138,36		
	Pen 60/70			4,34	1120,03		
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55			5,51	816,22		
	Pen 60/70			4,34	782,72		
<i>Superpave</i>	Starbit E-55		60	60	6,39	1261,90	
	Pen 60/70				5,04	1240,28	
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55			6,39	908,87		
	Pen 60/70			5,04	870,86		
<i>Superpave</i>	Starbit E-55			80	80	7,11	1357,11
	Pen 60/70					5,60	1332,87
<i>AC-WC</i>	Starbit E-55		7,11		980,57		
	Pen 60/70		5,60		939,03		

### Lanjutan Lampiran 28. Nilai *Stiffness Modulus* Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70



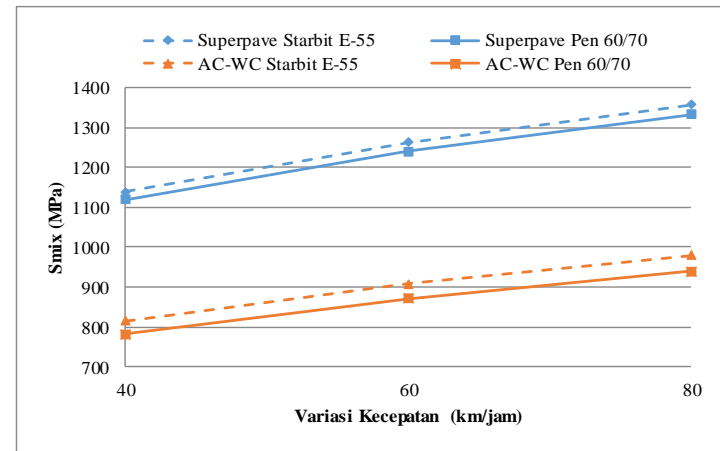
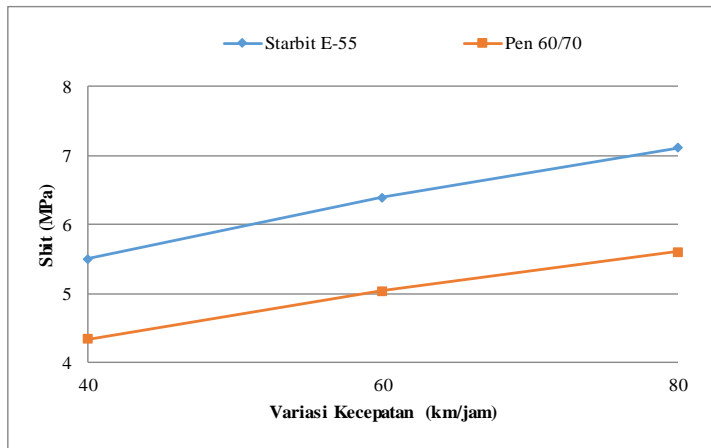
LABORATORIUM JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

#### NILAI STIFNESS MODULUS

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran SUPERPAVE  
ACWC



## Lampiran 29. Nilai Beban Gandar Maksimum dan Prediksi Umur Layanan Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA  
JURUSAN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

### HASIL ANALISA KENPAVE

Tanggal Pengujian  
Tipe Campuran      *SUPERPAVE*  
                                 *ACWC*

Jenis Gradasi	Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Gandar Maksimum	Umur Masa Layanan
			(ESAL)	(Tahun)
Superpave	Starbit E-55	<i>Fatigue Cracking (Nf)</i>	123.310.122	62,6
		<i>Rutting (Nr)</i>	29.386.008	30,1
		<i>Permanent Deformation (Nd)</i>	17.069.613	20,9
	Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking (Nf)</i>	123.070.820	62,5
		<i>Rutting (Nr)</i>	29.211.076	30,0
		<i>Permanent Deformation (Nd)</i>	16.949.689	20,8
AC-WC	Starbit E-55	<i>Fatigue Cracking (Nf)</i>	116.600.803	61,2
		<i>Rutting (Nr)</i>	26.996.056	28,5
		<i>Permanent Deformation (Nd)</i>	15.060.282	19,1
	Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking (Nf)</i>	115.711.693	61,0
		<i>Rutting (Nr)</i>	26.733.851	28,3
		<i>Permanent Deformation (Nd)</i>	14.804.637	18,9



**Lanjutan Lampiran 29. Nilai Beban Gandar Maksimum dan Prediksi Umur Layananan Gradasi *Superpave* dan *AC-WC* pada Penggunaan Aspal Starbit E-55 dan Pen 60/70**



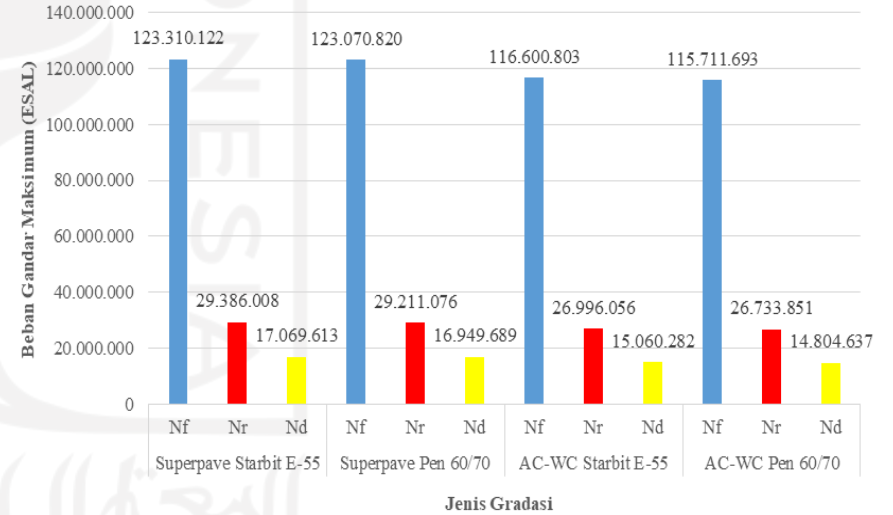
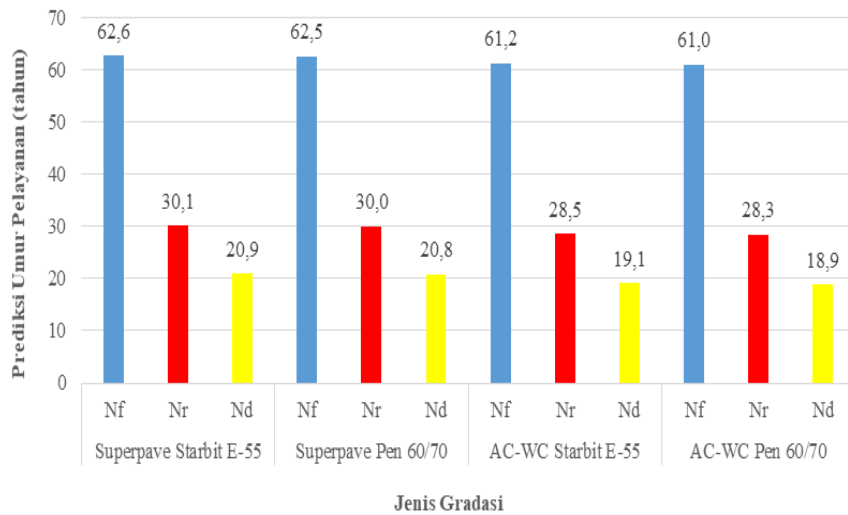
LABORATORIUM JALAN RAYA  
 JURUSAN TEKNIK SIPIL  
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA



Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta

HASIL ANALISA KENPAVE

Tanggal Pengujian  
 Tipe Campuran *SUPERPAVE*  
*ACWC*



### Lampiran 30. Tabel Konstanta A<sub>0</sub>

Diameter (inci)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4
3,5	0,177	0,0766	-0,2847	0,268	-0,9966	0,05056	-0,1545	-0,9765	-0,0204	-0,1545	0,05056
3,6	0,172	0,0745	-0,2769	0,2683	-0,9968	0,04786	-0,1461	-0,9560	-0,0193	-0,1481	0,04786
3,7	0,168	0,0726	-0,2694	0,2685	-0,9970	0,04537	-0,1384	-0,9422	-0,0183	-0,1384	0,04537
3,8	0,164	0,707	-0,2624	0,2688	-0,9971	0,04307	-0,1312	-0,9260	-0,0173	-0,1312	0,04307
3,9	0,16	0,69	-0,2557	0,269	-0,9973	0,04049	-0,1246	-0,9104	-0,0165	-0,1247	0,04094
4	0,156	0,0673	-0,2494	0,2692	-0,9974	0,03896	-0,1185	-0,8954	-0,0156	-0,1185	0,03896
4,1	0,152	0,0657	-0,2433	0,2694	-0,9975	0,03712	-0,1129	-0,8810	-0,0149	-0,1129	0,03712
4,2	0,49	0,0642	-0,2375	0,2696	-0,9976	0,03541	-0,1076	-0,8671	-0,0142	-0,1076	0,03541
4,3	0,45	0,0627	-0,2320	0,2998	-0,9977	0,03381	-0,1027	-0,8537	-0,0136	-0,1027	0,03381
4,4	0,142	0,613	-0,2268	0,2699	-0,9978	0,03232	-0,0981	-0,8409	-0,0130	-0,0981	0,03232
4,5	0,139	0,06	-0,2218	0,2701	-0,9979	0,03092	-0,0938	-0,8282	-0,0124	-0,0938	0,03092
4,6	0,136	0,0587	-0,2170	0,2702	-0,9980	0,02961	-0,0898	-0,8161	-0,0118	-0,0898	0,02961
4,7	0,133	0,575	-0,2124	0,2703	-0,9981	0,02838	-0,0860	-0,8043	-0,0114	-0,0860	0,02839
4,8	0,131	0,0563	-0,2080	0,2704	-0,9982	0,02723	-0,0825	-0,7930	-0,0109	-0,0825	0,02723
4,9	0,128	0,0552	-0,2037	0,2706	-0,9983	0,02618	-0,0792	-0,7820	-0,0105	-0,0792	0,02615
5	0,126	0,0541	-0,1997	0,2707	-0,9983	0,02512	-0,0760	-0,7714	-0,0100	-0,0761	0,02513
5,1	0,123	0,0531	-0,1958	0,2708	-0,9984	0,02418	-0,0731	-0,7610	-0,0097	-0,0731	0,02416
5,2	0,121	0,0521	-0,1920	0,2709	-0,9985	0,02325	-0,0703	-0,7510	-0,0093	-0,0703	0,02325
5,3	0,119	0,0511	-0,1884	0,2709	-0,9985	0,02239	-0,0677	-0,7413	-0,0090	-0,0677	0,02240
5,4	0,116	0,0502	-0,1849	0,271	-0,9986	0,02158	-0,0652	-0,7319	-0,0086	-0,0652	0,02156
5,5	0,114	0,0493	-0,1816	0,2711	-0,9986	0,02081	-0,0629	-0,7227	-0,0083	-0,0629	0,02061
5,6	0,112	0,0484	-0,1783	0,2712	-0,9987	0,02008	-0,0607	-0,7138	-0,0080	-0,0607	0,02008
5,7	0,11	0,0476	-0,1752	0,2713	-0,9987	0,01539	-0,0586	-0,7051	-0,0078	-0,0586	0,01939
5,8	0,109	0,0468	-0,1722	0,2713	-0,9988	0,02874	-0,0566	-0,6967	-0,0075	-0,0566	0,01874
5,9	0,107	0,046	-0,1693	0,2714	-0,9988	0,02811	-0,0547	-0,6884	-0,0072	-0,0547	0,01811
6	0,105	0,0452	-0,1665	0,2714	-0,9988	0,01752	-0,0529	-0,6804	-0,0070	-0,0529	0,01752
6,1	0,103	0,0445	-0,1638	0,2715	-0,9989	0,01695	-0,0512	-0,6727	-0,0068	-0,0512	0,01696
6,2	0,102	0,0438	-0,1611	0,2716	-0,9989	0,01642	-0,0495	-0,6651	-0,0066	-0,0495	0,01642
6,3	0,1	0,0431	-0,1586	0,2716	-0,9989	0,01590	-0,0480	-0,6577	-0,0064	-0,0480	0,01591
6,4	0,099	0,0424	-0,1561	0,2717	-0,9990	0,01542	-0,0465	-0,6504	-0,0062	-0,0465	0,01542
6,5	0,097	0,0418	-0,1537	0,2717	-0,9990	0,01495	-0,0451	-0,6434	-0,0060	-0,0451	0,01495

### Lampiran 31. Hasil Analisis *T-test* Pengujian Sifat Fisik Aspal Starbit E-55 Terhadap Aspal Pen 60/70

#### 1. Berat Jenis

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
BERAT JENIS	Equal variances assumed	.	.	-.783	2	,516	-.02270	,02900	-.14748	,10208
	Equal variances not assumed	.	.	-.783	1,000	,577	-.02270	,02900	-.39116	,34576

#### 2. Penetrasi

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
PENETRASI	Equal variances assumed	.	.	-7,070	2	,019	-5,70000	,80623	-9,16891	-2,23109
	Equal variances not assumed	.	.	-7,070	1,031	,085	-5,70000	,80623	-15,23901	3,83901

#### 3. Daktilitas

The Independent Samples table is not produced.					
Group Statistics					
JENIS ASPAL		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error Mean
DAKTILITAS	STARBIT E-55	2	164,3000	,00000 <sup>a</sup>	,00000
	PEN 60/70	2	164,0000	,00000 <sup>a</sup>	,00000

a. t cannot be computed because the standard deviations of both groups are 0.

#### 4. Titik Nyala

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
TITIK NYALA	Equal variances assumed	.	.	41,000	2	,001	41,00000	1,00000	36,69735	45,30265
	Equal variances not assumed	.	.	41,000	1,000	,016	41,00000	1,00000	28,29380	53,70620

#### 5. Titik Bakar

		Independent Samples Test								
		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means					95% Confidence Interval of the Difference	
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	Lower	Upper
TITIK BAKAR	Equal variances assumed	.	.	13,000	2	,006	32,50000	2,50000	21,74337	43,25663
	Equal variances not assumed	.	.	13,000	1,000	,049	32,50000	2,50000	,73449	64,26551

## 6. Titik Lembek

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
TITIK LEMBЕК	Equal variances assumed			61,000	2	,000	6,10000	,10000	5,66973	6,53027
	Equal variances not assumed			61,000	1,000	,010	6,10000	,10000	4,82938	7,37062

## 7. Kelarutan dalam TCE

**Independent Samples Test**

		Levene's Test for Equality of Variances		t-test for Equality of Means						
		F	Sig.	t	df	Sig. (2-tailed)	Mean Difference	Std. Error Difference	95% Confidence Interval of the Difference	
									Lower	Upper
KELARUTAN TCE	Equal variances assumed			-1,000	2	,423	-,47000	,47000	-2,49225	1,55225
	Equal variances not assumed			-1,000	1,000	,500	-,47000	,47000	-6,44192	5,50192

### Lampiran 32. Hasil Uji Anova Terhadap Karakteristik *Marshall*

#### 1. Stabilitas

##### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

##### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NilaiStabilitas

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	83635.392 <sup>a</sup>	2	41817.696	8.765	.008
Intercept	25321171.22	1	25321171.22	5307.169	.000
JenisCampuran	43839.550	1	43839.550	9.189	.014
JenisAspal	39795.842	1	39795.842	8.341	.018
Error	42940.129	9	4771.125		
Total	25447746.74	12			
Corrected Total	126575.521	11			

a. R Squared = .661 (Adjusted R Squared = .585)

#### 2. Flow

##### Between-Subjects Factors

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

##### Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: NilaiFlow

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.155 <sup>a</sup>	2	.078	9.242	.007
Intercept	127.988	1	127.988	15221.567	.000
JenisCampuran	.118	1	.118	14.035	.005
JenisAspal	.037	1	.037	4.449	.064
Error	.076	9	.008		
Total	128.219	12			
Corrected Total	.231	11			

a. R Squared = .673 (Adjusted R Squared = .600)

3. *Marshall Quetient***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiMQ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	8108.366 <sup>a</sup>	2	4054.183	5.173	.032
Intercept	2383933.420	1	2383933.420	3041.938	.000
JenisCampuran	362.890	1	362.890	.463	.513
JenisAspal	7745.476	1	7745.476	9.883	.012
Error	7053.202	9	783.689		
Total	2399094.989	12			
Corrected Total	15161.568	11			

a. R Squared = .535 (Adjusted R Squared = .431)

4. *VITM***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiVITM

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2.528 <sup>a</sup>	2	1.264	5.919	.023
Intercept	202.623	1	202.623	948.770	.000
JenisCampuran	1.680	1	1.680	7.867	.021
JenisAspal	.848	1	.848	3.971	.077
Error	1.922	9	.214		
Total	207.073	12			
Corrected Total	4.450	11			

a. R Squared = .568 (Adjusted R Squared = .472)

## 5. VFWA

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiVFWA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	46.162 <sup>a</sup>	2	23.081	5.157	.032
Intercept	70898.739	1	70898.739	15842.100	.000
JenisCampuran	31.948	1	31.948	7.139	.026
JenisAspal	14.214	1	14.214	3.176	.108
Error	40.278	9	4.475		
Total	70985.178	12			
Corrected Total	86.440	11			

a. R Squared = .534 (Adjusted R Squared = .430)

## 6. VMA

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiVMA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	10.277 <sup>a</sup>	2	5.139	35.697	.000
Intercept	4298.625	1	4298.625	29860.776	.000
JenisCampuran	8.944	1	8.944	62.131	.000
JenisAspal	1.333	1	1.333	9.262	.014
Error	1.296	9	.144		
Total	4310.198	12			
Corrected Total	11.573	11			

a. R Squared = .888 (Adjusted R Squared = .863)

7. *Density***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	6
	2	AC-WC	6
JenisAspal	1	Starbit E-55	6
	2	Pen 60/70	6

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiDensity

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	.020 <sup>a</sup>	2	.010	77.271	.000
Intercept	64.589	1	64.589	498256.457	.000
JenisCampuran	.019	1	.019	148.114	.000
JenisAspal	.001	1	.001	6.429	.032
Error	.001	9	.000		
Total	64.610	12			
Corrected Total	.021	11			

a. R Squared = .945 (Adjusted R Squared = .933)





**Lampiran 33. Hasil Analisis Anova Terhadap Uji Immersion, ITS, Cantabro dan Stiffness Modulus**

1. *Immersion*

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	2
	2	AC-WC	2
JenisAspal	1	Starbit E-55	2
	2	Pen 60/70	2

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiIRS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	6.398 <sup>a</sup>	2	3.199	4.998	.302
Intercept	33631.892	1	33631.892	52549.831	.003
JenisCampuran	.828	1	.828	1.294	.459
JenisAspal	5.570	1	5.570	8.703	.208
Error	.640	1	.640		
Total	33638.930	4			
Corrected Total	7.038	3			

a. R Squared = .909 (Adjusted R Squared = .727)

2. *Indirect Tensile Strength*

**Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	2
	2	AC-WC	2
JenisAspal	1	Starbit E-55	2
	2	Pen 60/70	2

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiITS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	32.062 <sup>a</sup>	2	16.031	17.395	.167
Intercept	1955.408	1	1955.408	2121.754	.014
JenisCampuran	27.353	1	27.353	29.680	.116
JenisAspal	4.709	1	4.709	5.109	.265
Error	.922	1	.922		
Total	1988.392	4			
Corrected Total	32.983	3			

a. R Squared = .972 (Adjusted R Squared = .916)

3. *Tensile Strenght Ratio***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	2
	2	AC-WC	2
JenisAspal	1	Starbit E-55	2
	2	Pen 60/70	2

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiTSR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	3.156 <sup>a</sup>	2	1.578	10.375	.214
Intercept	33204.128	1	33204.128	218304.592	.001
JenisCampuran	2.434	1	2.434	16.000	.156
JenisAspal	.722	1	.722	4.750	.274
Error	.152	1	.152		
Total	33207.437	4			
Corrected Total	3.308	3			

a. R Squared = .954 (Adjusted R Squared = .862)

4. *Cantabro***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1	Superpave	2
	2	AC-WC	2
JenisAspal	1	Starbit E-55	2
	2	Pen 60/70	2

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiCantabro

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.053 <sup>a</sup>	2	.526	82.258	.078
Intercept	54.317	1	54.317	8487.016	.007
JenisCampuran	.053	1	.053	8.266	.213
JenisAspal	1.000	1	1.000	156.250	.051
Error	.006	1	.006		
Total	55.376	4			
Corrected Total	1.059	3			

a. R Squared = .994 (Adjusted R Squared = .982)

5. *Stiffness Modulus of Mixture***Between-Subjects Factors**

		Value Label	N
JenisCampuran	1.00	Superpave	2
	2.00	AC-WC	2
JenisAspal	1.00	Starbit E-55	2
	2.00	Pen 60/70	2

**Tests of Between-Subjects Effects**

Dependent Variable: NilaiSmix

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	149453.088 <sup>a</sup>	2	74726.544	998.718	.022
Intercept	5312056.944	1	5312056.944	70995.448	.002
JenisCampuran	148371.336	1	148371.336	1982.978	.014
JenisAspal	1081.752	1	1081.752	14.458	.164
Error	74.823	1	74.823		
Total	5461584.855	4			
Corrected Total	149527.911	3			

a. R Squared = .999 (Adjusted R Squared = .998)

