

TESIS

**PENGARUH *STEEL SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT
KASAR DAN ASPAL STARBIT E60 SEBAGAI BAHAN IKAT PADA
PERKERASAN CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-WEARING
COARSE (AC-WC)***

***(THE EFFECT OF STEEL SLAG AS A SUBSTITUTION OF COARSE
AGGREGATE AND STARBIT E60 ASPHALT AS A BINDING
MATERIAL ON ASPHALT CONCRETE-WEARING COARSE)***

HALAMAN JU



Disusun oleh:

ADYATMA ARIF NUGRAHA

19914038

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA**

2021

LEMBAR PERSETUJUAN

TESIS

**PENGARUH *STEEL SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT
KASAR DAN ASPAL STARBIT E60 SEBAGAI BAHAN IKAT
PADA PERKERASAN CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-
WEARING COARSE (AC-WC)***

***(THE EFFECT OF STEEL SLAG AS A SUBSTITUTION OF
COARSE AGGREGATE AND STARBIT E60 ASPHALT AS A
BINDING MATERIAL ON ASPHALT CONCRETE-WEARING
COARSE)***



MIFTAHUL 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

**PENGARUH *STEEL SLAG* SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT
KASAR DAN ASPAL STARBIT E60 SEBAGAI BAHAN IKAT
PADA PERKERASAN CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-
WEARING COARSE (AC-WC)***

***(THE EFFECT OF STEEL SLAG AS A SUBSTITUTION OF
COARSE AGGREGATE AND STARBIT E60 ASPHALT AS A
BINDING MATERIAL ON ASPHALT CONCRETE-WEARING
COARSE***



Disusun oleh:

**ADYATMA ARIF NUGRAHA
19914038**

Telah diuji di depan Dewan Penguji

Pada tanggal
الجمعة الثامن عشر من شهر ربيع الأول سنة 1442

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

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

Dosen Pembimbing II

(Ir. Subarkah, M.T.)

Dosen Penguji

(Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA.)

Yogyakarta, 05 OCT 2021

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Ketua Program,



(Ir. Fitri Nugraheni, ST., MT., Ph.D., IP-M.)

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 11 Agustus 2021

Yang membuat pernyataan,



ADYATMA ARIF NUGRAHA

NIM: 19914038

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT tuhan semesta alam, yang mana dengan segala rahmat dan hidayahnya lah penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul Pengaruh *Steel Slag* Sebagai Substitusi Agregat Kasar Dan Aspal Starbit E60 Sebagai Bahan Ikat Pada Perkerasan Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Coarse (Ac-Wc)*. 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 saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak alhamdulillah Tesis ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya 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 ini,
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku Dosen Penguji Tesis, yang selalu memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari,
3. Ibu Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan
4. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

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

Yogyakarta, 11 Agustus 2021
Penulis

Adyatma Arif Nugraha
(19914038)

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xiii
ABSTRAK	xxi
ABSTRACT	xxii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Campuran <i>Asphalt Concrete – Wearing Coarse</i> Menggunakan Aspal <i>Polymer</i> Modifikasi	5
2.2 Penggunaan <i>Steel Slag</i> Sebagai Agregat Pada Perkerasan Jalan	6
2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Mengenai <i>Steel Slag</i> dan Aspal Polimer yang akan Dilaksanakan	8
BAB III LANDASAN TEORI	11
3.1 Perkerasan Jalan	11
3.2 Aspal Beton Lapis Aus (<i>AC-WC</i>)	11
3.3 Bahan Penyusun Campuran	12
3.3.1 Agregat	12
3.3.2 Aspal	14
3.4 Pengujian <i>Marshall</i>	15
3.4.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)	15
3.4.2 Kelelahan (<i>Flow</i>)	15

3.4.3	<i>Marshall Question (MQ)</i>	16
3.4.4	<i>Void in the Total Mix (VIM)</i>	16
3.4.5	<i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	17
3.4.6	<i>Void Filled with Asphalt (VFWA)</i>	17
3.4.7	Kepadatan (<i>Density</i>)	18
3.5	Pengujian <i>Cantabro Loss</i>	18
3.6	Pengujian Kinerja Ketahanan Campuran	19
3.7.1	Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	19
3.7.2	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	20
3.7	<i>Stiffness</i> Modulus	20
BAB IV	METODE PENELITIAN	23
4.1	Metode Penelitian	23
4.2	Metode Pengambilan Data	23
4.3.1	Data Primer	23
4.3	Tahapan Penelitian	24
4.4.1	Persiapan Bahan	24
4.4.2	Persiapan Alat	25
4.4.3	Perencanaan Campuran	26
4.4.5	Perencanaan Jumlah Benda Uji	31
4.5	Pengujian Yang Dilakukan	33
4.5.1	Pengujian <i>Marshall</i>	33
4.5.2	Penentuan Kadar Aspal Optimum	34
4.5.3	Pengujian <i>Immersion</i>	34
4.5.4	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	35
4.5.5	Pengujian <i>Cantabro</i>	35
4.6	Analisis Data	35
4.8	Analisis Statistik	37
4.7	Diagram Alir Penelitian	39
BAB V	HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN	40
5.1	Hasil Pengujian Bahan Dan Pembahasan Campuran AC-WC	40
5.1.1	Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Aspal	40
5.1.2	Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Agregat	43

5.1.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan Campuran AC- WC Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	45
5.1.4 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	62
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran AC-WC Pada Kadar Aspal Optimum	62
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	84
6.1 Kesimpulan	84
6.2 Saran	85
DAFTAR PUSTAKA	86
LAMPIRAN	90



DAFTAR GAMBAR

Gambar 4. 1	Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 0%	29
Gambar 4. 2	Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 25%	30
Gambar 4. 3	Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 50%	31
Gambar 4. 4	Diagram Alir Penelitian	39
Gambar 5. 1	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Pertamina Pen 60/70	46
Gambar 5. 2	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Pertamina Starbit E60	46
Gambar 5. 3	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Pertamina Pen 60/70	47
Gambar 5. 4	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Starbit E60	48
Gambar 5. 5	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Pertamina Pen 60/70	48
Gambar 5. 6	Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Starbit E60	49
Gambar 5. 7	Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	51
Gambar 5. 8	Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	51
Gambar 5. 9	Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	52
Gambar 5.10	Grafik Flow dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	53
Gambar 5. 11	Grafik Flow dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	53

Gambar 5. 12 Grafik Flow dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	53
Gambar 5. 13 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	54
Gambar 5. 14 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	55
Gambar 5. 15 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	55
Gambar 5. 16 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	56
Gambar 5. 17 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	56
Gambar 5. 18 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	57
Gambar 5. 19 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	57
Gambar 5. 20 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	58
Gambar 5. 21 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	58
Gambar 5. 22 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	59
Gambar 5. 23 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	59
Gambar 5. 24 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	60
Gambar 5. 25 Grafik Density dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	61
Gambar 5. 26 Grafik Density dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	61

Gambar 5. 27 Grafik Density dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	61
Gambar 5. 28 Grafik Stabilitas pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	64
Gambar 5. 29 Bar Chart Stabilitas pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	65
Gambar 5. 30 Grafik Flow pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	66
Gambar 5. 31 Bar Chart Flow pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	66
Gambar 5. 32 Grafik MQ pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	67
Gambar 5. 33 Bar Chart MQ pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	68
Gambar 5. 34 Grafik VITM pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E60	69
Gambar 5. 35 Bar Chart VITM pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E60	69
Gambar 5. 36 Grafik VFWA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	70
Gambar 5. 37 Bar Chart VFWA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal	71

Gambar 5. 38 Grafik VMA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	72
Gambar 5. 39 Bar Chart VMA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	72
Gambar 5. 40 Grafik Density pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	73
Gambar 5. 41 Bar Chart Density pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60	74
Gambar 5. 42 Grafik ITS Pada Variasi Agregat Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Starbit E60	75
Gambar 5.43 Bar Chart ITS Pada Variasi Agregat Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Starbit E60	76
Gambar 5. 44 Grafik Karakteristik Cantabro Pada Kondisi KAO	78
Gambar 5. 45 Bar Chart Cantabro Pada Kondisi KAO	78
Gambar 5. 46 Grafik Karakteristik IRS Pada Kondisi KAO	80
Gambar 5. 47 Bar Chart Karakteristik IRS Pada Kondisi KAO	80
Gambar 5. 48 Grafik Stiffnes Mixture	82
Gambar 5. 49 Bar Chart Stiffnes Mixture	82

DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1	Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Steel Slag dan Aspal Polimer	8
Tabel 2. 2	Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Steel Slag dan Aspal Polimer	9
Tabel 2. 3	Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang Steel Slag dan Aspal Polimer	10
Tabel 3. 1	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	12
Tabel 3. 2	Spesifikasi Agregat Kasar	13
Tabel 3. 3	Spesifikasi Agregat Halus	14
Tabel 3. 4	Persyaratan Aspal Keras	15
Tabel 4. 1	Gradasi Rencana	27
Tabel 4. 2	Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 0%	28
Tabel 4. 3	Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 25%	29
Tabel 4. 4	Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 50%	30
Tabel 4. 5	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO Aspal Pen 60/70	31
Tabel 4. 6	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian Marshall, Immersion, ITS, dan Cantabro pada KAO Aspal Pen 60/70	32
Tabel 4. 7	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO Aspal Starbit E-60	32
Tabel 4. 8	Jumlah Benda Uji untuk Pengujian Marshall, Immersion, ITS, dan Cantabro pada KAO Aspal Starbit E-60	33
Tabel 5. 1	Hasil pengujian Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	40
Tabel 5. 2	Hasil pengujian Karakteristik Aspal Starbit E-60	40
Tabel 5. 3	Hasil Uji Analisis Statistik Sifat Fisik Aspal	41
Tabel 5. 4	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	43
Tabel 5. 5	Hasil Uji Analisis Statistik Sifat Fisik Agregat Kasar	43
Tabel 5. 6	Hasil Pengujian Agregat Halus	43
Tabel 5. 7	Hasil Pengujian Filler	43

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% substitusi Steel Slag Aspal Pertamina Pen 60/70	45
Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% Aspal Starbit E60	46
Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Aspal Pertamina Pen 60/70	47
Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Aspal Pertamina Starbit E60	47
Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Aspal Pertamina Pen 60/70	48
Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Aspal Starbit E60	49
Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 75% Aspal Pertamina Pen 60/70	49
Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 75% Aspal Starbit E60	50
Tabel 5. 16 Hasil Uji Analisis Statistik	50
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	62
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Marshall Standar Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70	63
Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Marshall Standar Pada KAO Aspal Starbit E-60	63
Tabel 5. 20 Hasil Analisis Statistik Uji Marshall Setelah KAO Berdasarkan Jenis Substitusi Agregat	63
Tabel 5. 21 Hasil Analisis Statistik Uji Marshall Setelah KAO Berdasarkan Jenis Substitusi Agregat	64
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60	75
Tabel 5. 23 Hasil Pengujian Cantabro pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-60	77

Tabel 5. 24 Hasil Pengujian IRS pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-60 79

Tabel 5. 25 Hasil Perhitungan Stiffnes Modulus Bitumen dan Stiffness Modulus Mixture pada KAO Aspal Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 81



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1	Pemeriksaan Berat Jenis Filler Clereng	91
Lampiran 2	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	92
Lampiran 3	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	93
Lampiran 4	Pemeriksaan Sand Equivalent	94
Lampiran 5	Pemeriksaan Keausan Agregat	95
Lampiran 6	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	96
Lampiran 7	Pemeriksaan Keausan Agregat	97
Lampiran 8	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	98
Lampiran 9	Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE	99
Lampiran 10	Pemeriksaan Daktilitas	100
Lampiran 11	Titik Nyala & Titik Bakar Aspal	101
Lampiran 12	Pemeriksaan Penetrasi Aspal	102
Lampiran 13	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	103
Lampiran 14	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	104
Lampiran 15	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	105
Lampiran 16	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	106
Lampiran 17	Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE	107
Lampiran 18	Pemeriksaan Daktilitas	108
Lampiran 19	Titik Nyala & Titik Bakar Aspal	109
Lampiran 20	Pemeriksaan Penetrasi Aspal	110
Lampiran 21	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	111
Lampiran 22	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	112
Lampiran 23	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	113
Lampiran 24	Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi Steel Slag 0%	114
Lampiran 25	Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi Steel Slag 0%	115

Lampiran 26 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi Steel Slag 25%	116
Lampiran 27 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi Steel Slag 25%	117
Lampiran 28 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi Steel Slag 50%	118
Lampiran 29 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi Steel Slag 50%	119
Lampiran 30 Pengujian Marshall pada KAO Aspal Pen 60/70 dengan Persen Substitusi Steel Slag 0%, 25% dan 50%	120
Lampiran 31 Pengujian Marshall pada KAO Aspal Starbit E60 dengan Persen Substitusi Steel Slag 0%, 25% dan 50%	121
Lampiran 32 Pengujian Cantabro pada Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%	122
Lampiran 33 Pengujian ITS pada Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%	123
Lampiran 34 Pengujian Immersion pada KAO Aspal Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%	125

DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

Notasi:

- a : persentase aspal terhadap batuan (%)
- b : persentase aspal terhadap campuran (%)
- c : berat kering sebelum direndam
- d : berat basah jenuh (*SSD*)
- e : berat di dalam air
- f : volume benda uji (cc)
- g : berat isi sampel (gr/cc)
- h : berat jenis maksimum teoritis campuran
- i : persen aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis aspal (%)
- j : persentase hasil pengurangan 100 dengan persentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis agregat (%)
- k : jumlah kandungan rongga (%)
- l : rongga terhadap agregat (*VMA*) (%)
- m : rongga terisi aspal (*VFWA*) (%)
- n : rongga dalam campuran (*VITM*) (%)
- o : nilai pembacaan arloji stabilitas
- p : nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi *proving ring*
- q : stabilitas (kg)
- r : *flow* (mm)
- s : tebal benda uji (cm)
- P maks : beban puncak (kg)
- h : tinggi sampel (cm)
- K : koefisien permeabilitas (cm/dtk)
- V : volume rembesan (cm³)
- γ_{Air} : berat jenis air (kg/cm³)
- L : panjang atau tinggi sampel (cm)

- T : lama waktu rembesan (dtk)
- P : tekanan air (kg/cm²)
- A : luas penampang sampel (cm²)
- L : persentase kehilangan berat (%)

Istilah:

- Agregat : sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, yang berasal dari alam atau buatan.
- Agregat Halus : bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,075 mm).
- Agregat Kasar : agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm).
- Aspal : material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur berbentuk padat sampai agak padat.
- Bleeding* : naiknya aspal ke permukaan.
- Bahan Pengisi / *Filler* : butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
- Density* : nilai yang menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan.
- Gradasi Agregat : distribusi ukuran butiran agregat atau pengelompokkan agregat dengan ukuran yang berbeda.
- Marshall Test* : menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal.
- Stabilitas : kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.
- Durabilitas : kemampuan lapisan perkerasan menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.
- Fleksibilitas : kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

- Workability* : kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.
- Flow* : besarnya deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat beban yang diterima.
- VMA* : rongga udara antar butiran agregat dalam campuran aspal beton.
- VIM* : persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan.
- VFWA* : persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal.
- Marshall Quotient* : perbandingan antara stabilitas dengan nilai *Flow*.
- Immersion Test* : pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat dari perubahan air, suhu, dan cuaca.
- Index of Retained Strength* : persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam dibandingkan dengan stabilitas campuran 0,5 jam.
- Indirect Tensile Strength* : pengujian untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik.

ABSTRAK

Dengan makin meningkatnya volume kendaraan maka kerusakan yang terjadi di pada perkerasan jalan semakin meningkat. *Steel slag* merupakan salah satu limbah yang tercipta dari produksi peleburan baja, di Indonesia volume *Steel Slag* yang tercipta akibat dari produksi baja semakin meningkat, sehingga produsen baja kewalahan dalam mendaur ulang produk tersebut, disamping itu, *Steel Slag* masih dalam kategori limbah berbahaya yang bisa dimanfaatkan, berkaitan dengan hal tersebut maka peneliti melakukan penelitian menggunakan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat kasar dalam campuran AC-WC serta menggunakan aspal polymer Starbit E60 dan Aspal Pen 60/70 sebagai bahan ikat.

Dalam penelitian ini terbagi menjadi 4 tahap yaitu pengujian Agregat dan Aspal, kedua menentukan kadar aspal optimum pada campuran substitusi 0%, 25%, 50% dengan bahan ikat aspal pen 6070 dan starbit E60, ketiga melakukan pengujian *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strenght*, *Cantabro* dan Perhitungan *Stiffness Modulus* pada masing-masing persen substitusi *Steel Slag*. Keempat melakukan analisis, pembahasan dan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

Dari hasil pengujian menyatakan bahwa persentase maksimum substitusi *Steel Slag* sebesar 50% baik pada campuran yang menggunakan Starbit E60 maupun yang menggunakan Pen 60/70 sebagai bahan ikat, dikarenakan substitusi diatas 50% tidak memenuhi persyaratan pada parameter *Marshall* yaitu *VITM*, pada campuran ini juga terjadi peneurunan *VMA* seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag*. Penggunaan *Steel Slag* juga meningkatkan nilai Stabilitas *Marshall* dan menaikkan kekuatan Tarik tidak langsung yang diperoleh dari pengujian *ITS*, dalam hal ini penggunaan aspal Starbit terbukti lebih baik dalam hal meningkatkan nilai *ITS* dan Parameter *Marshall*. Dalam pengujian *immersion* diketahui bahwa starbit memiliki peran dalam ketahanan campuran pada kondisi suhu yang ekstrem, dibandingkan dengan aspal Pen 60/70 sedangkan dalam pengujian *Cantabro* penggunaan *Steel Slag* menurunkan nilai *Cantabro Loss* dikarenakan *Steel Slag* memiliki Sifat *interlocking* agregat yang kuat, serta penggunaan Starbit E60 juga terbukti menurunkan nilai *Cantabro loss* dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Aspal Pen 60/70. Nilai *Stiffnes Modulus* pada campuran juga semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag*

Kata Kunci: *Steel Slag*, *Starbit E60*, *Marshall*, *Immersion*, *Cantabro*, *ITS*

ABSTRACT

With the increasing volume of vehicles, the damage that occurs on the road pavement is increasing. Steel slag is one of the wastes created from the production of steel smelting, in Indonesia the volume of Steel Slag created as a result of steel production is increasing, so that steel producers are overwhelmed in recycling these products, in addition, Steel Slag is still in the category of hazardous waste that can be utilized, related to this, the researchers conducted a study using Steel Slag as a substitute for coarse aggregate in the AC-WC mixture and using Starbit E60 polymer asphalt and Pen 60/70 asphalt as binding materials.

In this research, it was divided into 4 stages, namely Aggregate and Asphalt testing, the second was to determine the optimum asphalt content in the substitution mixture of 0%, 25%, 50% with binder asphalt pen 6070 and Starbit E60, the third was to test Marshall, Immersion, Indirect Tensile Strength, Cantabro and Calculation of Stiffness Modulus on each percent substitution of Steel Slag. Fourth, analyze, discuss and conclude the results of the research that has been done.

From the test results, it is stated that the maximum percentage of Steel Slag substitution is 50% both in mixtures that use Starbit E60 and those that use Pen 60/70 as a binding material, because substitutions above 50% do not meet the requirements for the Marshall parameter, namely VITM, in this mixture also occurs the decrease in VMA is in line with the increase in substitution of Steel Slag. The use of Steel Slag also increases the value of Marshall Stability and increases the indirect tensile strength obtained from the ITS test, in this case the use of Starbit asphalt is proven to be better in terms of increasing the value of ITS and Marshall Parameters. In the immersion test, it is known that starbit has a role in the resistance of the mixture under extreme temperature conditions, compared to Pen 60/70 asphalt, while in the Cantabro test the use of Steel Slag reduces the Cantabro Loss value because Steel Slag has strong aggregate interlocking properties, and the use of Starbit E60 also proven to reduce the value of Cantabro loss compared to the mixture using Asphalt Pen 60/70. The value of the Stiffness Modulus in the mixture also increases along with the increase in the substitution of Steel Slag

Keywords: Steel Slag, Starbit E60, Marshall, Immersion, Cantabro, ITS

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Jalan merupakan sarana transportasi yang sangat penting, dengan adanya pertumbuhan lalu lintas dan kendaraan maka sangat penting untuk melakukan peningkatan kualitas dari perkerasan jalan agar dapat melayani beban lalu lintas kendaraan dengan baik. Kondisi perkerasan jalan yang baik tentunya akan memperlancar mobilitas dari kendaraan dan juga penghematan terhadap biaya perawatan jalan.

Seiring dengan tingginya tingkat produksi baja saat ini, yang diakibatkan oleh tingginya permintaan baja sebagai material dalam proyek konstruksi, yang diikuti dengan meningkatnya jumlah limbah berupa *Slag* dari sisa peleburan baja, keadaan ini mendorong untuk perlunya melakukan penelitian menggunakan *Steel Slag* sebagai material agregat kasar perkerasan jalan, sebagai upaya untuk mengurangi penumpukan dari limbah baja tersebut.

Starbit E60 merupakan aspal yang sudah dimodifikasi dengan penambahan *polymer*, aspal ini sangat sering digunakan di Indonesia, terutama di wilayah dengan suhu yang relatif tinggi, dikarenakan aspal Starbit E60 lebih tahan terhadap suhu tinggi, dibuktikan dengan karakteristik berupa titik leleh yang lebih tinggi dari aspal konvensional lainnya. Penelitian mengenai aspal Starbit E60 sudah banyak dilakukan di Indonesia, pada penelitian Noer dkk (2018) menggunakan Starbit E60 pada campuran AC-WC menunjukkan bahwa aspal Starbit E60 memiliki kualitas yang lebih baik dibanding aspal Pen 60/70 biasa. Penelitian lain dilakukan oleh Zhi, dkk (2012) tentang penggunaan aspal dengan penambahan polimer berupa *Gilsonite* guna mengurangi kerusakan *fatigue cracking* oleh beban berulang. Penelitian ini menyimpulkan bahwa perkerasan yang menggunakan aspal dengan penambahan polimer memiliki umur retak Lelah yang lebih lama daripada perkerasan yang tidak menggunakan aspal dengan penambahan polimer

Steel Slag merupakan limbah yang diperoleh dari hasil peleburan pabrik pengolahan baja pada proses terak tanur tinggi. Di Indonesia dengan perkembangan industri baja yang semakin pesat mengakibatkan terciptanya *slag* baja sebanyak 800 ribu ton/tahun, yang menyebabkan permasalahan dipihak produsen baja, karena ada kewajiban pengolahan slag baja sedangkan *slag* baja sendiri menurut PP 18 tahun 1999 merupakan limbah B3 dari sumber spesifik. Pada penelitian Goenawan dan Oetedjo (2011) diperoleh bahwa limbah slag baja berpengaruh positif terutama terhadap peningkatan ketahanan terhadap lendutan yang tinggi pada campuran beton aspal. Penelitian lain yang dilakukan Liu dkk (2019) menyimpulkan bahwa kondisi permukaan agregat yang berasal dari *slag* baja yang kasar memiliki nilai stabilitas yang tinggi dan tingkat pemuaihan yang rendah, hal ini memiliki risiko berupa mudahnya campuran aspal mengalami retak akibat stabilitas yang tinggi tapi pemuaihan yang rendah

Berdasarkan beberapa penelitian yang pernah dilakukan sebelumnya maka perlu dilakukan penelitian lanjutan dengan kombinasi antara agregat *Steel Slag* dan aspal polimer jenis Starbit E60 dengan kajian karakteristik berupa hasil pengujian *Indirect Tensile Streght, Immersion, Cantabro* serta Perhitungan *Stiffnes Modulus* bitumen dan campuran

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang masalah di atas, maka dapat dibuat rumusan masalah penelitian sebagai berikut.

1. Bagaimana perbandingan karakteristik *Marshall* antara campuran AC-WC yang menggunakan substitusi *Steel Slag* sebagai agregat kasar dibandingkan agregat kasar andesit Clereng serta penggunaan aspal Pen 60/70 dan Starbit E60
2. Bagaimana perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel Slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *ITS (Indirect Tensile Strength)*
3. Bagaimana perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel Slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *Cantabro*

4. Bagaimana perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *IRS (Indeks or Retained Sterngth)*?
5. Bagaimana perbandingan nilai *Stiffness Modulus* campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 serta AC-WC yang menggunakan agregat andesit Clereng dan *Steel Slag*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka diperoleh tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mengetahui perbedaan perbandingan karakteristik *Marshall* antara campuran AC-WC yang menggunakan substitusi *Steel Slag* sebagai agregat kasar dibandingkan agregat kasar andesit Clereng serta penggunaan aspal Pen 60/70 dan Starbit E60
2. Mengetahui perbedaan perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel Slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *ITS (Indirect Tensile Strength)*, , *Imerssion*, *Cantabro*
3. Mengetahui perbedaan perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel Slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *Cantabro*
4. Mengetahui perbedaan perbandingan kinerja campuran AC-WC dengan substitusi *Steel Slag* dan menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60 terhadap nilai *IRS (Indeks or Retained Sterngth)*?
5. Mengetahui perbedaan perbandingan nilai *Stiffness Modulus* campuran AC-WC yang menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Starbit E-55 serta AC-WC yang menggunakan agregat andesit Clereng dan *Steel Slag*?

1.4 Manfaat Penelitian

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

1. Memberikan pengetahuan tentang teknologi perkerasan lentur, khususnya pada campuran *AC-WC* dengan substitusi *Steel Slag*.
2. Memberikan pengetahuan tentang manfaat *Steel slag* pada perkerasan jalan.
3. Meningkatkan pengetahuan penggunaan bahan ikat aspal *polymer* dan pengembangannya.

1.5 Batasan Masalah

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

1. Campuran yang digunakan untuk penelitian yaitu campuran *AC-WC*.
2. Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal Starbit E-60 dari PT Bintang Djaja dan aspal Pen 60/70.
3. Reaksi dan sifat kimia *Steel Slag* tidak ditinjau.
4. Substitusi *Steel Slag* dipakai adalah 0%, 25% dan 50%
5. Material agregat yang digunakan berasal dari Clereng, Kulonprogo
6. Spesifikasi yang menjadi acuan yaitu Spesifikasi Direktorat Jenderal Direktorat Jenderal Bina Marga 2018
7. Pengujian yang dilakukan meliputi uji *Marshall*, *Cantabro*, *ITS*, *IRS* dan perhitungan *Stiffness Modulus*

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Campuran *Asphalt Concrete – Wearing Coarse* Menggunakan Aspal *Polymer Modifikasi*

Campuran *AC-WC* merupakan campuran yang saat ini paling umum digunakan di Indonesia, *AC-WC* terletak pada lapisan paling atas dari perkerasan jalan, dan bersentuhan langsung dengan kendaraan, dengan ini maka lapisan tersebut didesain memiliki kestabilan dan ketahanan tinggi untuk melayani beban lalu lintas. Namun dengan adanya intensitas kendaraan yang tinggi dan kondisi alam yang tidak menentu seperti contohnya banjir, maka sering terjadi kerusakan pada lapisan tersebut. Beberapa penelitian dilakukan sebagai upaya meningkatkan kinerja dari lapisan *AC-WC*. (Putra. 2018) melakukan penelitian tentang penggunaan aspal *polymer* Starbit E60 pada campuran *AC-WC* ditambah dengan pengaruh air sungai sebagai factor alam, disini disimpulkan bahwa aspal *polymer* Starbit memiliki kinerja yang lebih bagus pada karakteristik *marshall* dan Durabilitas rendaman menggunakan pengujian *immersion*. Penelitian lain dilakukan oleh Zhi dkk (2018) tentang penggunaan aspal modifikasi dengan tambahan *gilsonite* pada perkerasan *AC-WC* dan *SMA*, dari penelitian ini disimpulkan bahwa penambahan *gilsonite* sebagai modifikasi pada aspal membuat campuran lebih tahan pada kerusakan *fatigue cracking* (retak lelah) yang disebabkan oleh beban kendaraan berulang yang tinggi. Penelitian lain berikutnya dilakukan oleh Ren dkk (2020) dengan menambahkan aspal *polymer* dengan viskositas rendah ke dalam campuran yang menggunakan aspal daur ulang, penelitian ini menghasilkan kesimpulan bahwa campuran dengan penambahan aspal *polymer* ber-viskositas rendah dapat mengembalikan sifat kental dari aspal daur ulang, tahan terhadap retak pada suhu rendah, kelelahan pada aspal yang sudah tua, *rutting* pada suhu tinggi dan anti penuaan

Penelitian Zhi dkk (2012) yang menyatakan bahwa aspal dengan penambahan *polymer* memiliki nilai *stiffnes modulus* yang lebih besar dan lebih

dianjurkan untuk jalan dengan lalu lintas tinggi serta lebih bertahan terhadap kerusakan retak. Wang dkk (2018) mengatakan dalam penelitiannya bahwa penambahan polimer terhadap aspal konvensional biasa dapat meningkatkan nilai *Stiffnes* dari campuran maupun aspal sehingga menyebabkan campuran tersebut lebih tahan terhadap deformasi dan suhu yang tinggi, dalam penelitian ini juga menjelaskan bahwa campuran yang menggunakan aspal polimer memiliki nilai rongga yang cenderung lebih rendah.

2.2 Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Agregat Pada Perkerasan Jalan

Steel Slag merupakan limbah sisa dari proses peleburan baja, tingginya tingkat produksi baja menimbulkan masalah dengan banyaknya limbah *steel slag* yang dihasilkan, dimana pengolahannya sulit dilakukan. Penelitian menggunakan *steel slag* sebagai alternatif agregat pada perkerasan jalan telah banyak dilakukan diantaranya penelitian yang dilakukan Passeto dkk (2018) mengenai penggunaan *steel slag* sebagai agregat pada perkerasan jalan menyimpulkan bahwa *steel slag* menyebabkan peningkatan ketahanan terhadap rutting dan permanen deformasi tetapi menyebabkan penurunan sebesar 20% pada ketahanan terhadap *fatigue*. Penelitian berikutnya dilakukan oleh Chen dan Wei (2016) tentang penggunaan *steel slag* pada campuran *Split Mastic Asphalt* meningkatkan mekanisme *interlocking* karena material *Steel Slag* bertekstur kasar, meningkatkan kekuatan tarik berdasarkan pengujian *Indirect Tensile Strength*, campuran dengan tambahan *steel slag* juga memiliki ketahanan terhadap rutting yang tinggi dibandingkan dengan yang menggunakan agregat alami.

Penelitian berikutnya dilakukan oleh Passeto dan Baldo (2012) tentang penggunaan *Steel Slag* dan *Reclaimed Asphalt Pavement* pada perkerasan jalan menyimpulkan bahwa penggunaan bahan tersebut meningkatkan umur terhadap *fatigue* dan menurunkan kekakuan sebesar 50%. Penelitian tentang penggunaan *steel slag* pada campuran dengan gradasi rapat dan terbuka juga dilakukan oleh Oluwasola dkk (2016), penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan *steel slag* pada campuran bergradasi rapat dan terbuka menaikkan tingkat ketahanan terhadap deformasi permanen, rutting dan memiliki kekuatan Tarik lebih tinggi pada pengujian *indirect tensile strength*. Kemudian penelitian juga dilakukan oleh Chen dkk (2020) mengenai sifat-sifat campuran beton aspal yang menggunakan *steel slag*

sebagai agregat kasar menghasilkan nilai kuat tarik tidak langsung yang semakin naik seiring dengan naiknya jumlah *steel slag*, artinya campuran yang menggunakan *steel slag* mempunyai ketahanan terhadap Tarik yang lebih tinggi. Penelitian lain yang serupa menggunakan *Steel Slag* sebagai bahan agregat dilakukan oleh Kok dan Koluglu (2008) menyatakan bahwa kandungan oksigen yang terdapat dalam *Steel Slag* mempengaruhi kenaikan nilai dari kekakuan campuran, semakin besar penambahan *Steel Slag* maka semakin tinggi nilai *Stiffness* dari campuran tersebut, penggunaan *Steel Slag* sebagai bahan substitusi agregat juga terbukti meningkatkan nilai *Stiffness Modulus* campuran, pernyataan ini didasari oleh penelitian dari Behiry (2013).

Penggunaan *Steel Slag* sebagai bahan tambah hanya sampai dengan substitusi sebesar 50% karena pada substitusi 75% dan seterusnya, campuran tidak memenuhi persyaratan parameter *Marshall*, hal ini juga diungkapkan dalam penelitian Gowtham dan Ganesh (2018) yang menyatakan bahwa penggunaan *steel slag* sebagai substitusi agregat menyebabkan kenaikan nilai *VITM* sehingga semakin tinggi substitusi maka semakin tinggi nilai *VITM* dan menyebabkan tidak terpenuhinya parameter *Marshall*. Penelitian lain yang serupa terkait dengan efek penggunaan *Steel Slag* sebagai substitusi terhadap parameter *Marshall* yaitu menyebabkan nilai kelelahan/ *flow* meningkat sesuai dengan penelitian dari Pradana (2018) dan Bethary dkk (2018). Dalam hal stabilitas, *steel slag* dirasa mampu meningkatkan nilai stabilitas karena kekasaran dan kekerasan dari *steel slag* lebih tinggi dibanding dengan agregat lain, disebabkan juga oleh sifat *interlocking steel slag*, sesuai dengan penelitian dari Hainin dkk (2014) yang menyebutkan bahwa kekerasan dan sifat *interlocking* dari *steel slag* dapat meningkatkan nilai stabilitas

2.4 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Mengenai *Steel Slag* dan Aspal Polimer 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 Terdahulu tentang Steel Slag dan Aspal Polimer

No	Aspek	Chen dkk., (2020)	Ren dkk., (2018)	Chen dan Wei (2016)	Putra. (2018)	Noer (2018)	Passeto dkk., (2017)	Oluwasola dkk., (2016)	Peneliti 2021)
1	Judul	<i>Moisture Stability Improvement of Asphalt Mixture Considering the Surface Characteristics of Steel Slag Coarse Aggregate</i>	<i>Evaluation of Rheological Behaviors and Anti-Aging Properties of Recycled Asphalts Using Low-Viscosity Asphalt and Polymers</i>	<i>Engineering properties and performance of asphalt mixtures incorporating steel slagerface</i>	Pengaruh Lama Rendaman Air Sungai Terhadap Karakteristik campuran Ac - Wc Dengan Bahan Ikat Starbit E-60 Dan Pen 60/70	Perbandingan Penggunaan Batu Sungai Boyong Dan Batu Clereng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Ac-Bc Menggunakan Aspal Starbit E-60	<i>Sustainable Solutions for Road Pavements: A Multi-Scale Characterization of Warm Mix Asphalts Containing Steel Slags</i>	<i>Comparative Evaluation of Dense-Graded and Gap-Graded Asphalt Mix Incorporating Electric Arc Furnace Steel Slag and Copper Mine Tailings</i>	Pengaruh Penambahan Agregat Kasar Steel Slag Terhadap Kinerja Perkerasan Campuran Ac-Wc Dengan Variasi Bahan Ikat
2	Jenis Caampuran	<i>SMA</i>	<i>HMA</i>	<i>HMA</i>	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>HMA &WMA</i>	<i>HMA with RAP</i>	<i>AC-WC</i>

Tabel 2. 2 Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang *Steel Slag* dan Aspal Polimer

No	Aspek	Chen dkk., (2020)	Ren dkk., (2018)	Chen dan Wei (2016)	Putra. (2018)	Noer (2018)	Passeto dkk., (2017)	Oluwasola dkk., (2016)	Peneliti 2021)
3	Bahan tambah	<i>Steel Slag</i>	Aspal polimer	<i>Steel Slag</i>	Starbit E60	Starbit E60 & agregat sungai Boyong	<i>Steel Slag</i>	<i>Steel Slag</i>	Starbit E60 & agregat <i>Steel Slag</i>
4	Pengujian	<i>ITS</i> dan <i>TSR</i> , <i>Stripping Test</i>	<i>Rotational viscometer (RV) test</i> , <i>Dynamic shear rheometer (DSR) test</i> , <i>Bending beam rheometer (BBR) test</i> , <i>Short-term and long-term aging tests</i>	<i>Marshall Test</i> , <i>permeability</i>	<i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , <i>Marshall IRS</i>	<i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , <i>Marshall IRS</i>	<i>ITS</i> , <i>Fatigue resistance</i> , <i>MSCR test</i>	<i>ITS</i> , <i>Dynamic Creep test</i> , <i>Rutting test</i>	<i>ITS</i> , <i>Cantabro</i> , <i>Marshall IRS</i> , <i>TSR</i>
5	Hasil	Menghasilkan nilai kuat tarik tidak langsung yang semakin naik seiring dengan naiknya jumlah <i>steel slag</i> , artinya campuran yang	Penambahan aspal polymer ber-viskositas rendah dapat mengembalikan sifat kental dari aspal daur ulang, tahan terhadap retak pada suhu	Meningkatkan mekanisme <i>interlocking</i> karena material <i>steel slag</i> bertekstur kasar, meningkatkan kekuatan tarik	Menunjukkan nilai yang lebih baik pada pengujian <i>ITS</i> , <i>IRS</i> dan <i>Marshall</i> ,	Nilai stabilitas Marshaall cenderung meningkat seiring dengan meningkatnya kadar	Peningkatan ketahanan terhadap rutting dan permanen deformasi tetapi menyebabkan penurunan sebesar 20% pada ketahanan terhadap <i>fatigue</i>	Menaikan tingkat ketahanan terhdap deformasi permanen, rutting dan meimiliki kekuatan Tarik lebih	

Tabel 2. 3 Perbandingan Penelitian Terdahulu tentang *Steel Slag* dan Aspal Polimer

No	Aspek	Chen dkk., (2020)	Ren dkk., (2018)	Chen dan Wei (2016)	Putra. (2018)	Noer (2018)	Passeto dkk., (2017)	Oluwasola dkk., (2016)	Peneliti 2021)
		menggunakan <i>steel slag</i> mempunyai ketahanan terhdap Tarik yang lebih tinggi	rendah, kelelahan pada aspal yang sudah tua, <i>rutting</i> pada suhu tinggi dan anti penuaan	berdasrkan pengujian <i>indirect tensile strength</i> ,		campuran batu marmer		tinggi pada pengujia <i>indirect tensile strength</i>	



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan campuran antara bahan pengikat dan agregat yang digunakan dengan tujuan untuk melayani beban lalu lintas. Agregat yang dipakai ialah batu belah atau batu kali ataupun bahan lainnya. Bahan ikat yang dipakai ialah semen, aspal, ataupun tanah liat. Fungsi perkerasan ialah mendistribusikan beban roda kendaraan ke wilayah permukaan tanah dasar yang lebih luas dibanding luas kontak roda dan perkerasan. Hal itu sejalan dengan pendapat Hardiyatmo (2011), bahwa fungsi perkerasan jalan adalah.

1. Untuk memberikan struktur yang kuat dalam mendukung beban lalu lintas.
2. Untuk memberikan tahanan gelincir (*skid resistance*) pada permukaan perkerasan jalan.
3. Untuk mendistribusikan beban roda kendaraan di atas pondasi tanah, sehingga dapat melindungi tanah dari tekanan yang besar.
4. Sebagai pelindung tanah dasar dari pengaruh cuaca yang buruk.

3.2 Aspal Beton Lapis Aus (AC-WC)

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

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

Tabel 3. 1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)

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

(Sumber :Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 revisi 3, divisi 6)

3.3 Bahan Penyusun Campuran

Bahan penyusun campuran aspal di Indonesia mengacu pada spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang diterbitkan oleh Direktorat Jenderal Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. Spesifikasi tersebut mencakup persyaratan bahan campuran AC-WC yang terdiri dari bahan ikat (aspal) dan gradasi agregat campuran dan sifat-sifat campuran.

3.3.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau

kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume Sukirman (2003).

1. Agregat Kasar

Agregat kasar secara umum yaitu batuan yang tertahan pada saringan no. 4 (4,75 mm) pada saat penyaringan menurut Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 atau tertahan pada saringan no.7, menurut *Standart British*. Fungsi agregat kasar dalam campuran merupakan penentu kemampuan perkerasan jalan memikul beban lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca, dengan demikian membuat campuran lebih *durable* dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan. Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 di bawah ini.

Tabel 3. 2 Spesifikasi Agregat Kasar

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

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

2. Agregat Halus

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

melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Sama seperti agregat kasar, agregat halus juga memiliki ketentuan agar memenuhi syarat sebagai material perkerasan jalan. Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam Tabel 3.3 di bawah ini.

Tabel 3. 3 Spesifikasi Agregat Halus

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

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

3.3.2 Aspal

Menurut Sukirman (2003) Aspal merupakan material perekat berwarna hitam atau coklat tua dengan unsur utamanya bitumen. Aspal dapat diperoleh dari alam misalnya Asbuton atau residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal pada material perkerasan jalan memiliki fungsi sebagai bahan pengikat artinya memberikan ikatan antara fraksi agregat agar tidak saling terlepas dan sebagai bahan pengisi rongga kosong diantara campuran agregat

Tabel 3. 4 Persyaratan Aspal Keras

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

(Sumber : Direktorat Jenderal Bina Marga 2018)

3.4 Pengujian Marshall

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

3.4.1 Stabilitas (*Stability*)

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

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

Keterangan : q = Stabilitas (kg)

p = Pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat

s = Koreksi tebal benda uji

0,4536 = Konversi satuan dari *lb* ke kg

3.4.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi akibat pembebanan yang semakin besar. Perkerasan yang memiliki nilai *flow* yang rendah cenderung lebih kaku dan getas. Sedangkan perkerasan yang memiliki nilai *flow* tinggi cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk apabila dibebani.

Angka *flow* diperoleh dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.4.3 Marshall Question (MQ)

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

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

Keterangan : *MQ* = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)
 q = Nilai stabilitas (kg)
 r = Nilai *flow* (mm)

3.4.4 Void in the Total Mix (VIM)

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

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

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

Keterangan : n = Nilai *VIM* (%)
 g = Berat isi sampel (gr/cc)
 h = Berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

3.4.5 Void in Mineral Aggregate (VMA)

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

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

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

Keterangan :

- l = nilai VMA (%),
- b = presentase aspal terhadap campuran (%), dan
- g = berat isi sampel (gr/cc).

3.4.6 Void Filled with Asphalt (VFWA)

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

Persentase aspal terhadap campuran

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

Keterangan :

- a = persentase aspal terhadap batuan, dan
- b = persentase aspal terhadap campuran.

Persentase aspal terhadap agregat

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

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

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

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

Keterangan :

- m = VFWA (%),
- g = berat isi sampel (gr/cc), dan
- b = persentase aspal terhadap campuran.

3.4.7 Kepadatan (*Density*)

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

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

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

Keterangan:

- g = Nilai *density* (gr/cc),
- c = Berat benda uji sebelum direndam (gr),
- d = Berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr),
- e = Berat dalam air (gr), dan
- f = Volume / isi (cm³).

3.5 Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Nilai

karakteristik *Cantabro test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.14 dengan mengacu pada ASTM C-131 seperti berikut ini.

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

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

3.6 Pengujian Kinerja Ketahanan Campuran

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

3.7.1 Pengujian Perendaman *Marshall (Immersion Test)*

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

Kehilangan stabilitas akibat perendaman menggambarkan tingkat kerusakan oleh pengaruh air. Indeks kekuatan sisa sebesar 90 % merupakan nilai minimum yang disyaratkan Direktorat Jenderal Bina Marga, karena pada nilai ini campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan. *Index of Retained Strength (IRS)* dihitung menggunakan Persamaan 3.15 berdasarkan SNI M-01-2003 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.15)$$

Keterangan : S_1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
 S_2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

3.7.2 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

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

Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan adalah pada pengujian kuat tarik tak langsung tidak menggunakan cincin pengujian namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Berpedoman pada SNI 6753 : 2015, dengan merendam benda uji selama ± 30 menit agar menjadi jenuh dan 24 jam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Hasil Perbandingan rendaman selama 30 menit (*ITS* standar) dengan 24 jam (*ITS* rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut *Tensile Strength Ratio (TSR)*.

Dari pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami *failure*, dapat diperoleh nilai ITS dengan menggunakan Persamaan 3.16 berikut.

$$ITS = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.16)$$

Keterangan : *ITS* = Kuat tarik tidak langsung (kg/cm^2)
P maks. = Beban puncak (kg)
t = Tinggi sampel (cm)
d = Diameter benda uji (cm)

3.7 *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* menggunakan persamaan *Ullidtz* berikut ini.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-P_{ir}} \times (S_{pr} - T)^5 \quad (3.17)$$

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.

$$P_{ir} = \text{Recoverde penetration index asphalt}$$

$$= \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times SPr}{50 \log Pr - SPr - 120,4}$$

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

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

$$= 0,65 \times Pi$$

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

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

Setelah didapatkan nilai *Stiffness bitumen* menggunakan persamaan *Ullidtz*, selanjutnya dilakukan perhitungan nilai *Stiffness Mixture* menggunakan persamaan *Nottingham* (1984) berikut ini.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)}\right)^5 \quad (3.18)$$

Dengan,

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



BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yaitu suatu cara mengambil, menganalisis, dan mengidentifikasi variabel penelitian untuk mencari penyelesaian masalah dari pokok permasalahan penelitian yang akan dilakukan. Metode yang akan digunakan dalam penelitian ini adalah penelitian percobaan (*experiment*). Penelitian percobaan (*experiment*) yaitu suatu penelitian yang dilakukan dengan percobaan di laboratorium untuk mendapatkan data. Data yang diperoleh kemudian diolah dengan memperhatikan syarat-syarat atau standar spesifikasi yang telah ditentukan, sehingga mendapatkan hasil perbandingan yang diinginkan

4.2 Metode Pengambilan Data

Pengambilan data dalam penelitian dapat menggunakan berbagai cara, tergantung dari jenis data yang diperlukan. Jenis data yang dimaksud adalah data primer dan data sekunder.

4.3.1 Data Primer

Data primer yaitu data yang diperoleh dari suatu pengujian langsung di lokasi penelitian. Adapun langkah kerja yang dilakukan sebagai berikut.

1. Melakukan pemeriksaan material.
2. Mencari nilai kadar aspal optimum.
3. Melakukan pengujian *Marshall*.
4. Melakukan pengujian *Immersion*.
5. Melakukan pengujian *Indirect Tensile Strength*.
6. Melakukan pengujian *Cantabro*.

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta disajikan dalam Gambar diagram bagan alir penelitian (Gambar 4.1)

4.4.1 Persiapan Bahan

Bahan yang akan digunakan dalam penelitian ini meliputi.

1. Pengujian Agregat

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

- a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Agregat Halus. (SNI 1969: 2008 dan SNI 1970:2008)

Tujuan pengujian ini yaitu untuk mengetahui berat jenis curah, berat jenis semu, berat jenis jenuh permukaan serta angka penyerapan.

- b. Pengujian Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (SNI 03-2349-1991)

Tujuan pengujian ini adalah untuk mendapatkan angka berapa persen besarnya kelekatan agregat terhadap aspal.

- c. Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles* (SNI-2417: 2008)

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk menentukan ketahanan agregat terhadap keausan.

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

Tujuan dari pengujian ini yaitu untuk mendapatkan nilai perbandingan pembacaan skala pasir dan pembacaan skala lumpur pada alat uji setara pasir yang dinyatakan dalam persen.

2. Pengujian Aspal

Pada penelitian ini bahan ikat yang akan digunakan yaitu aspal Starbit E-60 dan aspal Pertamina pen 60/70. Sebelum digunakan untuk penelitian, aspal ini di uji terlebih dahulu untuk mengetahui apakah aspal tersebut memenuhi

spesifikasi yang disyaratkan atau tidak. Berikut ini adalah pengujian yang akan dilakukan.

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

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

4.4.2 Persiapan Alat

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

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

4.4.3 Perencanaan Campuran

Perencanaan campuran dalam penelitian ini menggunakan metode Direktorat Jenderal Bina Marga . Bahan-bahan untuk campuran ini terdiri dari agregat kasar, agregat halus, dan aspal yang telah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal itu dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat bahan uji, apakah bahan tersebut telah memenuhi persyaratan yang ditentukan atau tidak. Jika pengujian agregat dan aspal selesai, selanjutnya dilakukan penyaringan agregat dengan

gradasi yang sudah direncanakan. Gradasi rencana untuk campuran dapat dilihat pada Tabel 4.1 di bawah ini.

Tabel 4. 1 Gradasi Rencana

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

Sumbe: Direktorat Jenderal Bina Marga (2018)

Setelah penyaringan, kemudian dilakukan penimbangan dengan berat tertentu untuk masing-masing ukuran saringan dengan jenis agregat dan gradasi yang telah ditentukan oleh spesifikasi. Apabila semua bahan telah disiapkan dan memenuhi syarat, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji ini nantinya akan diuji dengan pengujian *Marshall test*, *Immersion test*, *Indirect Tensile Strength test*, dan *Stiffnes Modulus*.

Mencari Kadar Aspal Optimum rencana dengan perhitungan dapat dilihat pada Persamaan 4.1 berikut ini.

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

dengan:

P_b = Kadar aspal perkiraan,

CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 4,

$$\begin{aligned}
 \text{FA} &= \text{Agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200, dan,} \\
 \text{Filler} &= \text{Agregat halus lolos saringan No. 200.} \\
 \text{Konstanta} &= 1 \text{ sampai } 2 \\
 \text{Pb} &= 0,035 (\% \text{CA}) + 0,045 (\% \text{FA}) + 0,18 (\% \text{Filler}) + \text{Konstanta} \quad (4.2) \\
 &= 0,035 (60,5) + 0,045 (33,5) + 0,18 (6) + 1 \\
 &= 5,705 \\
 &= 6
 \end{aligned}$$

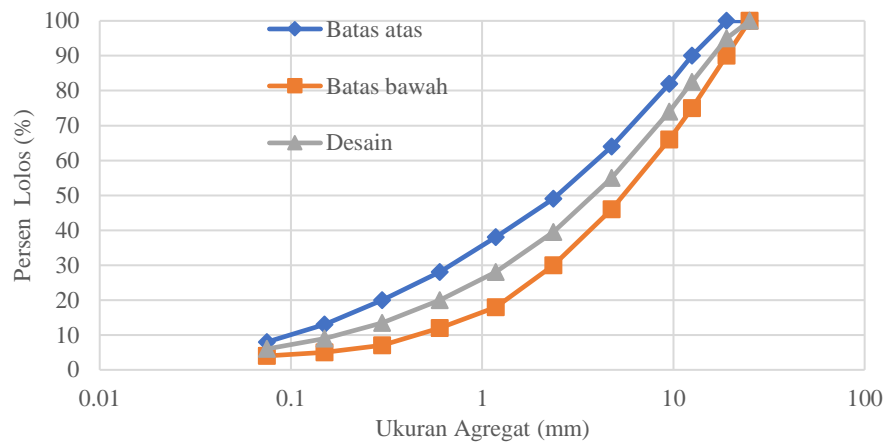
Dari hasil perhitungan di atas didapatkan kadar aspal optimum perkiraan sebesar 6%. Pada pengujian untuk menentukan KAO dipakai aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran.

Dalam penelitian ini, variasi kadar batu *Steel Slag* yang digunakan adalah 0%, 25%, 50% dari jumlah berat Agregat Kasar, sehingga didapat Grafik gradasi dan Jumlah berat agregat pada masing-masing ukuran yang dihasilkan dari perbandingan berat jenis agregat kasar Clereng dan agregat kasar *Steel Slag*, perhitungan variasi kadar batu *Steel Slag* dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.4. Grafik hasil perhitungan variasi kadar *Steel Slag* dapat dilihat pada Gambar 4.1 sampai 4.3 dibawah ini.

1. Hasil Perhitungan Substitusi Agregat dan Grafik Gradasi pada Kadar 0%

Tabel 4. 2 Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 0%

Ukuran Butir (mm)	Spesifikasi			Tertahan Ideal (%)	Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Clereng (%)	Berat Tertahan Clereng (gr)	Persen Tertahan Steel Slag (%)	Jml Lolos (%)
	Max	Min	Spesifikasi Ideal						
25	100	100	100,0	0,0	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
19	100	90	95,0	5,0	5,00	5,00	57,00	0,00	95,00
12,5	90	75	82,5	17,5	17,50	12,50	142,50	0,00	82,50
9,5	82	66	74,0	26,0	26,00	8,50	96,90	0,00	74,00
4,75	64	46	55,0	45,0	45,00	19,00	216,60	0,00	55,00
2,36	49	30	39,5	60,5	60,50	15,50	176,70	0,00	39,50
1,18	38	18	28,0	72,0	72,00	11,50	131,10	0,00	28,00
0,6	28	12	20,0	80,0	80,00	8,00	91,20	0,00	20,00
0,3	20	7	13,5	86,5	86,50	6,50	74,10	0,00	13,50
0,15	13	5	9,0	91,0	91,00	4,50	51,30	0,00	9,00
0,075	8	4	6,0	94,0	94,00	3,00	34,20	0,00	6,00
Pan	0	0	0	100,0	100,00	6,00	68,40	0,00	0,00

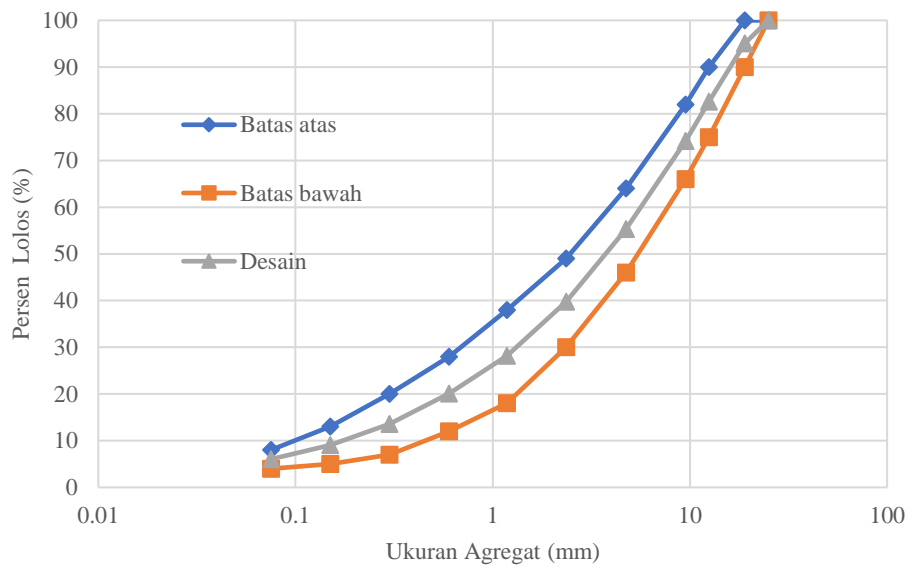


Gambar 4. 1 Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 0%

2. Hasil Perhitungan Substitusi Agregat dan Grafik Gradasi pada Kadar 25%

Tabel 4. 3 Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 25%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Kumulatif Tertahan (%)	Tertahan Clereng (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Clereng (gr)	Berat Tertahan Steel Slag pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (g)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal							
25	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
19	100	90	95	5	5,0	57	42,75	13,53	56,28	95,03
12.5	90	75	82,5	17,5	12,5	143	106,8	33,83	196,99	82,62
9,5	82	66	74	26	8,5	97	72,68	23,00	292,67	74,18
4,75	64	46	55	45	19,0	217	162,45	51,42	506,54	55,31
2,36	49	30	39,5	60,5	15,5	177	176,70	0,0	683,24	39,73
1,18	38	18	28	72	11,5	131	131,10	0,0	814,34	28,16
0,6	28	12	20	80	8	91	91,2	0,0	905,54	20,11
0,3	20	7	13,5	86,5	6,5	74	74,1	0,0	979,64	13,58
0,15	13	5	9	91	4,5	51	51,3	0,0	1030,94	9,05
0,075	8	4	6	94	3	34	34,2	0,0	1065,14	6,03
Pan				100	6	68	68,4	0,0	1133,54	0,00

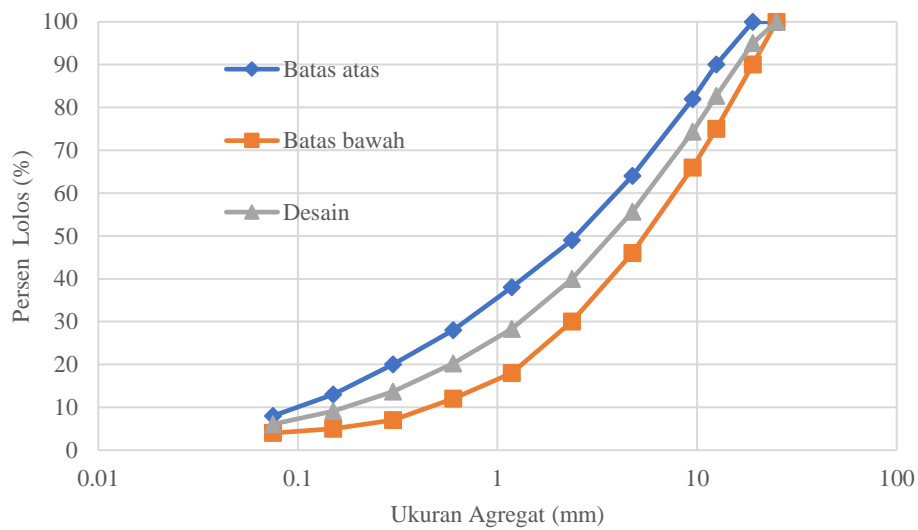


Gambar 4. 2 Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 25%

3. Hasil Perhitungan Substitusi Agregat dan Grafik Gradasi pada Kadar 50%

Tabel 4. 4 Hasil Perhitungan Substitusi Agregat 50%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Kumulatif Tertahan (%)	Tertahan Clereng (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Clereng (gr)	Berat Tertahan Steel Slag pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (g)	Kontrol Lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal							
25	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	100,00
19	100	90	95	5	5,0	57	42,75	13,53	56,28	95,03
12.5	90	75	82,5	17,5	12,5	143	106,8	33,83	196,99	82,62
9,5	82	66	74	26	8,5	97	72,68	23,00	292,67	74,18
4,75	64	46	55	45	19,0	217	162,45	51,42	506,54	55,31
2,36	49	30	39,5	60,5	15,5	177	176,70	0,0	683,24	39,73
1,18	38	18	28	72	11,5	131	131,10	0,0	814,34	28,16
0,6	28	12	20	80	8	91	91,2	0,0	905,54	20,11
0,3	20	7	13,5	86,5	6,5	74	74,1	0,0	979,64	13,58
0,15	13	5	9	91	4,5	51	51,3	0,0	1030,94	9,05
0,075	8	4	6	94	3	34	34,2	0,0	1065,14	6,03
Pan				100	6	68	68,4	0,0	1133,54	0,00



Gambar 4.3 Grafik Gradasi pada Substitusi Agregat 50%

4.4.5 Perencanaan Jumlah Benda Uji

Berikut ini adalah perencanaan jumlah benda uji. Tabel perencanaan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.5 sampai 4.8 di bawah ini.

1. Perencanaan Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO dengan Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Variasi Kadar Batu *Steel Slag*.

Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO Aspal Pen 60/70

Jenis Aspal	Kadar batu <i>Steel Slag</i>	Jumlah Benda Uji Pada Tiap Kadar Aspal (buah)				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Pertamina Pen 60/70	0% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	25% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	50% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	75% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
Jumlah		60				

Setelah diperoleh nilai KAO selanjutnya membuat benda uji untuk dilakukan pengujian *Marshall Test*, *ITS*, *TSR*, *Immersion test*, dan *Cantabro* berikut

ini adalah Tabel perencanaan benda uji untuk pengujian *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, *Immersion Test* dan *Cantabro*, dapat dilihat pada Tabel 4.6

Tabel 4. 6 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, dan *Cantabro* pada KAO Aspal Pen 60/70

Pengujian Menggunakan Aspal Pertamina Pen 60/70 Pada Kondisi KAO			
Jenis Pengujian	Jumlah Sampel Tiap Variasi Substitusi Agregat Kasar Batu <i>Steel Slag</i>		
	0%	25%	50%
<i>Marshall</i>	3	3	3
<i>Imerssion</i>	3	3	3
<i>Cantabro</i>	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3
Jumlah	36		

- Perencanaan Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO dengan Aspal Starbit E-60 dan Variasi Kadar *Steel Slag*

Tabel 4. 7 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian KAO Aspal Starbit E-60

Jenis Aspal	Kadar batu <i>Steel Slag</i>	Jumlah Benda Uji Pada Tiap Kadar Aspal (buah)				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Pertamina Pen 60/70	0% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	25% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	50% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
	75% <i>Steel Slag</i>	3	3	3	3	3
Jumlah		60				

Setelah diperoleh nilai KAO selanjutnya membuat benda uji untuk dilakukan pengujian *Marshall Test*, *ITS*, *Immersion test*, *Stiffnes Modulus* dan *Cantabro* berikut ini adalah Tabel perencanaan benda uji untuk pengujian *Marshall*, *ITS*, *Stiffnes Modulus*, *Immersion* , dan *Cantabro* dapat dilihat pada Tabel 4.8 di bawah ini.

Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji untuk Pengujian *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, dan *Cantabro* pada KAO Aspal Starbit E-60

Pengujian Menggunakan Aspal Pertamina Starbit E-60 Pada Kondisi KAO			
Jenis Pengujian	Jumlah Sampel Tiap Variasi Kadar Agregat Kasar Batu <i>Steel Slag</i>		
	0%	25%	50%
<i>Marshall</i>	3	3	3
<i>Imerssion</i>	3	3	3
<i>Cantabro</i>	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3
Jumlah	36		

Sehingga total benda uji yang akan di buat dala penelitian ini adalah $60+60+36+36 = 192$ Buah

4.5 Pengujian Yang Dilakukan

Dalam penelitian ini penulis melakukan 4 jenis pengujian, yaitu *Marshall test*, *Immersion test*, *Indirect tensile strength test*, *Stifnees modulus* dan *Cantabro test*

4.5.1 Pengujian *Marshall*

Langkah-langkah pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

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

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

4.5.2 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Langkah- langkah yang dilakukan untuk penentuan kadar aspal optimum adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan benda uji
2. Melakukan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai karakteristik *Marshall* berupa *stabilitas*, *flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient*
3. Melakukan analisis data berdasarkan data.

4.5.3 Pengujian *Immersion*

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

1. Mempersiapkan benda uji.
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari *Marshall test* menggunakan batu *Steel Slag* sebagai agregat kasar dengan proporsi 0%, 25%, 50%.

3. Menguji *Immersion test* pada alat *marshall* setelah dilakukan perendaman 24 jam pada suhu $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
4. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Immersion test*.

4.5.4 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

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

1. Mempersiapkan bahan,
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari *Marshall test* menggunakan batu *Steel Slag* sebagai agregat kasar dengan proporsi 0%, 25%, 50%.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,
4. Mendapatkan nilai pembacaan dial
5. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Indirect Tensile Strength*, dan
6. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Indirect Tensile Strength*

4.5.5 Pengujian *Cantabro*

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

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

4.6 Analisis Data

1. Analisa Karakteristik *Marshall*

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

- a. Berat kering benda uji (gram).
- b. Berat benda uji dalam air (gram).
- c. Berat benda uji kering muka (gram).

- d. Tebal benda uji (mm).
- e. Pembacaan arloji stabilitas (kg).
- f. Pembacaan arloji kelelahan (mm).

Nilai-nilai karakteristik Marshall dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan berikut ini.

- a. Berat jenis aspal

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

Keterangan:

- A = Berat piknometer (dengan penutup) (gram),
- B = Berat piknometer berisi air (gram),
- C = Berat piknometer berisi aspal (gram), dan
- D = Berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

- b. Berat jenis agregat

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

Keterangan:

- F1 = Persentase agregat kasar (%),
- F2 = Persentase agregat halus (%),
- A = Berat jenis agregat kasar, dan
- B = Berat jenis agregat halus

Berdasarkan data di atas diperoleh nilai-nilai sebagai berikut.

- a. Nilai -nilai *VMA* diperoleh dengan Persamaan 3.1.
 - b. *VFWA* menggunakan Persamaan 3.2.
 - c. *VITM* menggunakan Persamaan 3.3.
 - d. Nilai-nilai Stabilitas diperoleh dengan persamaan 3.4.
 - e. Nilai *MQ* didapatkan dengan Persamaan 3.5.
 - f. Kelelahan (*Flow*) dibaca dari pembacaan arloji kelelahan dengan persamaan 3.6.
2. Pengujian *Cantabro*
Nilai-nilai pengujian *Cantabro* diperoleh dengan persamaan 3.14.
 3. Pengujian *Immersion*

Pada pengujian Immersion didapat stabilitas pada perendaman 24 jam, sehingga nanti akan didapatkan nilai *Index Retained Strenght* yang dihitung sesuai dengan Persamaan 3.15.

4. Pengujian *Indirect Tensile Strenght*

Nilai-nilai pengujian *ITS* diperoleh dengan persamaan 3.16.

5. Perhitungan *Stiffnes Modulus*

Nilai-nilai perhitungan *Stiffnes Modulus Bitumen dan Stiffness Modulus Mixture* diperoleh dengan persamaan 3.17 dan 3.18.

4.8 Analisis Statistik

Pada penelitian ini menggunakan analisis statistik *Anova*, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh penggunaan *Steel Slag* pada campuran *AC-WC* dan atau metode ini digunakan karena terdapat variabel bebas (*Steel Slag*) yang masing-masing terbagi menjadi beberapa kelompok pada campuran *AC-WC*.

Data-data seperti Karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, *Index of Retained Strength*, *Indirect Tensile Strength*, *Stiffnes Modulus* dengan parameter penggunaan *Steel Slag* terhadap kinerja campuran *AC-WC* dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60, dianalisis dengan statistik *Anova* untuk dapat 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.

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

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

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 α 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

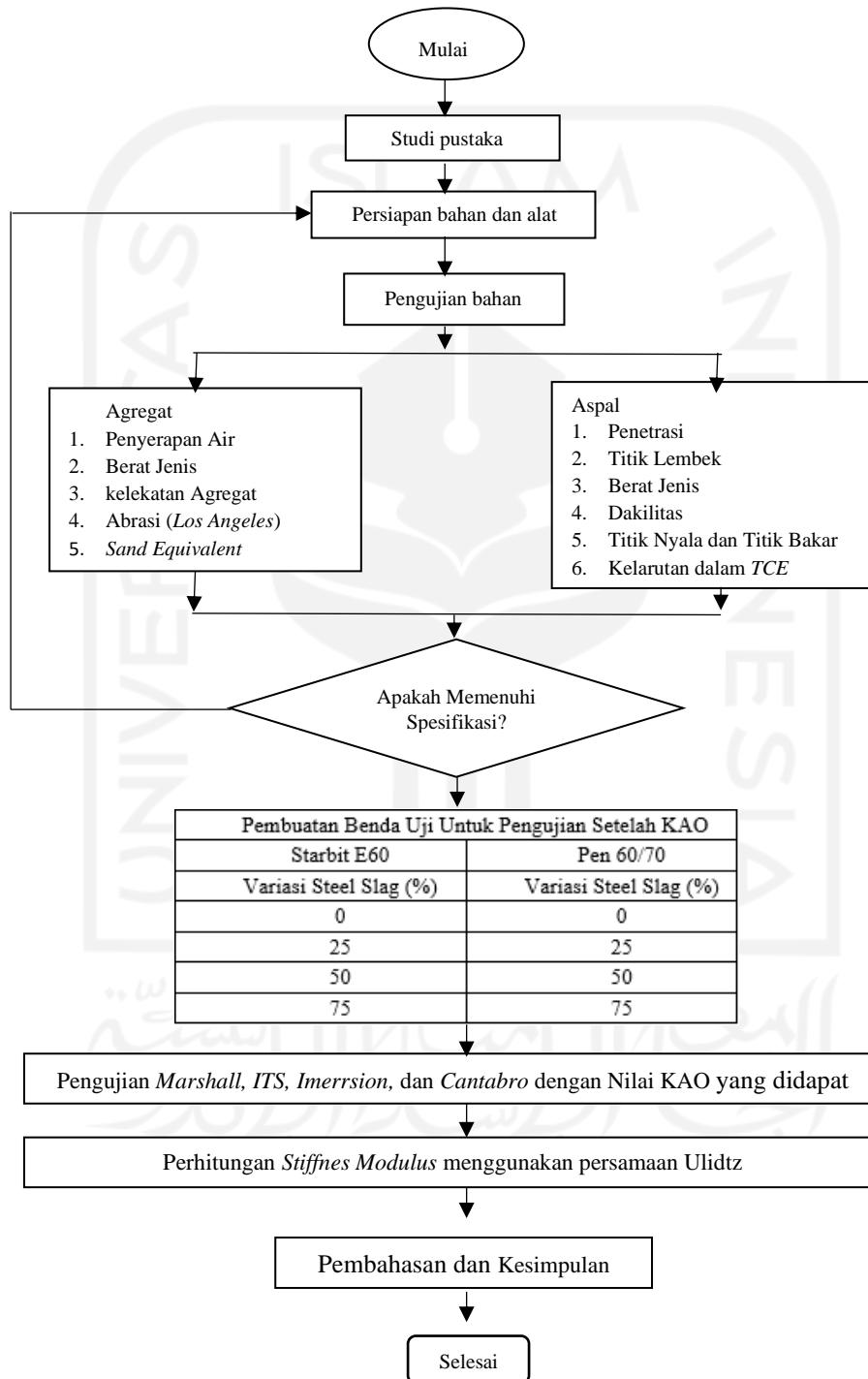
H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Steel Slag* sebagai agregat terhadap campuran AC-WC berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60.

H_1 : Ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *Steel Slag* sebagai agregat terhadap campuran AC-WC berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60.



4.7 Diagram Alir Penelitian

Diagram alir penelitian berfungsi memperjelas tahapan tahapan penelitian yang akan dilakukan. Gambar 4.4 berikut ini adalah diagram alur penelitian.



Gambar 4. 4 Diagaram Alir Penelitian

BAB V HASIL PENGUJIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian Bahan Dan Pembahasan Campuran AC-WC

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan maka didapatkan hasil dari setiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Aspal

Pada pengujian yang telah dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, peneliti menggunakan dua buah jenis aspal yaitu aspal Pertamina Pen 60/70 dan aspal Starbit E-60. Adapun hasil pengujian karakteristik aspal dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan 5.2 berikut.

Tabel 5. 1 Hasil pengujian Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,038	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	60/70	62,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	332	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	345	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,03	Memenuhi

Tabel 5. 2 Hasil pengujian Karakteristik Aspal Starbit E-60

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,063	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	≥ 54	54,4	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 60	55	Tidak memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	290	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	324	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99,03	Memenuhi

Tabel 5. 3 Hasil Uji Analisis Statistik Sifat Fisik Aspal

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

a. Berat jenis aspal

Adapun berat jenis aspal yang sudah di uji yaitu sebesar 1,023 untuk aspal Pertamina Pen 60/70 dan 1,063 untuk aspal Starbit E60, nilai kedua aspal tersebut tidak berbeda jauh dan tidak signifikan perbedaannya. Pengujian yang dilakukan putra (2018) juga menyatakan bahwa berat jenis aspal Starbit E60 dan Aspal Pen 60/70 tidak terjadi perbedaan yang signifikan., hal ini membuktikan bahwa dengan penambahan polymer tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan pada berat jenis aspal. Berdasarkan hasil pengujian ini dapat dinyatakan bahwa kedua aspal tersebut memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu $> 1,00$.

b. Penetrasi aspal

Adapun nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang di uji adalah 62,3 mm memenuhi persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu minimal 60 mm sedangkan aspal Starbit E60 memiliki penetrasi sebesar 54 sehingga sesuai dengan spesifikasi minimal dari produk Starbit E60, secara analisis statistic, perbedaan ini signifikan. Menurut Asmael dan Waheed (2018), penambahan polymer pada aspal menyebabkan aspal lebih *flexible* pada temperatur tinggi, sehingga pada temepatur rendah, aspal cenderung lebih keras. Aspal dengan penetrasi rendah akan cocok digunakan pada daerah dengan suhu panas atau lalu lintas dengan volume tinggi dan sebaliknya untuk aspal dengan penetrasi rendah

c. Daktilitas

Adapun hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 164 cm dan untuk aspal Starbit E60 juga memiliki daktilitas 164 cm sehingga memenuhi spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu > 100 cm.

d. Titik Nyala

Adapun Hasil pengujian titik nyala aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 332°C dan titik nyala aspal Starbit E60 sebesar 290, hasil ini menunjukkan perbedaan yang signifikan antara kedua aspal tersebut sehingga memenuhi persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu $> 232^{\circ}\text{C}$.

e. Kelarutan Dalam TCE

Adapun hasil pengujian kelarutan dalam *TCE* aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,03% dan kelarutan untuk aspal Starbit E60 sebesar 99.2%. kedua hasil tersebut tidak signifikan perbedaannya dalam uji statistic. Hasil tersebut juga memenuhi persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu sebesar $> 99\%$.

f. Titik Lembek

Adapun hasil pengujian aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan titik lembek sebesar 48°C dan titik lembek untuk aspal Starbit E60 sebesar 55 memenuhi, dalam hal ini perbedaan yang terjadi bisa dikatakan signifikan. Menurut Asmael dan Waheed (2018) penambahan zat polimer kedalam aspal murni menyebabkan aspal lebih keras dan tahan terhadap temperature yang tinggi, kedua aspal ini telah memenuhi persyaratan spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$ untuk aspal pen 60/70 sedangkan aspal Starbit tidak memenuhi persyaratan karena di bawah spesifikasi produk yaitu 60, tidak memenuhinya aspal Starbit sesuai dengan persyaratn dari produsen bisa disebabkan karena umur dari aspal Starbit yang sudah lama dan kemungkinan karena kurang hati-hati dalam penyimpanan, sehingga tercampur oleh zat lain. Aspal dengan titik lembek yang tinggi sangat cocok untuk daerah dengan kondisi panas.

5.1.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan Karakteristik Agregat

Pada penelitian ini agregat yang digunakan oleh peneliti berasal dari Clereng, Kulonprogo dan Cikarang, Jawa Barat pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Prosedur pengujian dan spesifikasi material mengacu pada persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga tahun 2018. Adapun hasil pengujian karakteristik agregat dapat dilihat pada Tabel 5.3 sampai 5.5

Tabel 5. 4 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil		Keterangan
			Steel Slag	Clereng	
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	3,633	2,6643	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,687	1,26	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	96	99	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	7,04	13,07	Memenuhi

Tabel 5. 5 Hasil Uji Analisis Statistik Sifat Fisik Agregat Kasar

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Berat Jenis	H0 Ditolak	Signifikan
Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	H0 Ditolak	Signifikan
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	H0 Ditolak	Signifikan

Tabel 5. 6 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,60	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	2,25	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	91,98	Memenuhi

Tabel 5. 7 Hasil Pengujian *Filler*

No	<i>Filler</i>	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≤ 8	2,55	Memenuhi

a. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar

Pada pengujian ini hasil berat jenis untuk batu Clereng sebesar 2,66 dan penyerapannya 1,68%, sedangkan *Steel Slag* berat jenisnya 3,633 dan penyerapannya sebesar 1,26%. Dalam pengujian yang dilakukan Laboratorium Penguji Balai Riset dan Standardisasi Industri Medan (2016) tingginya kandungan timbal pada mineral penyusun *Steel Slag* menyebabkan *Steel Slag* menjadi keras dan memiliki berat lebih besar dibandingkan dengan batuan biasa sehingga *Steel Slag* memiliki berat jenis lebih besar disebabkan karena mineral penyusun *Steel Slag* lebih keras, sedangkan dalam hal penyerapan, *Steel Slag* lebih rendah dikarenakan *Steel Slag* lebih padat.

b. Kelekatan Agregat Kasar terhadap Aspal

Hasil pengujian agregat Clereng menunjukkan persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 97,5% untuk agregat Clereng dan 97% untuk *Steel Slag*, hasil ini tidak terlalu signifikan ketika dilakukan uji statistik. Kelekatan *Steel Slag* lebih kecil karena permukaan dari *Steel Slag* lebih halus dibandingkan Clereng, yang mana memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu $> 95\%$.

c. Keausan Agregat Kasar dengan Mesin *Los Angeles*.

Pada pengujian ini didapatkan nilai keausan yang lebih rendah dari batu *Steel Slag* daripada batu Andesit Clereng, yaitu 7,04% untuk *Steel Slag* dan 13,94% untuk Clereng, hasil ini signifikan perbedaannya ketika dilakukan uji analisis statistik, keausan agregat yang lebih rendah disebabkan karena sifat batu *Steel Slag* yang lebih keras karena terdapat kandungan baja dan timbal baja.

d. Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus

Adapun berat jenis agregat halus hasil pengujian didapat hasil sebesar 2,53 dan penyerapan air sebesar 2,25%. Berat jenis akan berbanding terbalik dengan penyerapan air, apabila penyerapannya tinggi maka berat jenisnya cenderung rendah. Nilai berat jenis dan penyerapan air ini memenuhi

Spesifikasi Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu > 2,5 dan penyerapannya maksimal sebesar 3%

e. *Sand Equivalent*

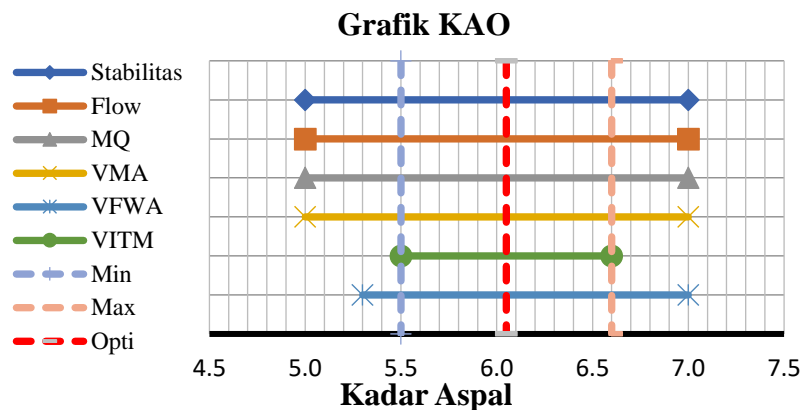
Pengujian Sand Equivalent penting dilakukan untuk mengetahui kebersihan dari agregat halus, jika agregat halus mengandung lumpur atau debu maka ketika dalam pencampuran tersebut aspal tidak bias mengikat agregat halus. Adapun hasil pengujian *Sand Equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,987% yang mana memenuhi Spesifikasi Umum Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu > 50%.

5.1.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan Campuran AC- WC Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Adapun pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Data-data yang dihasilkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *VMA (Void in Mineral Agregate)*, *VFWA (Void Filled with Asphalt)*, *VITM (Void in Total Mix)*, *MQ (Marshall Quotient)*, dan kepadatan (*density*) dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai 5.11 berikut ini dan grafik penentuan KAO dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai 5.6

Tabel 5. 8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% substitusi Steel Slag Aspal Pertamina Pen 60/70

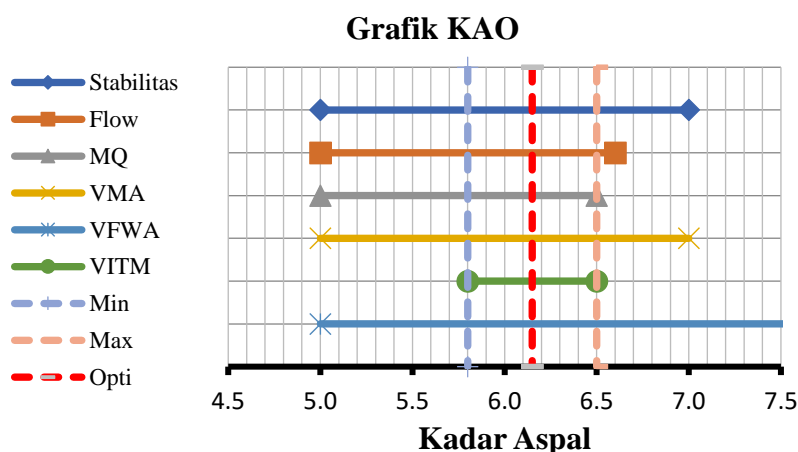
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	1165	3,07	380	6,7	62,0	15,5	2,242
5,5	1248	3,27	381	5,0	70,5	15,0	2,265
6	1407	3,40	416	4,2	76,0	15,3	2,271
6,5	1259	3,57	354	3,2	81,8	15,5	2,278
7	1114	4,03	276	2,9	84,3	16,2	2,270
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 9 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Menentukan KAO pada Variasi 0% Aspal Starbit E60

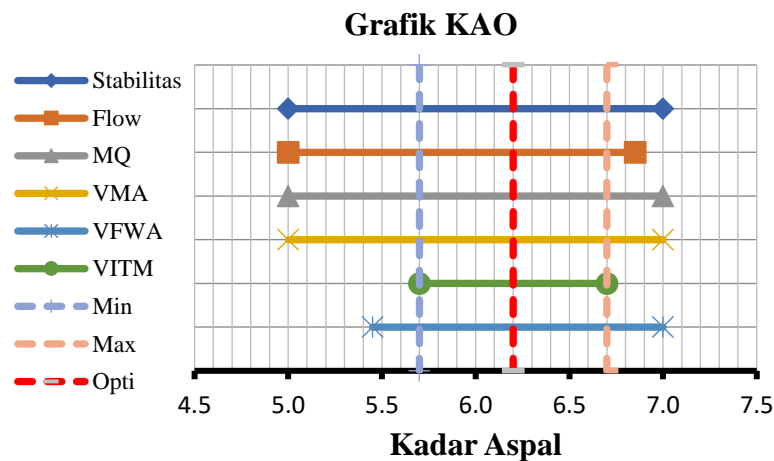
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	1302	2,70	484	6,0	64,7	14,9	2,25
5,5	1385	3,33	415	6,1	66,4	16,0	2,24
6	1421	3,40	420	4,1	75,9	15,2	2,27
6,5	1225	3,83	325	3,0	82,1	15,3	2,28
7	1190	4,43	273	2,5	85,8	15,9	2,27
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	>2



Gambar 5. 2 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 0% Aspal Pertamina Starbit E60

Tabel 5. 10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Aspal Pertamina Pen 60/70

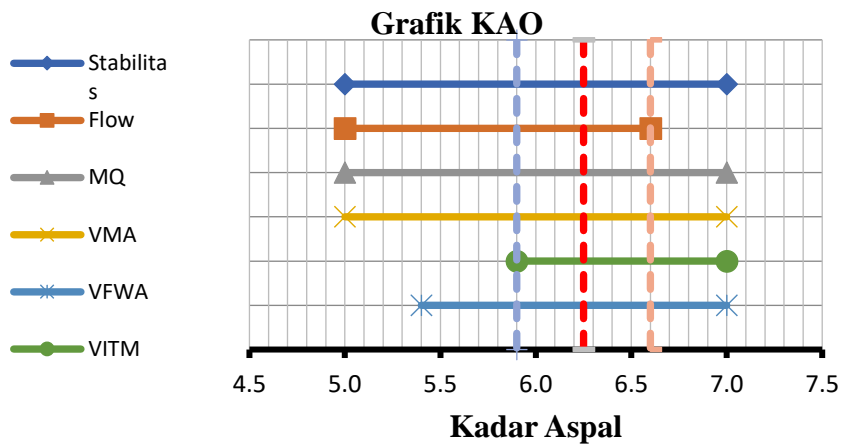
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	1112	3,15	353	8,5	56,2	17,4	2,25
5,5	1124	3,30	340	5,6	68,7	15,8	2,29
6	1599	3,25	493	4,3	76,0	15,7	2,29
6,5	1532	3,50	437	3,4	81,3	16,0	2,31
7	1281	3,85	334	2,4	86,7	16,2	2,32
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	>2



Gambar 5. 3 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 11 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 25% Aspal Pertamina Starbit E60

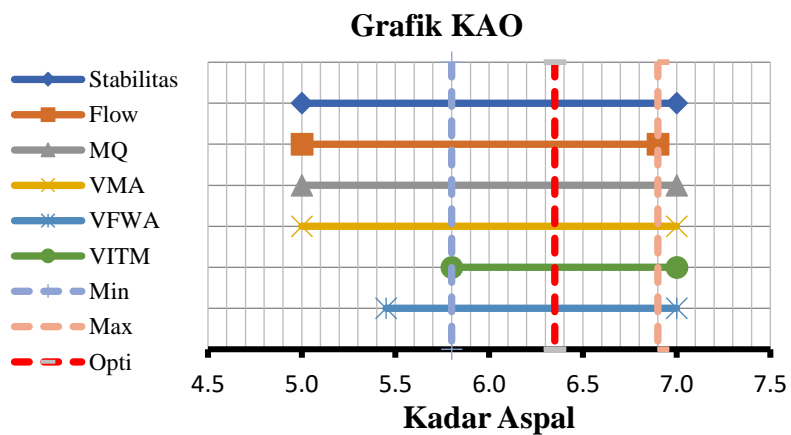
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	2031	2,50	825	7,9	57,6	16,6	2,26
5,5	2425	3,25	745	5,8	67,2	15,7	2,29
6	1610	3,35	483	4,8	73,1	15,9	2,29
6,5	1684	3,85	436	4,3	76,8	16,4	2,30
7	1734	4,60	377	3,1	83,4	16,4	2,31
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	>2



Gambar 5. 4 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 25% Aspal Starbit E60

Tabel 5. 12 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Aspal Pertamina Pen 60/70

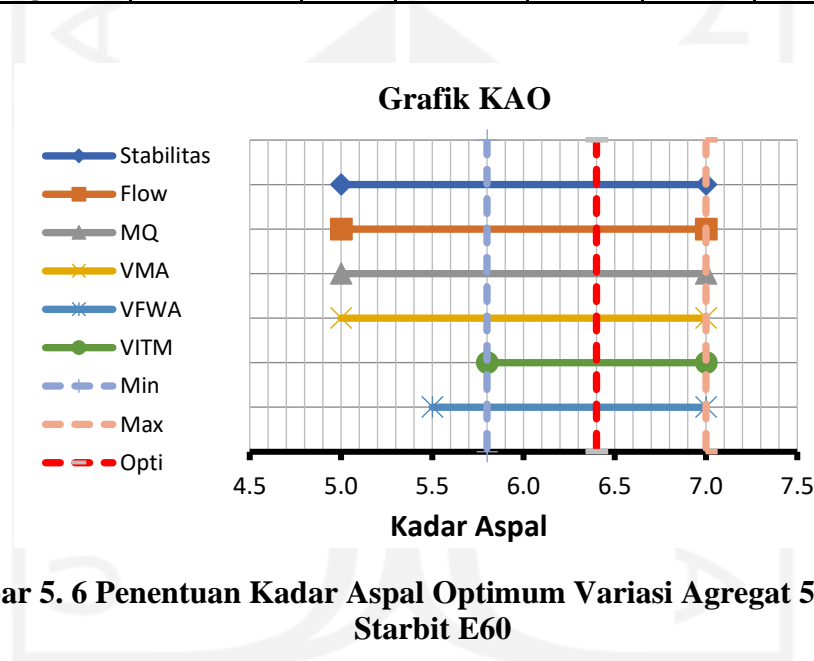
Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFVA (%)	VMA (%)	Density
5	1568	3,20	490	8,3	57,4	17,5	2,31
5,5	1730	3,60	480	6,5	65,8	16,9	2,34
6	1833	3,73	495	4,8	74,0	16,5	2,37
6,5	1639	3,80	431	4,5	76,6	17,4	2,36
7	1325	4,05	330	3,6	81,8	17,6	2,32
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 5 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Pertamina Pen 60/70

Tabel 5. 13 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 50% Aspal Starbit E60

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	17406	2,65	656	8,3	56,7	17,5	2,31
5,5	1898	2,65	716	6,5	65,1	17,0	2,32
6	1897	3,05	622	4,6	74,6	16,3	2,35
6,5	1732	3,20	541	4,2	77,5	17,1	2,35
7	1451	4,00	363	3,9	80,0	17,8	2,34
Direktorat Jenderal Bina Marga	1000	> 2-4	> 250	> 3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2



Gambar 5. 6 Penentuan Kadar Aspal Optimum Variasi Agregat 50% Aspal Starbit E60

Tabel 5. 14 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 75% Aspal Pertamina Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	1572	3.43	460	8.8	56.7	18.3	2,31
5,5	1832	3.60	509	8.6	59.4	19.2	2,32
6	1879	3.70	508	8.0	63.3	19.7	2,35
6,5	1761	4.15	424	6.2	70.7	19.3	2,35
7	1529	4.30	355	5.1	76.1	19.4	2,34
Direktorat Jenderal Bina Marga	>800	2-4	> 250	3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2

Tabel 5. 15 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Variasi 75% Aspal Starbit E60

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density
5	1643	2.60	636	12.5	46.4	21.6	2.31
5,5	1854	3.20	584	11.6	50.7	21.9	2.32
6	1891	3.60	528	10.6	55.1	22.0	2.35
6,5	1796	3.83	46	8.7	62.2	21.4	2.35
7	1694	4.30	393	7.1	68.6	21.1	2.34
Direktorat Jenderal Bina Marga	>800	2-4	> 250	3,0 - 5,0	> 65	> 15	> 2

Tabel 5. 16 Hasil Uji Analisis Statistik

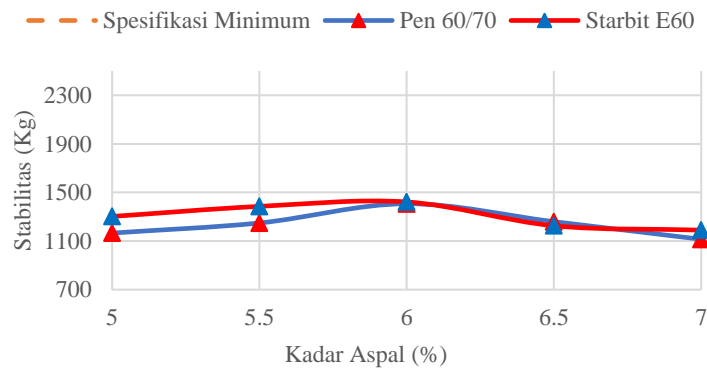
Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Flow	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VITM	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VFWA	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VMA	H0 Diterima	Tidak Signifikan
MQ	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Density	H0 Diterima	Tidak Signifikan

Penentuan kadar aspal optimum pada campuran AC-WC menggunakan parameter *Marshall* yaitu Stabilitas, *Flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Density* dan *Marshall Quotient*. Adapun pembahasan hasil pengujian dibuat setiap variasi Agregat Kasar *Steel Slag* yang di substitusi yaitu 0% Variasi, 25% Variasi dan 50%, untuk variasi substitusi 75% tidak dilakukan pembahasan dan pengujian setelah KAO diakrenakan tidak memenuhi salah satu parameter *Marshall Test* yaitu *VITM*, dimana *VITM* yang duhasilkan melebihi 5% sehingga tidak sesuai persyaratan yang berlaku. Pembahasan setiap variasi substitusi dapat dilihat sebagai berikut.

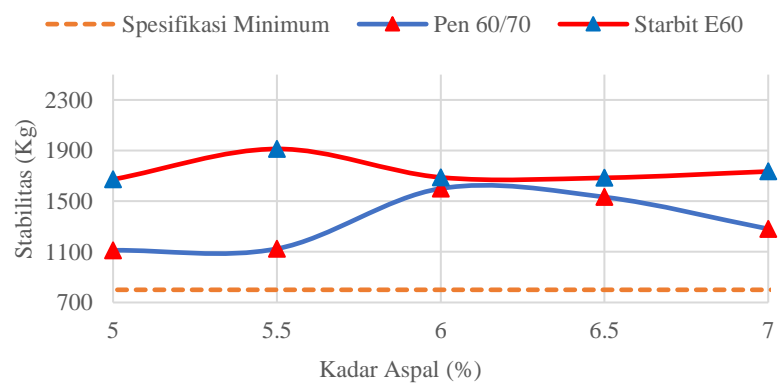
1. Stabilitas

Stabilitas adalah beban yang dapat ditahan oleh campuran perkerasan sampai terjadi kelelahan plastis, secara teori, nilai stabilitas akan naik sampai kadar aspal optimum lalu akan turun seiring bertambahnya aspal, berikut ini adalah

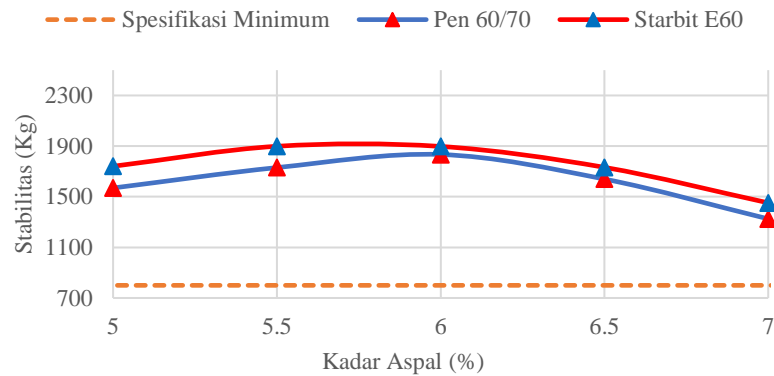
nilai stabilitas campuran AC-WC berdasarkan persen substitusi *Steel Slag* dengan dua jenis bahan ikat. Grafik nilai stabilitas untuk mencari kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.7 sampai 5.9 berikut ini.



Gambar 5. 7 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 8 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

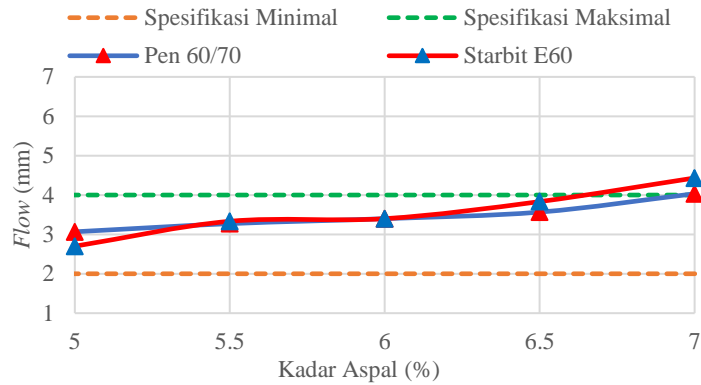


Gambar 5. 9 Grafik Stabilitas dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

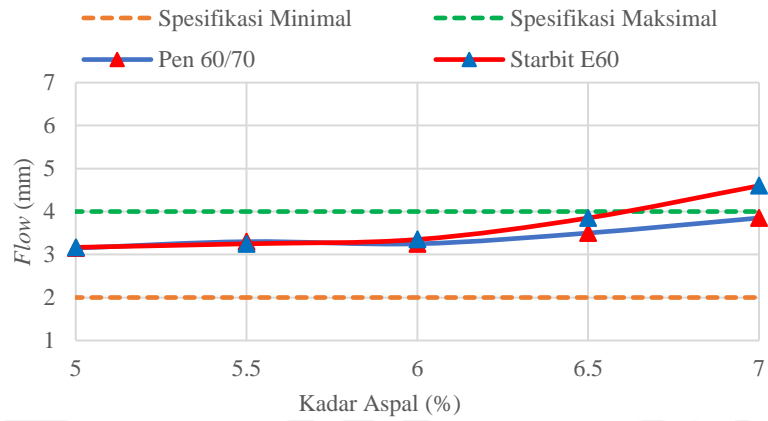
Pada Gambar Grafik 5.7 sampai 5.9 di atas memperlihatkan bahwa nilai stabilitas naik sampai mencapai kadar aspal optimum dan akan turun seiring dengan bertambahnya aspal. Penelitian Putra (2017) juga menyatakan bahwa nilai stabilitas pada campuran berbahan ikat Starbit E60 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70 hal ini dikarenakan aspal Starbit E60 lebih kohesif dibanding aspal Pen 60/70 sehingga lebih mengikat agregat lebih kuat dibanding pen 60/70. Berdasarkan uji Statistik, tidak terdapat perbedaan yang signifikan pada stabilitas yang diperoleh. Penggunaan aspal polimer Starbit E60 menyebabkan nilai stabilitas lebih tinggi dibanding dengan campuran yang menggunakan aspal Pen 60 /70 hal ini disebabkan karena aspal dengan penambahan polimer menjadi lebih kental dan tahan terhadap suhu tinggi sehingga tahan terhadap deformasi, pendapat ini didukung oleh hasil penelitian Asmaeel dan Waheed (2018) yang menyatakan bahwa asapl polimer meningkatkan kelenturan campuran pada suhu tinggi.

2. Kelelahan (*Flow*)

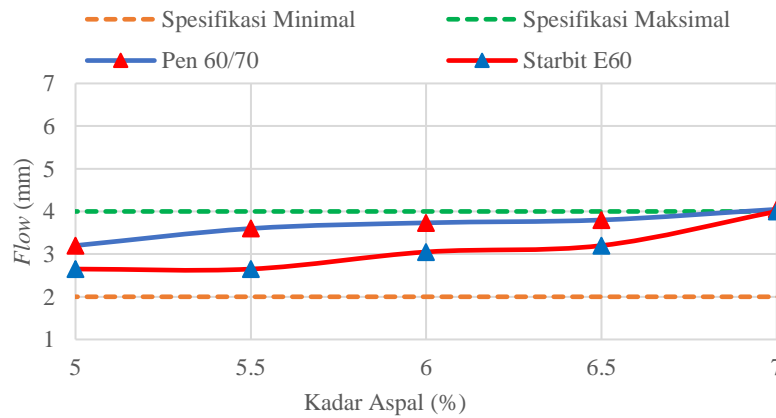
Adapun hasil pengujian *flow* dapat dilihat pada Gambar Gambar 5.10 sampai 5.12 di bawah ini.



Gambar 5. 10 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 11 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

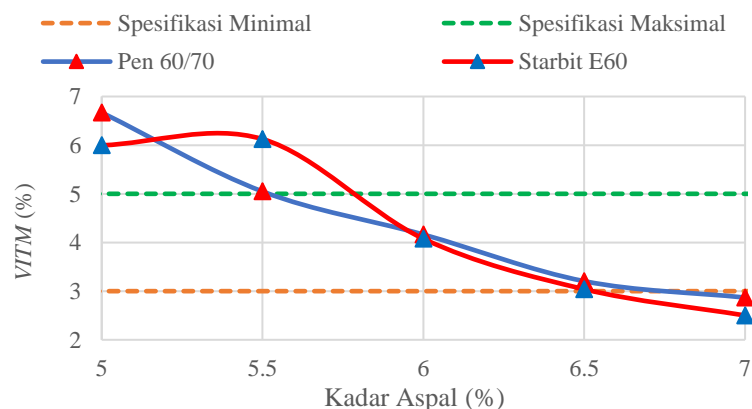


Gambar 5. 12 Grafik *Flow* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

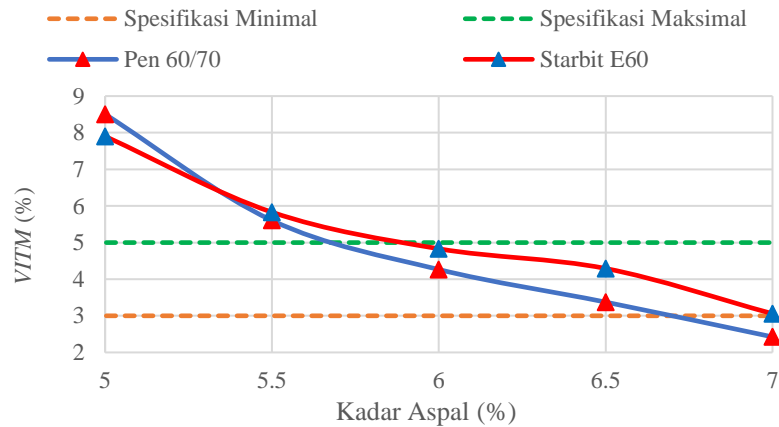
Berdasarkan Grafik 5.10 sampai 5.12 di atas dapat dilihat nilai *flow* cenderung naik seiring dengan naiknya kadar aspal, nilai *flow* semakin rendah dengan naiknya kadar aspal pen 60/70 karena aspal pen 60/70 lebih peka terhadap suhu rendah, *flow* pada campuran yang menggunakan Starbit E60 cenderung lebih rendah, seperti penjelasan sebelumnya bahwa *flow* sangat dipengaruhi oleh suhu terutama efek dari temperature pemadatan, penggunaan Starbit e60 menghasilkan nilai *flow* yang lebih rendah dikarenakan aspal yang mengandung polimer lebih tahan terhadap suhu yang relatif tinggi dibanding aspal konvensional biasa. Aspal Starbit E60 lebih tahan terhadap suhu tinggi dibuktikan dengan nilai titik lembek dan penetrasi, dimana titik lembeknya lebih tinggi dibanding aspal Pen 60/70 dan penetrasinya lebih rendah dibanding aspal Pen 60/70. Penelitian ini juga sejalan dengan hasil penelitian Navarro dkk (2014) yang menyatakan bahwa penambahan polimer dalam aspal menyebabkan campuran lebih tahan terhadap deformasi plastis

3. Void in Total Mix (VITM)

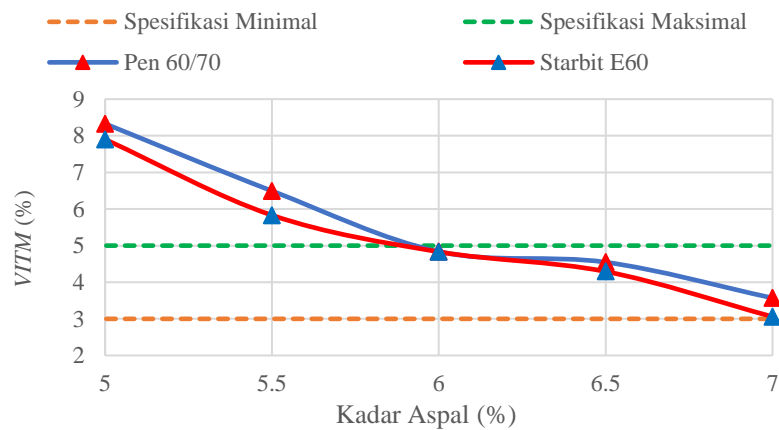
VITM adalah persen rongga terhadap agregat yang dinyatakan dalam bilangan bulat. Semakin rendah nilai VITM menyebabkan durabilitas menurun dan kemungkinan *Bleeding* menjadi besar. Adapun nilai VITM yang didapat dapat dilihat pada Gambar 5.13 sampai 5.15 berikut.



Gambar 5. 13 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 14 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



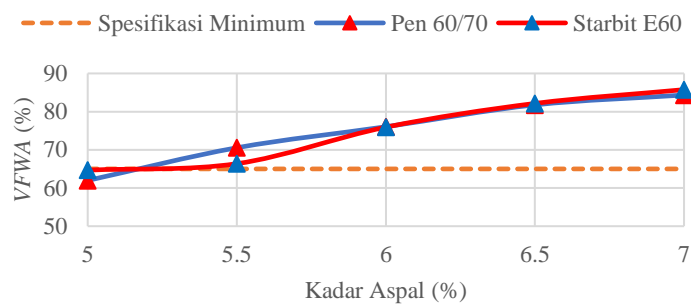
Gambar 5. 15 Grafik VITM dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Dari hasil pembacaan Grafik 5.13 sampai 5.15 di atas memperlihatkan bahwa nilai *VITM* cenderung turun ketika kadar aspal naik. Penurunan nilai *VITM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran semakin kecil. Semakin rendah nilai *VITM* maka semakin tinggi risiko campuran mengalami bleeding dan semakin tinggi juga risiko campuran mengalami penurunan durabilitas. Pada percobaan ini, campuran yang menggunakan aspal pen 60/70 memiliki nilai *VITM* yang lebih tinggi daripada yang menggunakan aspal Starbit E60 meskipun tidak signifikan, hal ini dikarenakan aspal Starbit e60 lebih mengikat rapat dan lebih lekat dibanding

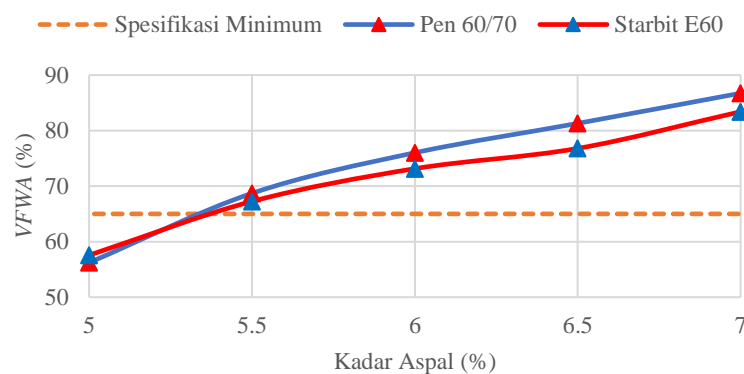
aspal pen 60/70, hasil ini sesuai dengan penelitian Wang dkk (2018) yang menyatakan bahwa campuran beton aspal yang menggunakan aspal modifikasi polimer memiliki nilai rongga udara yang lebih rendah dibanding dengan campuran yang menggunakan aspal konvensional biasa

4. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

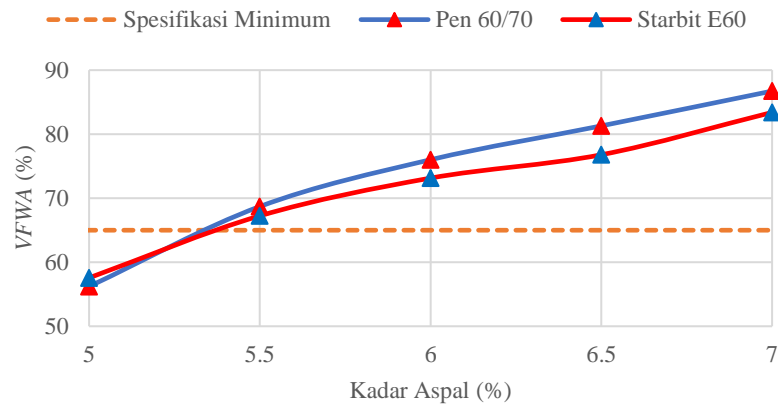
Void filled with asphalt adalah volume pori beton aspal yang terisi oleh aspal setelah proses pemadatan. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga kedap terhadap air dan udaranya tinggi, tetapi sebaliknya jika nilai *VFWA* rendah maka kedapannya terhadap air dan udara juga rendah. Adapun nilai *VFWA* yang didapat bisa dilihat pada Gambar 5.16 sampai 5.18 berikut.



Gambar 5. 16 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 17 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

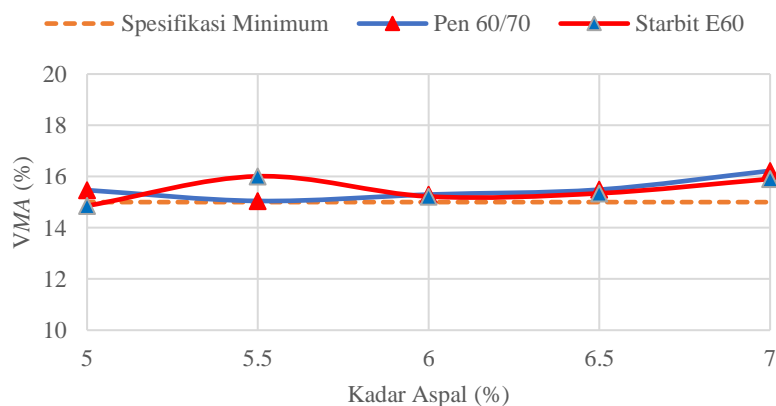


Gambar 5. 18 Grafik VFWA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

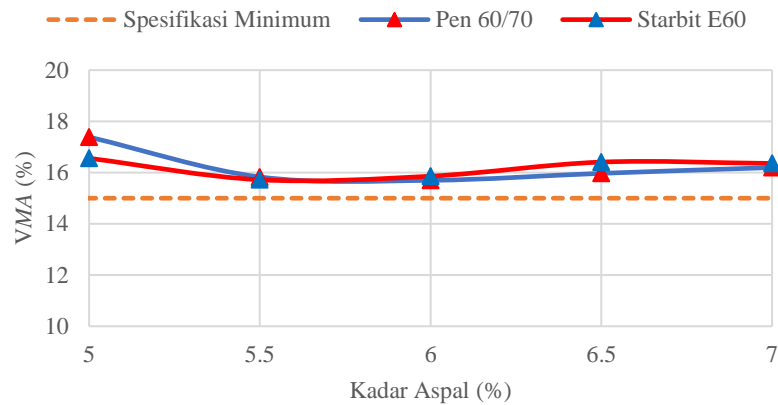
Berdasarkan Grafik 5.16 sampai 5.18 di atas dapat dilihat bahwa campuran dengan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70 memiliki nilai *VFWA* yang lebih tinggi dibandingkan yang menggunakan aspal Starbit E60 karena aspal pen 60/70 lebih mudah terserap kedalam pori batuan.

5. *Void in Mineral Agregat*

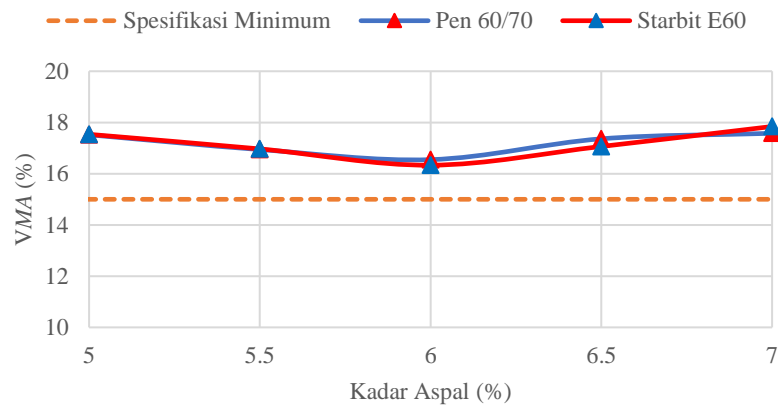
Void in the mineral agregat adalah banyaknya pori diantara butir-butir agregat di dalam beton aspal padat yang dinyatakan dalam persentase. *VMA* akan meningkat jika selimut aspal lebih tebal. Adapun nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.19 sampai 5.21 berikut.



Gambar 5. 19 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 20 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



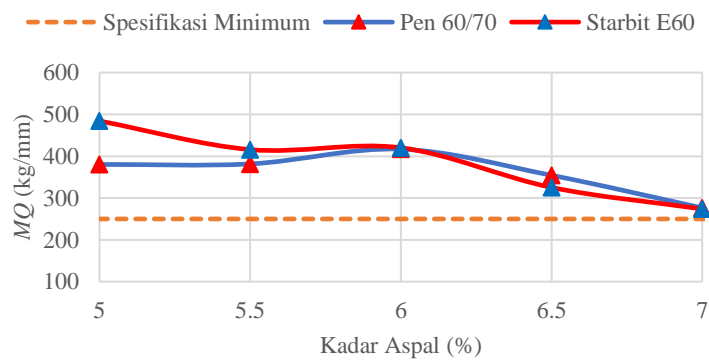
Gambar 5. 21 Grafik VMA dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Grafik 5.19 sampai 5.21 di atas memperlihatkan bahwa nilai *VMA* cenderung meningkat seiring dengan naiknya kadar aspal semakin besar nilai *VMA* maka aspal yang menyelimuti agregat akan semakin tebal, hal ini mengakibatkan campuran akan lebih kedap air, selimut aspal yang tipis akan menyebabkan ikatan dalam campuran mudah lepas. Selimut aspal yang semakin tebal akan menyebabkan campuran semakin rapat dan stabil, penggunaan aspal polimer sebagai bahan ikat juga menyebabkan selimut aspal lebih tebal karena aspal polimer lebih mengikat pada permukaan dari agregat, pendapat ini sesuai dengan penelitian Asmaeel dan Waheed (2014) yang

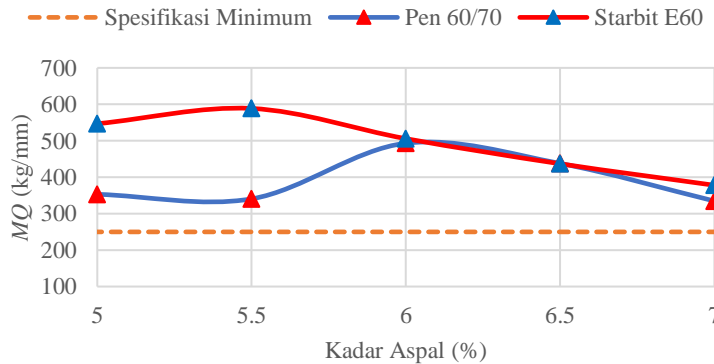
menyebutkan bahwa campuran dengan bahan ikat aspal polimer akan memiliki selimut aspal yang lebih tebal dan lebih tahan terhadap *fatigue*.

6. MQ (*Marshall Quotient*)

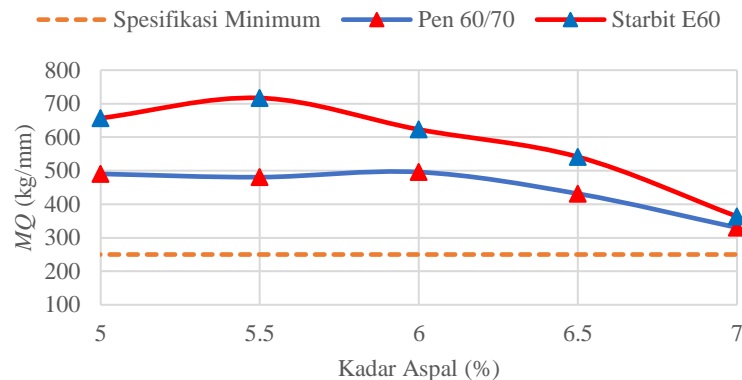
Marshall Quotient adalah hasil bagi marshall yang nilainya menyatakan kekakuan dan kelenturan suatu lapisan perkerasan. Semakin besar nilai *MQ* maka campuran itu semakin kaku begitu pula sebaliknya. Adapun hasil perhitungan *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.22 sampai 5.24 berikut.



Gambar 5. 22 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 23 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

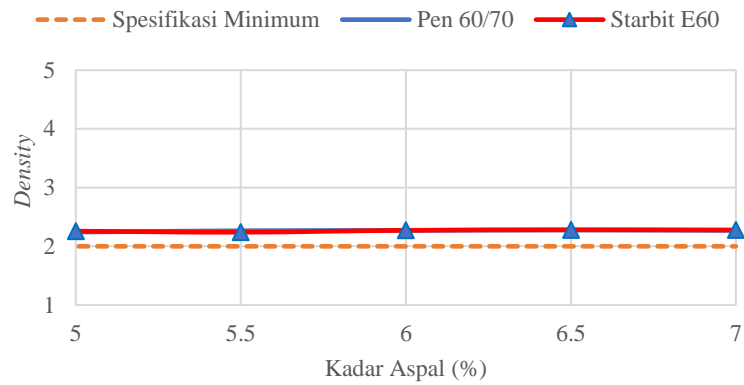


Gambar 5. 24 Grafik MQ dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

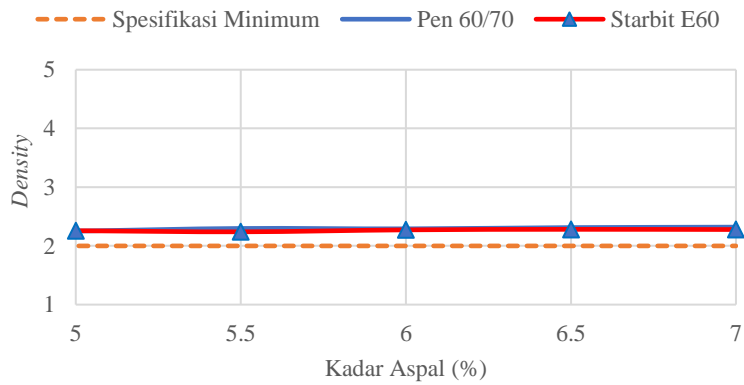
Berdasarkan Grafik 5.22 sampai 5.24 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi nilai kadar aspal semakin rendah nilai MQ nya, hal itu dikarenakan semakin tinggi nilai kadar aspal nilai *flow* semakin tinggi yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi, hal ini sejalan dengan penelitian Putra (2017) yang menyatakan bahwa nilai MQ campuran yang menggunakan Starbit E60 lebih tinggi. Campuran yang menggunakan Starbit E60 memiliki sifat lebih kaku dibandingkan dengan campuran yang menggunakan Pen 60/70, hal itu dipengaruhi oleh titik leleh Starbit yang lebih tinggi dibanding Pen 60/70 dan juga dibuktikan dengan hasil pengujian *Stiffness Bitumen* yang mana Starbit E60 memiliki nilai *stiffness* sebesar 9,333 MPa sedangkan aspal Pen 60/70 memiliki nilai 7,542 MPa, kekakuan aspal Starbit juga dibuktikan dengan hasil penetrasinya pada suhu 25 derajat yang hasilnya lebih rendah dibanding dengan aspal pen 60/70.

7. *Density*

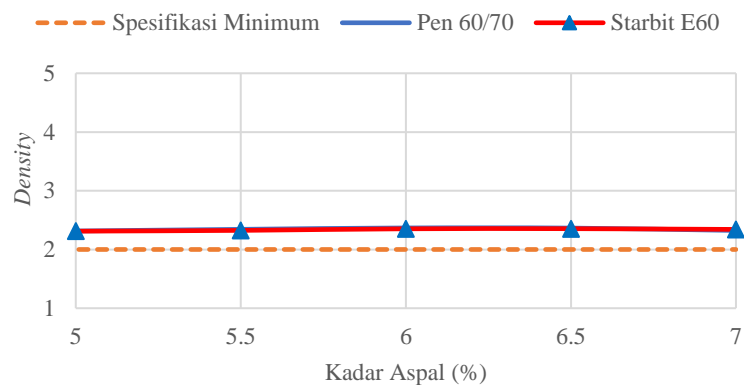
Density adalah nilai berat volume untuk menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai density adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal



Gambar 5. 25 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 0% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 26 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 25% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 27 Grafik *Density* dengan Kadar Aspal Pada Variasi 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan grafik 5.25 sampai 5.27 diatas, memperlihatkan nilai density pada campuran yang menggunakan Starbit E60 dan Pen 60/70 memiliki nilai yang cenderung sama dan stabil.

5.1.4 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Pada Pengujian Ini didapatkan nilai KAO sebanyak enam buah, yaitu tiga KAO untuk aspal Pen 60/70 dan tiga KAO untuk Aspal Starbit E60. Hasil rekapitulasi nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini

Tabel 5. 17 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum (%)		
Persen Substitusi Steel Slag (%)	Aspal Pen 6070	Aspal Starbit E60
0	6,15	6,15
25	6,2	6,25
50	6,35	6,4

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran AC-WC Pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil pengujian pada kadar aspal optimum (KAO) meliputi empat pengujian, yaitu: Pengujian *Marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength*, pengujian *Immersion* 24 Jam, dan pengujian *Cantabro* hasil dari pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.13 Sampai 5.20, selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 29 sampai Lampiran 35.

1. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Marshall* Standar Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Adapun hasil pengujian *Marshall* standar pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 5.12 di bawah ini

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian Marshall Standar Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70

Rekapitulasi Pengujian Marshall							
Variasi Substitusi Steel Slag (%)	Aspal Pen 60/70						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Densit y
0	1320	3,20	412	3,36	19,48	80,23	2,29
25	1363	3,27	415	3,61	18,01	79,65	2,33
50	1520	3,40	447	4,37	17,00	77,08	2,37

Tabel 5. 19 Hasil Pengujian Marshall Standar Pada KAO Aspal Starbit E-60

Rekapitulasi Pengujian Marshall							
Variasi Substitusi Steel Slag (%)	Aspal Starbit E60						
	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Density
0	1332	3,20	421	3,91	19,62	77,20	2,27
25	1456	3,43	425	4,16	18,14	76,71	2,33
50	1634	3,77	435	4,52	16,76	76,01	2,37

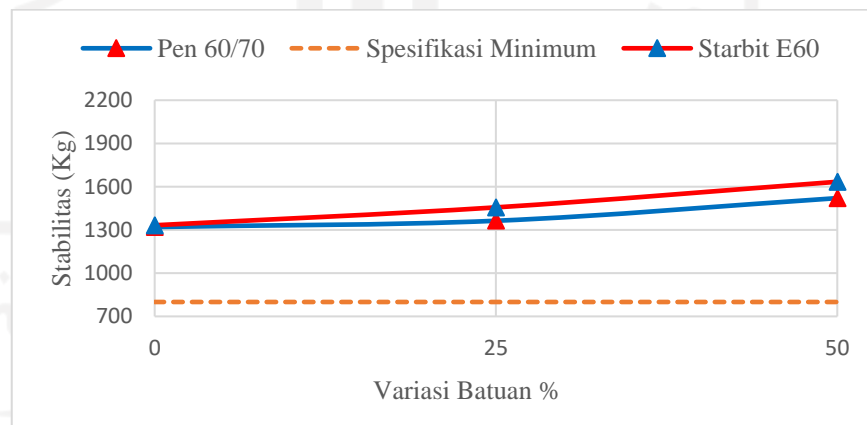
Tabel 5. 20 Hasil Analisis Statistik Uji Marshall Setelah KAO Berdasarkan Jenis Substitusi Agregat

Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
Stabilitas	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Flow	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VITM	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VMA	H0 Diterima	Tidak Signifikan
VFWA	H0 Diterima	Tidak Signifikan
MQ	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Density	H0 Diterima	Tidak Signifikan
ITS	H0 Ditolak	Signifikan
IRS	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Cantabro Loss	H0 Diterima	Tidak Signifikan
Stiffnes Modulus	H0 Diterima	Tidak Signifikan

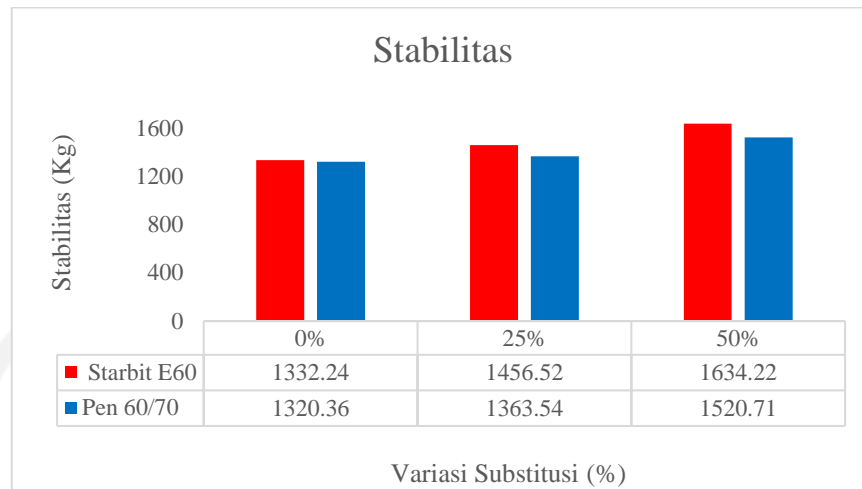
Tabel 5. 21 Hasil Analisis Statistik Uji Marshall Setelah KAO Berdasarkan Jenis Substitusi Agregat

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

a. Stabilitas



Gambar 5. 28 Grafik Stabilitas pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

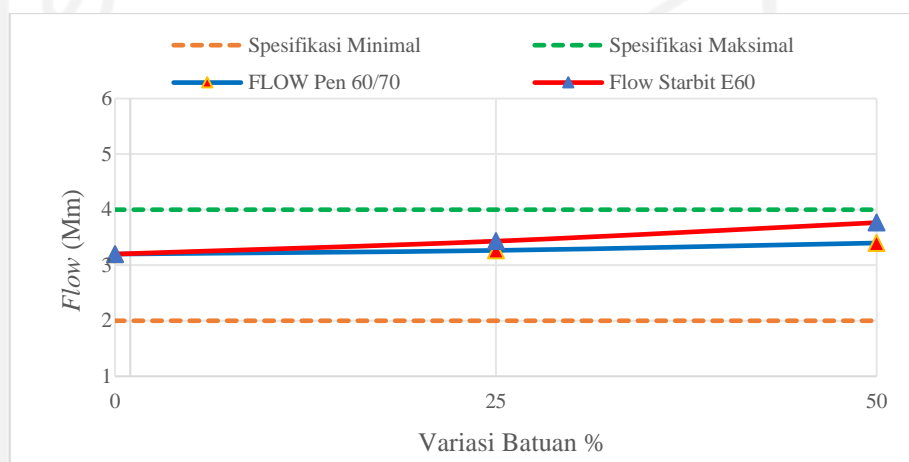


Gambar 5. 29 Bar Chart Stabilitas pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

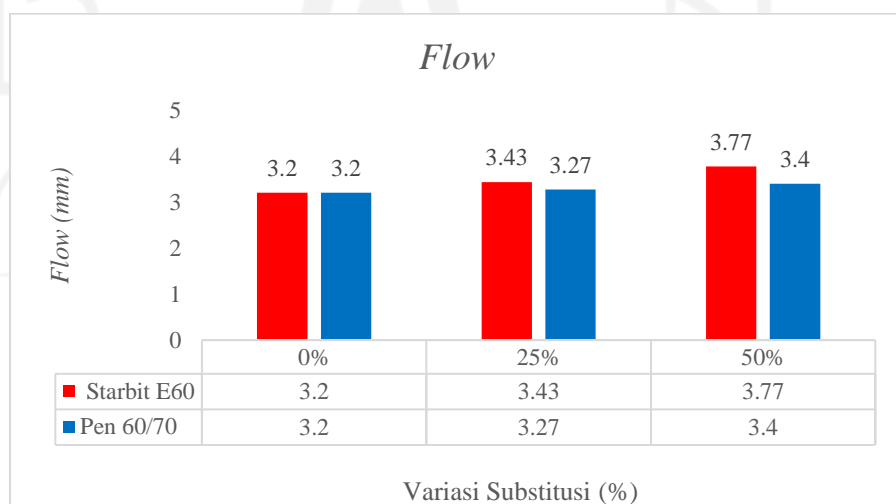
Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan yaitu gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat. Berdasarkan Gambar 5.28 dan 5.29 diatas nilai stabilitas cenderung naik seiring dengan penambahan substitusi agregat *Steel Slag*. Agregat *Steel Slag* yang bertekstur cukup keras menjadi faktor yang mempengaruhi naiknya angka stabilitas, tekstur keras dari *Steel Slag* dibuktikan dengan uji abrasi dari bahan tersebut yang mana hasilnya sebesar 7,04% lebih rendah dibanding agregat Clereng yang digunakan yaitu sebesar 13,04%, setelah Hasil ini sejalan dengan penelitian Hainin dkk (2014) yang menyebutkan semakin besar penambahan *Steel Slag* dalam campuran beraspal akan meningkatkan nilai stabilitas karena sifat *interlocking Steel Slag* dan kekerasan *Steel Slag* memperbaiki dalam hal stabilitas dan juga meningkatkan ketahanan terhadap alur, akan tetapi setelah dilakukan uji Statistik, ternyata penggunaan *Steel Slag* sebagai agregat substitusi tidak signifikan perbedaanya dalam hal stabilitas. Penggunaan aspal Starbit E60 juga terbukti lebih baik dalam hal stabilitas dikarenakan penguanna aspal polimer lebih tahan terhadap deformasi terutama pada suhu yang tinggi,

pendapat ini juga sesuai dengan penelitian Asmaeel dan Waheed (2018) yang menyebutkan bahwa penggunaan aspal polimer akan mempernaiki nilai stabilitas, kemudian setelah dilakukan analisis statistic, penggunaan aspal Starbit juga tidak memberikan perbedaan hasil yang signifikan dalam hal Stabilitas. nilai stabilitas yang didapatkan pada penelitian ini sudah sesuai dengan persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu >800kg.

b. *Flow*



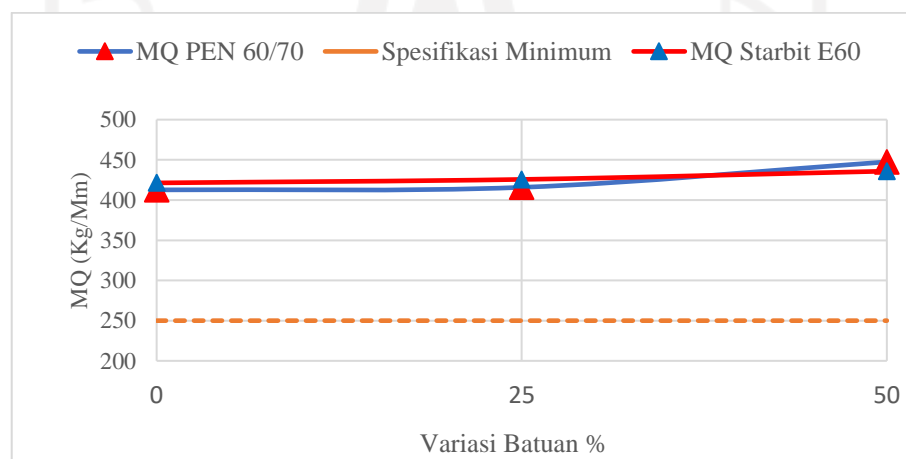
Gambar 5. 30 Grafik *Flow* pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60



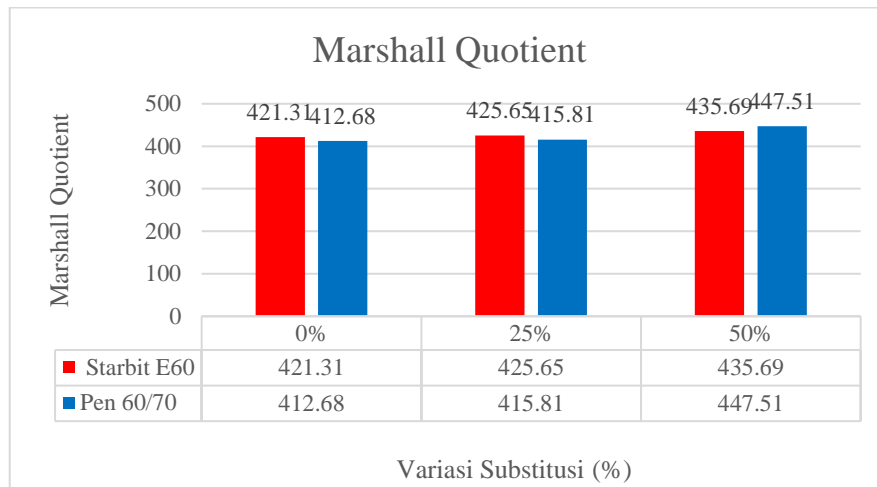
Gambar 5. 31 Bar Chart *Flow* pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Kelelahan (*flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Berdasarkan Gambar 5.30 dan 5.31 di atas menyatakan bahwa nilai *Flow* semakin naik, seiring dengan naiknya persentase substitusi agregat kasar *Steel Slag* dikarenakan campuran yang menggunakan *Steel Slag* memiliki ketahanan terhadap deformasi yang kurang baik karena tidak seragamnya kondisi kekerasan pada *Steel Slag* dan pada campuran yang menggunakan aspal Starbit E60 memiliki nilai *flow* yang relative lebih tinggi dikarenakan penggunaan aspal polimer membuat campuran menjadi semakin lentur campuran tersebut dan juga disebabkan semakin tinggi substitusi *Steel Slag* maka semakin tinggi nilai kadar aspal optimumnya, hasil ini selaras dengan penelitian Pradana (2018) yang menyatakan bahwa *flow* semakin tinggi seiring dengan naiknya persentase substitusi *Steel Slag*, penelitian Bethary dkk (2019) juga menyatakan dengan bertambahnya *Steel Slag* maka nilai kelelahan akan semakin tinggi, setelah dilakukan uji statistik Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan masih memenuhi syarat pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai *Flow* 2mm - 4mm

c. *Marshall Quotient*



Gambar 5. 32 Grafik MQ pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

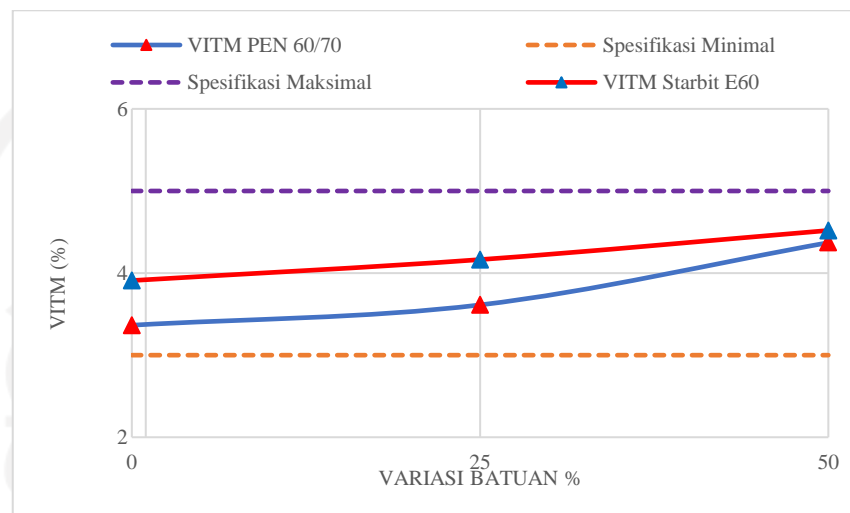


Gambar 5. 33 Bar Chart MQ pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

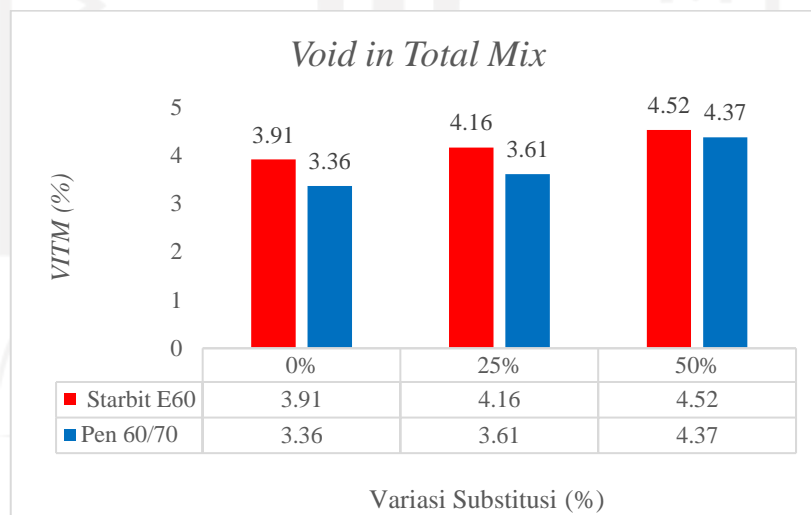
Berdasarkan Gambar 5.32 dan 5.33 di atas dapat dilihat bahwa nilai *MQ* akan naik seiring dengan naiknya variasi substitusi *Steel Slag*, campuran dengan nilai *MQ* besar akan lebih bersifat kaku, dan kurang stabil. Nilai *MQ* untuk aspal Starbit E60 lebih tinggi dibandingkan Aspal Pen 60/70 hal ini menunjukkan bahwa aspal Starbit E60 lebih kaku daripada aspal Pen 60/70, hal ini didukung dengan indeks penetrasi aspal Starbit E60 yang lebih besar dari Pen 60/70, indeks penetrasi yang semakin besar mengakibatkan aspal atau campuran tidak peka terhadap suhu dan bersifat kaku. Penelitian ini juga sejalan dengan Putra (2018) yang mengatakan bahwa nilai *MQ* Starbit E60 cenderung lebih tinggi daripada Pen 60/70 pada kondisi KAO. Pada persentase substitusi *Steel Slag* hasil *MQ* naik karena *Steel Slag* bersifat kaku dan lebih keras sehingga menyebabkan stabilitas menjadi tinggi, meskipun *flow* juga tinggi, sehingga perkerasan memiliki nilai *MQ* yang cenderung naik juga, hasil ini juga selaras dengan penelitian Bethary dkk (2019) yang menyatakan bahwa nilai *MQ* semakin naik seiring dengan naiknya persentase substitusi *Steel Slag* sehingga menyebabkan campuran menjadi lebih kaku. Setelah dianalisis uji statistik terhadap campuran yang berbahan ikat berbeda dan dengan substitusi yang berbeda pula, dinyatakan bahwa perubahan *MQ* yang terjadi tidak signifikan terhadap kedua faktor

tersebut. Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan masih memenuhi syarat pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai $MQ > 250$

d. *Void in the Mix*



Gambar 5. 34 Grafik VITM pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E60

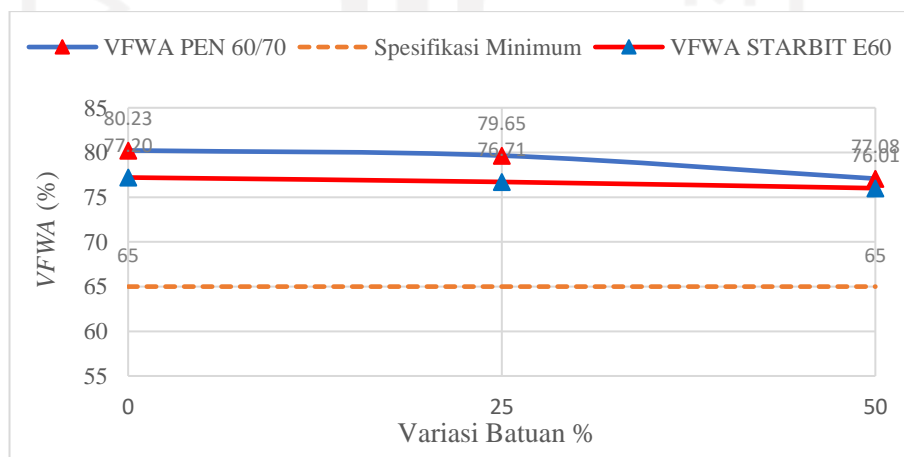


Gambar 5. 35 Bar Chart VITM pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Starbit E60

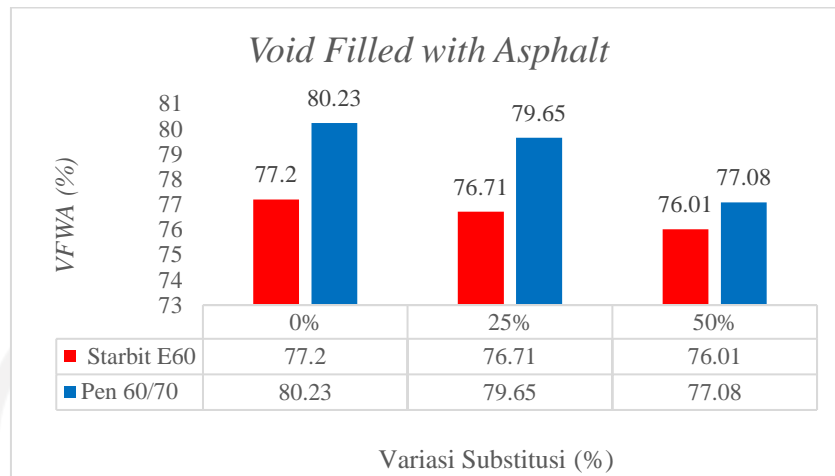
Berdasarkan Gambar 5.34 dan 5.35 di atas dapat dilihat bahwa nilai VITM akan naik seiring dengan bertambahnya proporsi agregat *Steel Slag*, hal ini

disebabkan penambahan *Steel Slag* sebagai pengganti agregat baru juga mempengaruhi karakteristik volumetrik campuran, Sebagian *Steel Slag* jika dilihat secara visual memiliki pori yang tinggi, sehingga rongga yang harusnya terisi oleh aspal, tetapi terisi oleh udara dan menyebabkan nilai *VITM* meningkat, bentuk agregat *Steel Slag* yang bersudut sehingga memungkinkan terciptanya rongga yang semakin besar ketika substitusi ditambah. hal ini selaras dengan penelitian Pradana (2018), penelitian yang dilakukan Arbani dan Azarhoosh (2012) juga menyimpulkan bahwa penambahan *Steel Slag* menyebabkan keanikan nilai *VITM* yang disebabkan oleh rongga dari *Steel Slag* dan juga bentuk permukaannya. Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan masih memenuhi syarat pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai *VITM* sebesar 3%- 5%. Penelitian lain yang sejalan yaitu Bethary dkk (2019), dalam penlitian ini menyatakan bahwa seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag* makan semakin naik nilai *VITM* ya

e. *Void Filled with Asphalt*



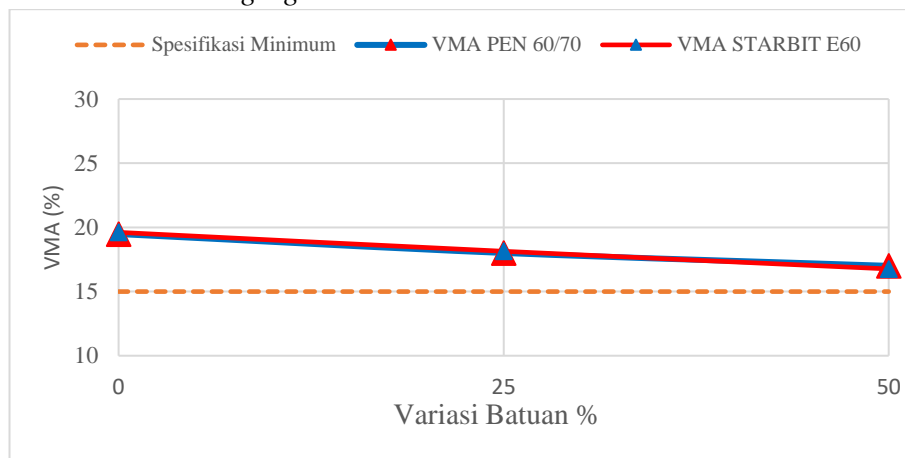
Gambar 5. 36 Grafik VFWA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60



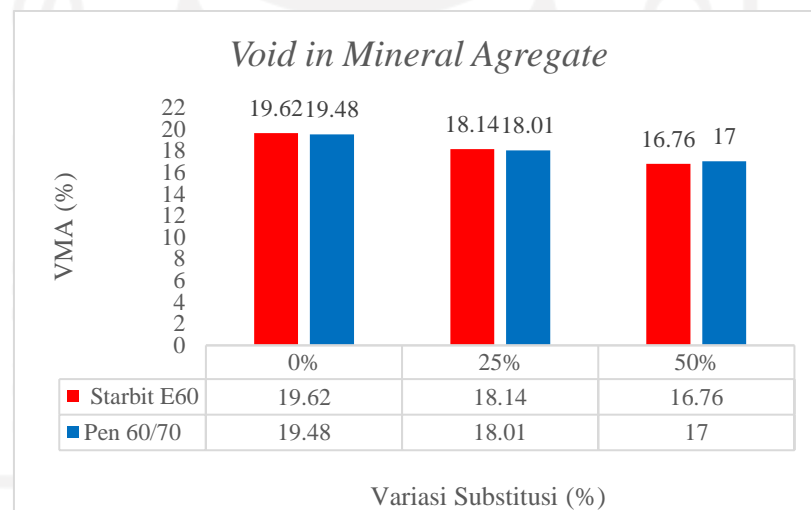
Gambar 5. 37 Bar Chart VFWA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal

Berdasarkan Gambar 5.36 dan 5.37 di atas dapat dilihat bahwa semakin tinggi persen substitusi batu *Steel Slag* maka nilai *VFWA* akan semakin turun. Hal ini disebabkan aspal yang mengisi rongga menjadi semakin sedikit karena aspal cenderung terserap ke batu *Steel Slag* sehingga aspal yang menutup rongga cenderung sedikit. Hasil ini selaras dengan penelitian Gowtham dan Ganesh (2018) yang menyatakan bahwa semakin tinggi persentase substitusi *Steel Slag* menyebabkan kenaikan jumlah pori di dalam campuran (*VITM*) dan menurunkan jumlah pori yang terisi oleh aspal (*VMA*). Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan masih memenuhi syarat pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai *VFWA* > 65%, semakin turunnya nilai *VFWA* juga bisa disebabkan oleh aspal yang hanya menyelimuti agregat tetapi tidak meresap ke dalam agregat.

f. *Void in Mineral Agregat*



Gambar 5. 38 Grafik VMA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60



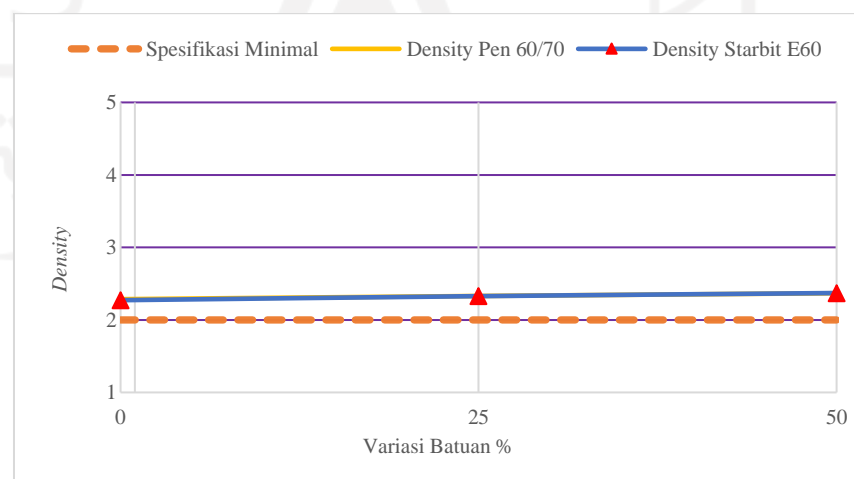
Gambar 5. 39 Bar Chart VMA pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Berdasarkan Gambar 5.38 dan 5.39 di atas dapat dilihat bahwa nilai VMA turun seiring dengan naiknya persen substitusi agregat batu *Steel Slag*, hal ini disebabkan karena batu *Steel Slag* cenderung memiliki pori yang lebih rendah meskipun pada kenyataannya setelah dilihat secara visual, kondisi pori *Steel Slag* pada ukuran saringan yang sama tidak mesti memiliki kesamaan, ada beberapa *Steel Slag* yang memiliki pori banyak dan ada

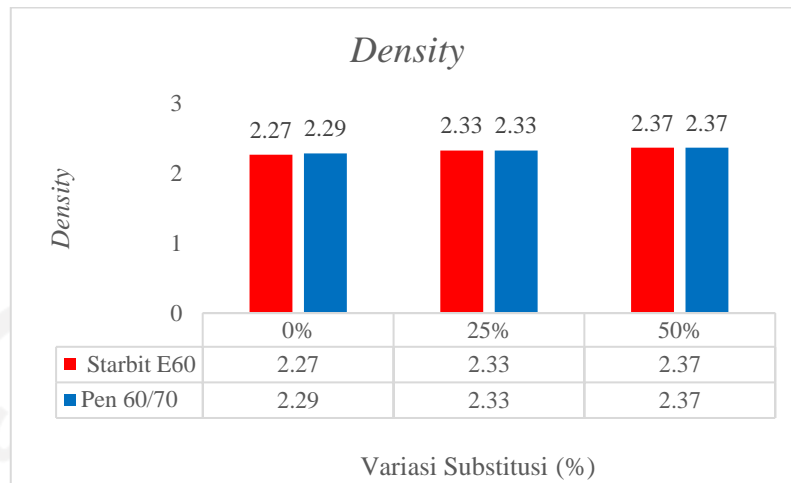
beberapa yang berpori kecil dan sedikit dibanding batu Clereng, sehingga persentase pori diantara agregat cenderung lebih rendah pada campuran yang menggunakan batu *Steel Slag* sebagai substitusi, sedangkan pada campuran berbahan ikat Starbit E60 dan Pen 60/70 tidak memiliki perbedaan yang besar serta tidak signifikan melalui uji analisis statistik. Hasil ini selaras dengan penelitian Hayati (2018) yang menyatakan bahwa semakin tinggi persentase substitusi *Steel Slag* maka nilai *VMA* semakin turun. Setelah dilakukan analisis statistik, campuran dengan perbedaan nilai *VMA* bahan ikat mengalami perbedaan yang signifikan dikarenakan sifat Aspal Starbit yang lebih kental sehingga menciptakan selimut aspal yang lebih tebal, sedangkan pada perubahan substitusi agregat tidak menyebabkan perbedaan yang signifikan pada hasil *VMA* yang terjadi. Dalam penelitian ini, hasil yang didapatkan masih memenuhi syarat pada peraturan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai $VMA > 15\%$

g. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan beton aspal. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kepadatannya semakin baik.



Gambar 5. 40 Grafik *Density* pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60



Gambar 5. 41 Bar Chart Density pada Kondisi KAO untuk Variasi Agregat 0%, 25% dan 50% dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60

Dari Gambar 5.40 dan 5.41 di atas tidak terlalu terlihat signifikan kenaikan dari nilai kepadatan campuran, akan tetapi nilai *density* pada campuran akan semakin naik seiring dengan naiknya persentase substitusi *Steel Slag*, meskipun tidak terlalu terlihat, hal ini selaras dengan Penelitian Pradana (2018) yang mengatakan kenaikan *density* disebabkan oleh berat jenis dari *Steel Slag* yang lebih tinggi dan lebih mudah melekatkan aspal, sehingga campuran menjadi lebih padat.

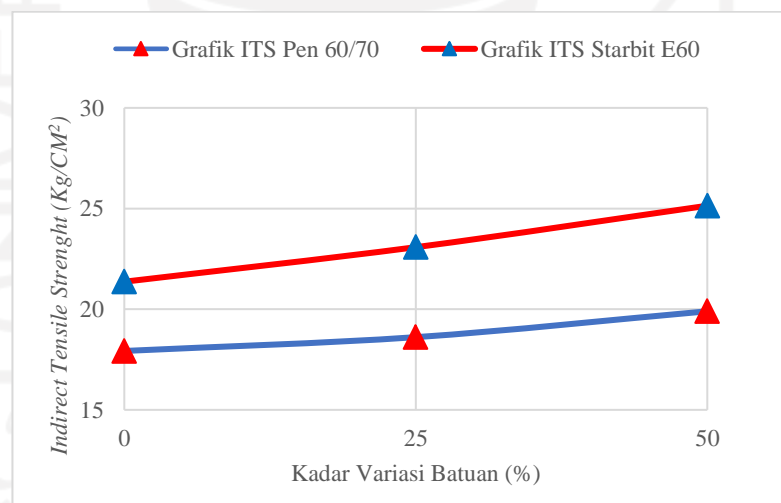
2. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Indirect Tensile Strength* Pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60.

Indirect Tensile Strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan. Adapun hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.15 di bawah ini

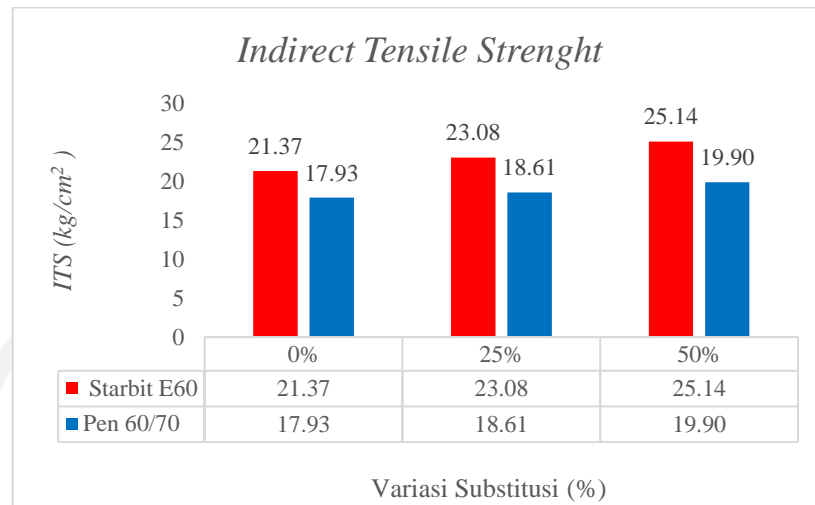
Tabel 5. 22 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Starbit E60

Rekapitulasi Pengujian ITS			
Aspal Starbit E60		Aspal Pen 60/70	
Variasi Substitusi Steel Slag (%)	ITS (kg/cm²)	Variasi Substitusi Steel Slag (%)	ITS (kg/cm²)
0	21,37	0	17,93
25	23,08	25	18,61
50	25,14	50	19,90

Indirect Tensile Strength adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Berdasarkan data diatas dapat dibuat Grafik hasil pengujian ITS sebagai berikut. Grafik hasil pengujian dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut



Gambar 5. 42 Grafik ITS Pada Variasi Agregat Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Starbit E60



Gambar 5. 43 Bar Chart ITS Pada Variasi Agregat Dengan Menggunakan Aspal Pen 60/70 Dan Starbit E60

Berdasarkan Gambar 5.42 dan 5.43 di atas dapat dilihat bahwa nilai *ITS* cenderung naik seiring dengan naiknya persentase substitusi dari *Steel Slag*, hal ini dikarenakan kekasaran permukaan *Steel Slag* yang lebih tinggi dari batu andesit Clereng, pada agregat *Steel Slag* uji abrasi didapatkan hasil 7,04% sedangkan pada batu andesit Clereng didapatkan sebesar 13,04%, nilai *ITS* yang semakin naik seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag*, hal ini dikarenakan campuran yang menggunakan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat memiliki berat jenis campuran yang lebih tinggi, secara umum, campuran yang memiliki berat jenis tinggi menjadikan campuran tersebut lebih padat dan lebih tahan terhadap adanya perilaku Tarik tidak langsung, pada penelitian ini penggunaan *Steel Slag* memiliki hasil sebesar 21,37%, 23,08% dan 25,14% untuk campuran dengan bahan ikat Starbit E60 serta 17,93% , 18,61% dan 19,9% untuk campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 juga selaras dengan penelitian Passeto dan Baldo (2012) yang menyebutkan bahwa campuran yang menggunakan *Steel Slag* naik sebesar 16,2 kg/cm² 18,8 Kg/cm² dan 23,5 Kg/cm². Penggunaan Starbit E60 juga mengakibatkan nilai *ITS* lebih tinggi dibanding dengan campuran yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 hal ini dikarenakan sifat aspal Starbit yang lebih lentur dalam menahan deformasi dan

geser pada suhu yang relatif tinggi dan akan bersifat kaku pada suhu rendah selaras dengan penelitian Nugraha dan Subarkah (2020) dikarenakan aspal Starbit lebih kaku pada suhu yang lebih rendah. Setelah dilakukan uji statistik Penggunaan *Steel Slag* sebagai alternatif agregat kasar mengalami perbedaan signifikan dengan semakin tinggi nilai substitusi sedangkan jika dibandingkan dengan perbedaan bahan ikat, perubahannya tidak signifikan juga sangat baik dalam hal mencegah terjadinya retak halus karena sifat *Steel Slag* sendiri yang sangat keras, hasil ini sejalan dengan penelitian Kok dan Koluglu (2008) yang menyatakan bahwa campuran yang menggunakan *Steel Slag* menghasilkan nilai kuat tarik tidak langsung lebih besar empat kali lipat dibanding dengan agregat biasa

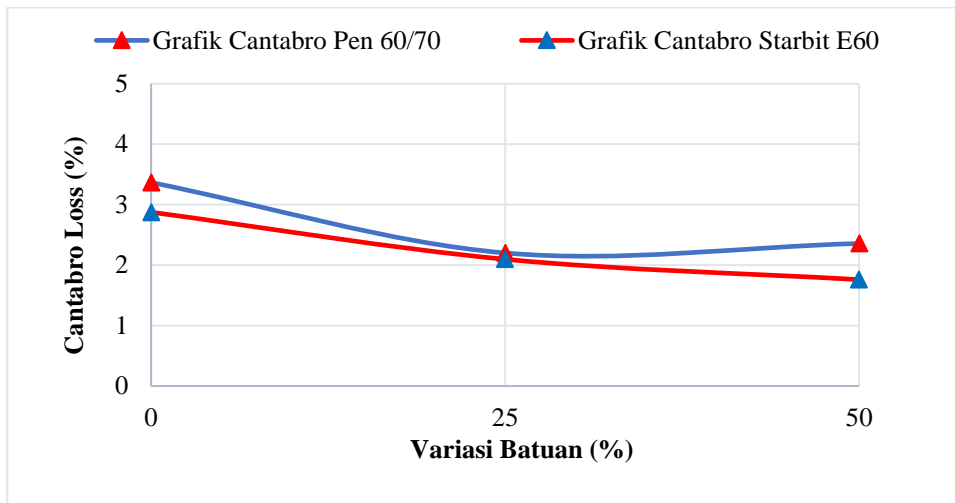
3. Karakteristik *Cantabro* Pada Kondisi KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60.

Adapun hasil pengujian *Cantabro* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.16 di bawah ini

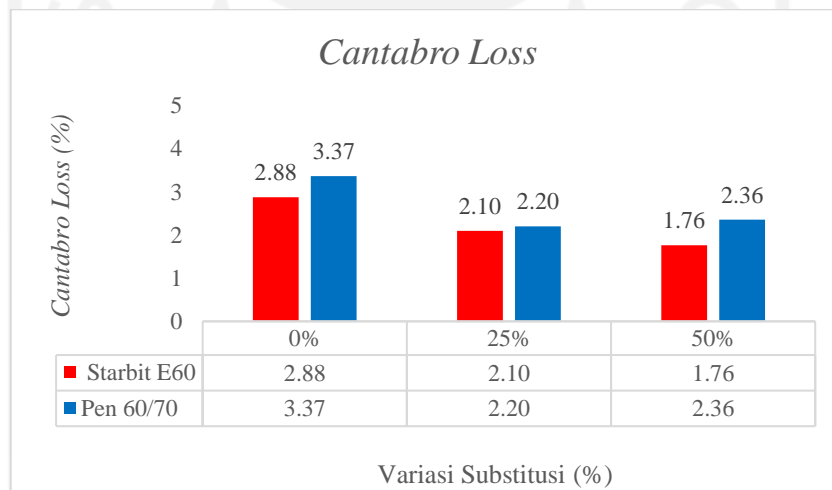
Tabel 5. 23 Hasil Pengujian *Cantabro* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-60

Aspal Pertamina Pen 60/70		Aspal Starbit E60	
Variasi <i>Steel Slag</i> (%)	Kehilangan Berat (%)	Variasi <i>Steel Slag</i> (%)	Kehilangan Berat (%)
0	3,37	0	2,88
25	2,20	25	2,10
50	2,36	50	1,76

Pengujian *Cantabro* bertujuan untuk menggambarkan tingkat ketahanan benda uji terhadap keausan dan gesekan berulang. Hal ini bertujuan untuk mengetahui ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang berulang ulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Adapun hasil pengujian *Cantabro* dapat dilihat pada Gambar 5.36 berikut.



Gambar 5. 44 Grafik Karakteristik *Cantabro* Pada Kondisi KAO



Gambar 5. 45 Bar Chart *Cantabro* Pada Kondisi KAO

Berdasarkan Gambar 5.44 dan 5.45 di atas dapat dilihat bahwa nilai keausan campuran semakin menurun seiring dengan naiknya variasi substitusi *Steel Slag*, hal ini disebabkan karena campuran dengan variasi agregat *Steel Slag* lebih tahan terhadap keausan karena nilai pengujian keausan agregat *Steel Slag* lebih kecil dibandingkan dengan Clereng. Pada campuran berbahan ikat Starbit E60 memiliki nilai *Cantabro* lebih rendah karena Starbit E60 lebih kaku dan memiliki kekuatan ikatan kohesi yang besar sehingga ikatan antara aspal dan

agregat menjadi lebih kuat hal ini dibuktikan juga dengan hasil perhitungan *Stiffness Mixture* yang semakin tinggi seiring dengan naiknya persentase substitusi *Steel Slag* seperti pada Tabel 5.22, pernyataan ini selaras dengan penelitian Nugraha dan Subarkah (2020) yang menyatakan bahwa campuran yang menggunakan Starbit memiliki nilai *Cantabro Loss* yang lebih rendah. Analisis statistic yang dilakukan terhadap dua faktor yaitu pengaruh substitusi dan pengaruh bahan ikan menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan terhadap campuran beton aspal tersebut.

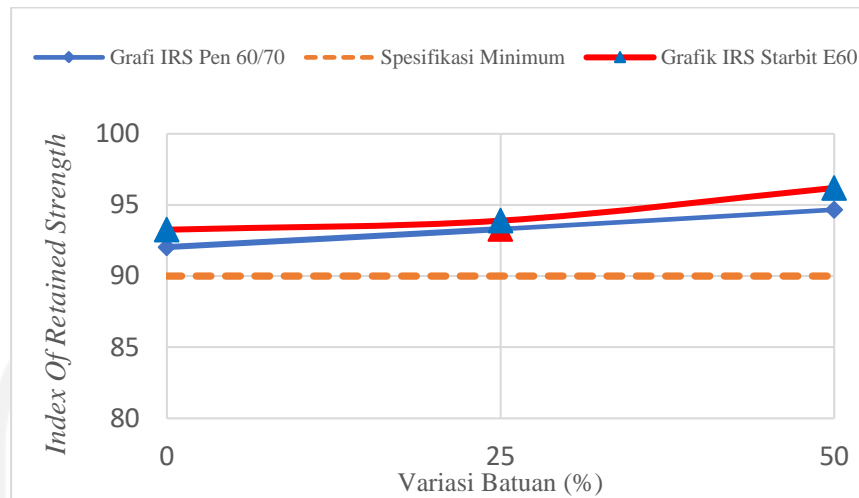
4. Hasil Pengujian *Immersion* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60.

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Aspal Starbit E60 dan Pen 60/70 sebagai bahan ikat terhadap campuran AC-WC mengandung *Steel Slag* sebagai substitusi agregat kasar. *IRS* diperoleh dari proses perendaman, untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) sisa yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Adapun hasil pengujian *IRS* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.17 di bawah ini

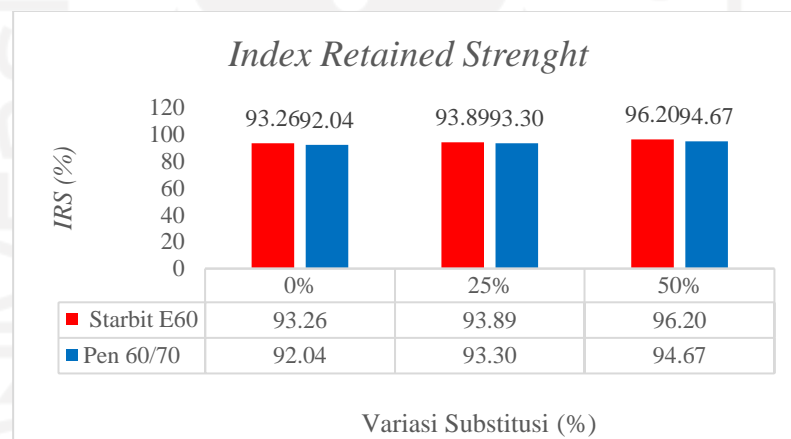
Tabel 5. 24 Hasil Pengujian *IRS* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E-60

Variasi <i>Steel Slag</i> (%)	Aspal Pen 60/70			Aspal Starbit E-60		
	Stabilitas (kg)		Nilai <i>IRS</i> (%)	Stabilitas (kg)		Nilai <i>IRS</i> (%)
	0,5 Jam	24 Jam		0,5 Jam	24 Jam	
0	1320	1215	92,04	1332	1242	93,26
25	1363	1272	93,30	1456	1367	93,89
50	1520	1439	94,67	1634	1572	96,20

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan Aspal Starbit E60 dan Pen 60/70 sebagai bahan ikat terhadap campuran AC-WC mengandung *Steel Slag* sebagai substitusi agregat kasar. *IRS* diperoleh dari proses perendaman, untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) sisa yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Adapun hasil pengujian *IRS* dapat dilihat pada Gambar 5.37 berikut.



Gambar 5. 46 Grafik Karakteristik IRS Pada Kondisi KAO



Gambar 5. 47 Bar Chart Karakteristik IRS Pada Kondisi KAO

Dari Gambar 5.46 dan 5.47 di atas memperlihatkan bahwa penggunaan aspal Starbit E60 lebih baik pada pengujian IRS dibandingkan dengan Aspal Pen 60/70, hasil ini juga membuktikan bahwa campuran yang menggunakan aspal Starbit E60 lebih bertahan pada suhu ekstrim, ini senada dengan sifat titik lemek dan penetrasi Starbit E60 yang mana aspal tersebut lebih tahan terhadap suhu tinggi yaitu, hal ini dibuktikan dengan nilai indeks penetrasi aspal Starbit yang lebih tinggi yaitu -0,25 sedangkan pada aspal Pen 60/70 sebesar -0,28, penggunaan *Steel Slag* sebagai agregat kasar juga menaikkan nilai IRS, semakin besar substitusi *Steel Slag* dikarenakan *Steel Slag* secara struktur mempunyai

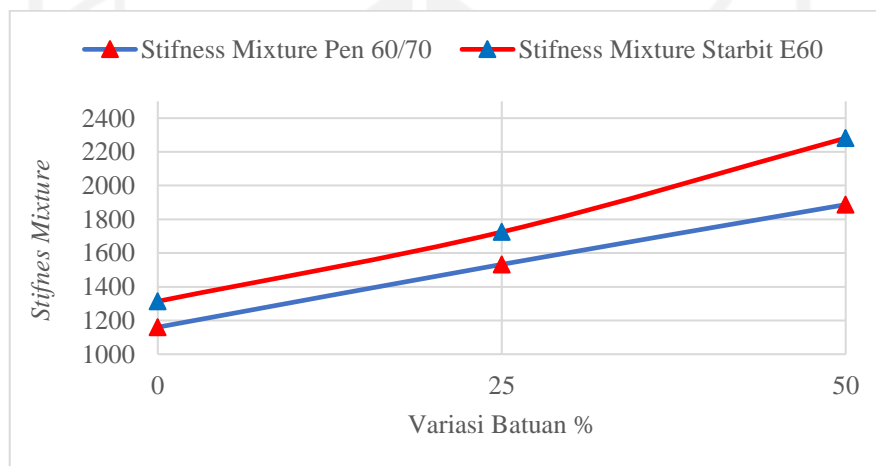
kemampuan *interlocking* agregat yang baik dan aspal Starbit yang digunakan bersifat lebih kohesif. Pernyataan ini didukung oleh hasil penelitian dari Hainin (2014) yang menyebutkan bahwa campuran yang menggunakan *Steel Slag* memiliki ketahanan campuran yang baik karena sifat *interlocking* agregat yang baik. Penelitian lain dilakukan oleh Ameri dkk (2013) yang mana campuran yang menggunakan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat kasar memiliki ketahanan lebih terhadap deformasi dan perubahan suhu yang tinggi serta ekstrim dan mempunyai tingkat durabilitas campuran yang lebih tinggi dibanding dengan campuran yang tidak menggunakan *Steel Slag*. Hasil ini setelah diuji statistik tidak menunjukkan perubahan yang signifikan baik dalam hal tingkat substitusi agregat maupun perbedaan jenis bahan ikat. Namun demikian, keduanya masih memenuhi persyaratan Direktorat Jenderal Bina Marga 2018 yaitu >90%

5. Hasil Perhitungan *Stiffnes Modulus Bitumen* dan *Stiffnes Modulus Mixture* pada KAO Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60. Perhitungan ini dimaksudkan untuk mengetahui tingkat kekakuan dari bitumen atau aspal dan kekakuan dari campuran beton aspal. Adapun hasil pengujian *Stiffnes Modulus Bitumen* dan *Stiffnes Modulus Mixture* pada KAO aspal Pertamina Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60 dapat dilihat pada Tabel 5.18 di bawah ini.

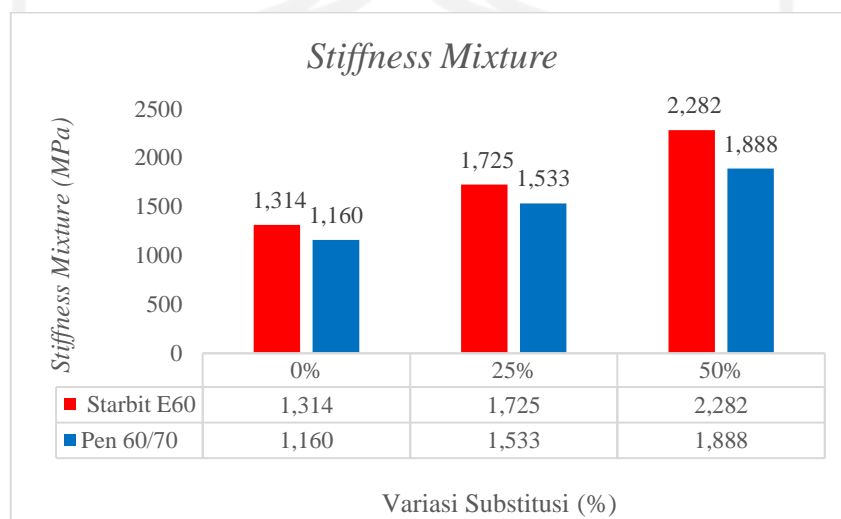
Tabel 5. 25 Hasil Perhitungan *Stiffnes Modulus Bitumen* dan *Stiffness Modulus Mixture* pada KAO Aspal Pen 60/70 dan Aspal Starbit E60

Variasi <i>Steel Slag</i> (%)	Aspal Starbit E60		Aspal Pen 60/70	
	<i>Stiffnes Bitumen</i> (MPa)	<i>Stiffness Mixture</i> (MPa)	<i>Stiffnes Bitumen</i> (MPa)	<i>Stiffness Mixture</i> (MPa)
0	9,33	1313,74	7,54	1160,06
25	9,33	1724,85	7,54	1532,56
50	9,33	2281,75	7,54	1887,29

Dari Tabel 5.22 di atas dapat diketahui bahwa aspal Starbit E60 memiliki tingkat kekakuan sebesar 9,33 Mpa yang lebih tinggi dibanding dengan aspal Pen 60/70 yang sebesar 7,54 Mpa hal ini disebabkan aspal Starbit Mengandung polimer elastomer, hasil ini selaras dengan penelitian Zhi dkk (2012) yang menyatakan bahwa aspal dengan penambahan polymer memiliki nilai *stiffnes modulus* yang lebih besar dan lebih dianjurkan untuk jalan dengan lalu lintas tinggi serta lebih bertahan terhadap kerusakan retak. Perhitungan selanjutnya adalah perhitungan nilai kekakuan campuran, adapun grafik perhitungan nilai kekakuan campuran dapat dilihat pada Gambar 5.39 di bawah ini.



Gambar 5. 48 Grafik *Stiffnes Mixture*



Gambar 5. 49 Bar Chart *Stiffnes Mixture*

Dari Gambar 5.48 dan 5.49 di atas dapat disimpulkan bahwa semakin tinggi persentase substitusi *Steel Slag* maka semakin tinggi nilai *Stiffness Modulus Mixture* atau kekakuan dari campuran yaitu sebesar 1313,73 Mpa, 1724,86 Mpa dan 2281,75 Mpa untuk campuran dengan bahan ikat Starbit E60 dan 1160,06 Mpa, 1532,56 Mpa dan 1882,9 Mpa untuk campuran dengan bahan ikat Pen 60/70 hal ini selaras dengan nilai *MQ* pada pengujian *Marshall*, dimana hasil *MQ* semakin naik seiring dengan naiknya persentase substitusi *Steel Slag*, pernyataan ini selaras juga dengan penelitian Behiry (2013) yang menyatakan bahwa campuran yang mengandung *Steel Slag* memiliki nilai *Stiffness Modulus Mixture* yang lebih tinggi daripada campuran dengan agregat batu biasa pada pengujian dengan temperatur yang sama dikarenakan *Steel Slag* memiliki tingkat kekasaran permukaan yang lebih tinggi dan mudah melekatkan aspal, sehingga memperbesar friksi. Campuran berbahan ikat aspal Starbit E60 juga memiliki nilai kekakuan yang lebih tinggi dibanding dengan campuran berbahan ikat Pen 60/70 karena aspal Starbit lebih kaku dilihat dari nilai *Stiffness Bitumen* pada perhitungan sebelumnya yaitu sebesar 9,33 Mpa.

5.2 Rekapitulasi Hasil Pengujian Seluruh Campuran

Berikut ini merupakan rekapitulasi hasil pengujian seluruh campuran dapat dilihat pada tabel 5.26 di bawah ini.

Tabel 5. 26 Rekapitulasi Hasil Pengujian Seluruh Campuran

Parameter	Aspal Pen 60/70			Strabit E60		
	0%	25%	50%	0%	25%	50%
KAO	6,15	6,2	6,35	6,15	6,25	6,4
Stabilitas	1320	1353	1502	1353	1457	1634
<i>Flow</i>	3,20	3,27	3,47	3,20	3,43	3,77
<i>MQ</i>	413	416	434	426	426	436
<i>VITM</i>	3,36	3,61	4,16	4,38	4,16	4,52
<i>VMA</i>	19,48	18,01	16,82	20,01	18,14	16,76
<i>VFWA</i>	80,23	79,65	77,99	75,16	76,71	76,01
<i>Density</i>	2,29	2,33	2,37	2,27	2,33	2,37
<i>IRS</i>	92,04	93,30	94,67	93,26	93,89	96,20
<i>ITS</i>	17,93	17,62	18,68	19,09	23,08	25,14
<i>Cantabro</i>	3,37	2,20	2,36	2,88	2,10	1,76

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran AC-WC dengan variasi agregat kasar *Steel Slag* sebesar 0%, 25%, dan 50% dan variasi bahan ikat berupa aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dapat disimpulkan sebagai berikut

1. Penggunaan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat berpengaruh pada karakteristik beberapa parameter *marshall* seperti *VITM*, dimana semakin banyak substitusi *Steel Slag*, maka semakin naik *VITM* dikarenakan beberapa *Steel Slag* memiliki pori yang banyak. Penggunaan *Steel Slag* juga berpengaruh pada kenaikan nilai Stabilitas, semakin banyak *Steel Slag* yang digunakan, stabilitas akan semakin naik. Penggunaan aspal Starbit dalam campuran ini juga lebih baik dalam segi stabilitas dan juga *Void* yang dihasilkan.
2. Penggunaan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat menyebabkan nilai *ITS* semakin baik atau meningkat, hal ini merupakan efek dari berat jenis *Steel Slag* yang tinggi, sehingga menyebabkan berat jenis campuran lebih tinggi. Campuran dengan berat jenis tinggi cenderung padat dan tahan terhadap kuat Tarik tidak langsung, sedangkan penggunaan Starbit E60 berpengaruh juga dalam peningkatan nilai *ITS* dibandingkan dengan Aspal Pen 60/70.
3. Penggunaan *Steel Slag* sebagai substitusi agregat menyebabkan nilai *IRS* semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag*, karena sifat *interlocking* agregat yang baik, selain itu penggunaan aspal Starbit E60 juga menyebabkan nilai *IRS* menjadi lebih baik, karena aspal Starbit merupakan aspal Polimer yang lebih tahan terhadap suhu tinggi atau ekstrem.
4. Penggunaan *Steel Slag* menyebabkan nilai *Cantabro* semakin turun karena campuran yang menggunakan *Steel Slag* lebih padat dan lebih kuat terhadap gesekan sedangkan penggunaan Starbit sendiri menyebabkan campuran lebih

kuat dan lebih lentur karena stabil memiliki kohesi yang lebih baik dibanding dengan Pen 60/70

5. Penggunaan *Steel Slag* menyebabkan *Stiffness Modulus* yang semakin meningkat seiring dengan naiknya substitusi *Steel Slag* karena *Steel slag* memiliki tingkat kekasaran yang tinggi dan mudah melekatkan aspal sedangkan penggunaan *Starbit* menyebabkan campuran menjadi lebih kaku karena aspal *Starbit* lebih kaku dilihat dari nilai *Stiffness Bitumen* yang lebih tinggi dibanding dengan Aspal Pen 60/70, aspal *Starbit* juga tidak peka terhadap suhu dibanding dengan Aspal Pen 60/70
6. Substitusi agregat *Steel Slag* yang dapat dipakai hanya sampai 50% dari berat total agregat karena di atas 50% tidak memenuhi salah satu parameter *marshall* yaitu *VITM*

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *Steel Slag* sebagai variasi substitusi agregat kasar dan penggunaan aspal *Starbit E60* dan Pen 60/70 sebagai bahan ikat, maka penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, adapun saran dari peneliti sebagai berikut.

1. *Steel Slag* dapat digunakan sebagai substitusi agregat hingga 50% dari berat agregat kasar total.
2. *Steel Slag* dapat digunakan untuk substitusi pada campuran yang digunakan untuk lalu lintas berat
3. Aspal *Starbit E60* dapat digunakan pada lalu lintas berat dan suhu yang ekstrem karena memiliki titik leleh yang tinggi sehingga aspal tersebut tahan terhadap suhu tinggi.
4. Memilih *Steel slag* dengan kondisi pori- pori permukaan yang lebih sedikit agar tidak menyebabkan kenaikan rongga dalam campuran.

DAFTAR PUSTAKA

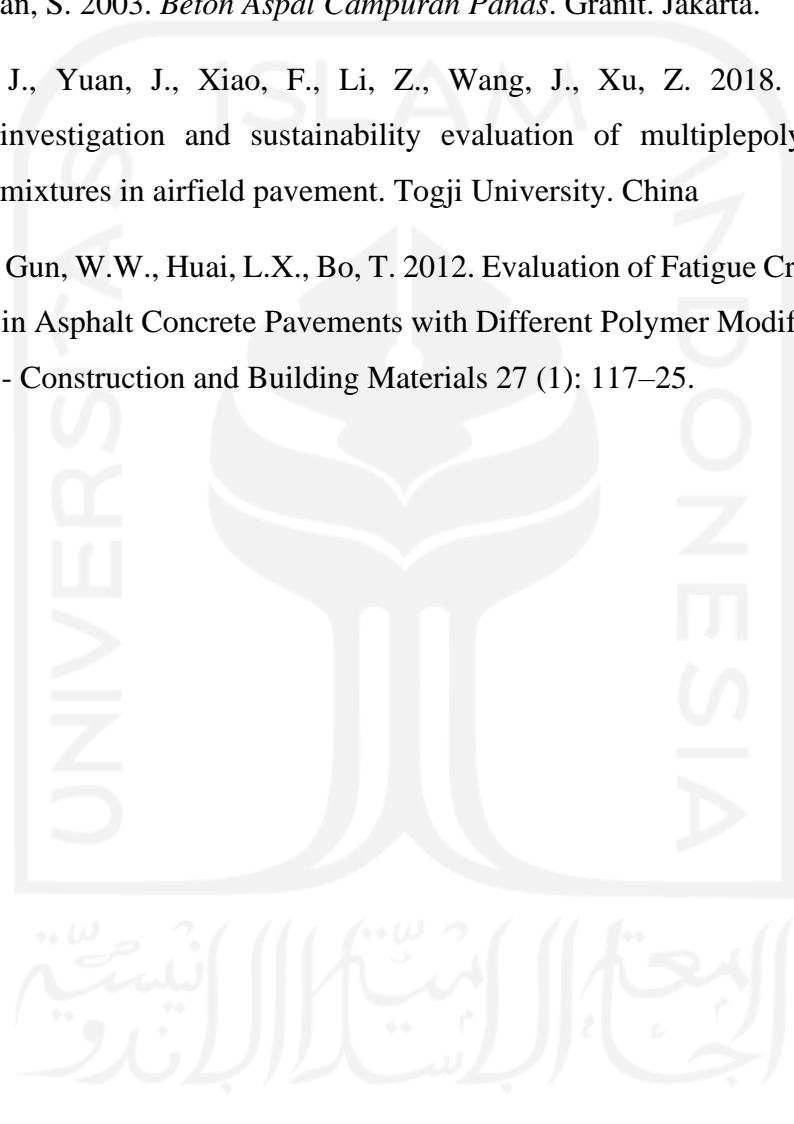
- Ameeri, M., Hesami, S., Goli, H. 2013. Laboratory Evaluation of Warm Mix Asphalt Mixtures Containing Electric Arc Furnace (EAF) Steel Slag. University of Science and Technology (IUST), Narmak, Tehran, Iran
- Asmaeel, N.M. dan Waheed, M.Q. 2018. Investigation of Using Polymers to Improve Asphalt Pavement Performance. Mustansiriyah University, Iraq. *American Scientific Research Journal for Engineering, Technology, and Sciences (ASRJETS) (2018) Volume 39, No 1, pp 38-48*
- Arabani, M dan Azarhoosh, A.R. 2012. The Effect of Recycled Concrete Aggregate and Steel Slag on The Dynamic Properties of Asphalt Mixtures. University of Guilan. Iran
- Behiry, Ahmed Ebrahim Abu El-Maaty. 2013. Evaluation of steel slag and crushed limestone mixtures as material in flexible pavement. *Ain Shams University Journal 43-53. Egypt*
- Bethary, R.T., Subagio, B.S., Rahman, H., Suaryana, N. 2019. Effect of Steel Slag and Recycled Materials on The Peformance of Hot Mix Asphalt (AC-BC). *Jurnal Teknik Sipil. ISSN 0853-2982*
- Chen, J.S., dan Wei, S.H., 2016. Engineering Properties and Performance of Asphalt Mixtures Incorporating Steel Slag. Elsevier - Construction and Building Materials 128: 148–53.
- Chen, Z., Gong, Z., Jiao, Y., Wang, Y., Shi, Kui., Wu, J., 2020. Moisture Stability Improvement of Asphalt Mixture Considering the Surface Characteristics of Steel Slag Coarse Aggregate. Elsevier - Construction and Building Materials 251: 118987.

- Direktorat Jenderal Bina Marga Departement Pekerjaan Umum dan perumahan Rakyat Republik Indonesia. *Spesifikasi Umum*. 2018. Divisi 6.
- Hayati, Ghina Afif. 2018. Pengaruh Penggunaan *Steel Slag* Sebagai Pengganti Agregat Tertahan Saringan 1/2” Dan 3/8” Terhadap Karakteristik *Marshall* Pada Campuran AC-WC. Tugas Akhir. Yogyakarta
- Gunawan dan Oetojo. 2011. Pemanfaatan Slag Baja Untuk Teknologi Jalan Yang Ramah Lingkungan. 1–24.
- Gowtham, C., dan Ganesh, K. 2018. Effect of Steel Slag on Marshall Properties of Plain and Modified Bituminous Concrete Grade 1 Mix. *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT) ISSN: 2278-0181 Vol. 7 Issue 07, July-2018*
- Hainin, M.R., Rusbintardjo, G., Hameed, M.A., Hassan, N.A., Yusoff, N.I.M. 2014. Utilisation of Steel Slag as an Aggregate Replacement in Porous Asphalt Mixtures. *Jurnal Teknologi (Sciences & Engineering) 69:1 (2014), 67–73. Malaysia*
- Hardiyatmo, H.C. 2011. *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*. UGM Press. Yogyakarta.
- https://www.google.com/search?q=nomogram+van+der+pool&safe=strict&sxsrf=ALeKk03_v2vaG47A0cZ1u7TyIb8ptD1hA:1611538400264&source=lnms&tbnm=isch&sa=X&ved=2ahUKEwikwY6vLXuAhVowosKHcD5A2sQAUoAXoECAUQAaw&biw=1229&bih=603#imgrc=AaeBMbv6UYdr6M.
Diakses 24 Januari 2021
- https://id.wikipedia.org/wiki/Sistem_Satuan_Internasional. Diakses 24 Januari 2021
- Kok, B.V., dan Koluglu, N. 2018. Effects of Steel Slag Usage as Aggregate on Indirect Tensile Strenght and Creep Modulus of Hot Mix Asphalt. Firat University. Turkey. G.U. *Journal of Science 21(3): 97-103 (2008)*
- Liu, W., Liu, H., Zhu, H., Xu, P. 2019. Properties of a Steel Slag-Permeable Asphalt Mixture and the Reaction of the Steel Slag-Asphalt Interface. College of Materials Science and Engineering, Xi’an University of Architecture and

Technology.

- Navarro, F.M., Sanchez, M.A., Gamesz, M.C.R., Martinez, M.Z. 2014. The use of additives for the improvement of the mechanical behavior of high modulus asphalt mixes. Construction Engineering Laboratory of the University of Granada (LabIC.UGR). Elsevier – Construction and Building Material 70 (2014) 65-70. Granada, Spain
- Noer, D.A.A, Mahasiswa Program, Studi Teknik, Universitas Islam, Staf Pengajar, Program Studi, Teknik Sipil, and Universitas Islam. n.d. “Perbandingan Penggunaan Batu Sungai Boyong Dan Batu Clereng Sebagai Pengganti Agregat Kasar Pada Campuran Ac-Bc Menggunakan Aspal Starbit e-60.”
- Oluwasola, E. A., Hainin, M. R., Aziz, M. M. A. 2016. Comparative Evaluation of Dense-Graded and Gap-Graded Asphalt Mix Incorporating Electric Arc Furnace Steel Slag and Copper Mine Tailings. *Journal of Cleaner Production*, 122, 315-325
- Putra, D.T.W. 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*. (Tidak Diterbitkan). Yogyakarta.
- Pasetto, M., Baliello, A., Giacomello, G., & Pasquini, E. 2017. Sustainable solutions for road pavements: A multi-scale characterization of warm mix asphalts containing steel slags. *Journal of Cleaner Production*, 166, 835-843.
- Pasetto, M., dan Nicola Baldo. 2012. Fatigue Behavior Characterization of Bituminous Mixtures Made with Reclaimed Asphalt Pavement and Steel Slag. *Procedia - Social and Behavioral Sciences* 53: 297–306.
- Pradana, W.N. 2018. Pengaruh Limbah Baja (*Steel Slag*) Sebagai Pengganti Agregat Kasar No. ½ dan No. 8 Pada Campuran HRS-WC Terhadap Karakteristik Marshall. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Yogyakarta. Yogyakarta

- Ren, S., Liu, X., Wang, H., Fan, W., Erkens, S. 2020. Evaluation of Rheological Behaviors and Anti-Aging Properties of Recycled Asphalts Using Low-Viscosity Asphalt and Polymers. *Journal of Cleaner Production* 253 (2020) 120048
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta.
- Wang, J., Yuan, J., Xiao, F., Li, Z., Wang, J., Xu, Z. 2018. Performance investigation and sustainability evaluation of multiplepolymer asphalt mixtures in airfield pavement. Toggji University. China
- Zhi, S., Gun, W.W., Huai, L.X., Bo, T. 2012. Evaluation of Fatigue Crack Behavior in Asphalt Concrete Pavements with Different Polymer Modifiers. Elsevier - *Construction and Building Materials* 27 (1): 117–25.





LAMPIRAN



Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Filler Clereng

PEMERIKSAAN BERAT *FILLER* CLERENG

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

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1600,04	1619,27	1609,66
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1001,14	1002,46	1001,80
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1574,46	1591,42	1582,94
5	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) = $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,629	2,580	2,605
6	Berat Jenis (<i>SSD</i>) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,672	2,625	2,648
7	Berat Jenis (<i>Semu</i>) = $\frac{BK}{BK-BA}$	2,746	2,702	2,724
8	Penyerapan Air = $\frac{BK}{BK-BA} \times 100\%$	1,625	1,750	1,687
9	Berat Cawan	128,09	257,18	
10	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ <i>Semu</i>) / 2	2,6875	2,6410	
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,6443		
12	Penyerapan Rata-rata	1,687		

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
1511154

Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	Rata-rata
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500	500,1	500
2	Berat <i>Vicnometer</i> + Air (B)	690,4	658,71	674,55
3	Berat <i>Vicnometer</i> + Air + Benda Uji (BT)	992,3	959,21	980,75
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	489	488,83	489,02
5	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,47	2,45	2,52
6	Berat Jenis (<i>SSD</i>) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,52	2,51	2,58
7	Berat Jenis (<i>Semu</i>) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,61	2,60	2,68
8	Penyerapan Air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,21	2,29	2,25
9	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ <i>Semu</i>) / 2	2,54	2,66	2,53
10	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,53		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 4 Pemeriksaan Sand Equivalent

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

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

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
			1	2
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (± 10 menit)	Mulai	12.22	12.22
		Selesai	12.32	12.32
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂)	Mulai	12.32	12.32
		Selesai	12.35	12.35
3	Clay Reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,9	3,6
4	Sand Reading (Pembacaan Pasir)		3,6	3,3
5	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ reading}{Clay\ reading} \times 100$		92,3076	91,6667
6	Rata-rata Sand Equivalent (%)		91,9871	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 5 Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (*ABRASI TEST*)

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

No.	Jenis Gradasi		Seragam (AC-BC)	
	Saringan		Benda Uji	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	25,4 mm 1 "	19 mm 3/4 "	2500	2500
2	19 mm 3/4 "	12,5 mm 1/2 "	2500	2500
3	Jumlah Benda Uji (A) (gr)		5000	5000
4	Jumlah Tertahan Di <i>Sieve</i> 12(B) (gr)		4411	4282
5	Keausan = $(A-B)/A \times 100\%$ (%)		11,78	14,36
6	Rata-rata Keausan (%)		13,07	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 6 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR *STEEL* *SLAG*

Material : Agregat Kasar
Sumber : Cikarang, Jawa Barat
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji I <i>Steel</i> <i>Slag</i>	Benda Uji II <i>Steel</i> <i>Slag</i>	Rata-Rata
1	B jenuh (SSD)	1393,19	1383,54	1396,98
2	Berat Dalam Air	1003,33	1000,89	1010,6
3	Berat Oven	1375,31	1366,98	1379,35
4	Bj Bulk	3,528	3,572	3,570
5	BJ SSD	3,574	3,616	3,616
6	Bj Semu	3,697	3,734	3,741
7	Penyerapan	1,30%	1,21%	1,28%
8	Berat Jenis Pakai	3,633		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 7 Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)

Material : Agregat Kasar
Sumber : Cikarang, Jawa Barat
Tahun Uji : 2020

No.	Jenis Gradasi		Seragam (AC-BC)	
	Saringan		Benda Uji	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	25,4 mm 1 "	19 mm 3/4 "	2500	2500
2	19 mm 3/4 "	12,5 mm 1/2 "	2500	2500
3	Jumlah Benda Uji (A) (gr)		5000	4680
4	Jumlah Tertahan Di Sieve 12(B) (gr)		4680	4321
5	Keausan = $(A-B)/A \times 100\%$ (%)		6,40%	7,67%
6	Rata-rata Keausan (%)		7,04%	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038


Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

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

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti


Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 9 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen mayer kosong (gr)	68,87	73,49
2	Berat erlen mayer kosong + aspal (gr)	69,74	74,76
3	Berat aspal (gr)	0,87	1,27
4	berat kertas saring bersih (gr)	0,61	0,62
5	berar kertas saring bersih + mineral (gr)	0,62	0,63
6	Berat Mineral (gr)	0,01	0,01
7	Prosentase Mineral (%)	1,15	0,79
8	Aspal yang larut (%)	98,85	99,21
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,03	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 10 Pemeriksaan Daktilitas

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu 25°C	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji Daktilitas Pada Suhu 25°C , Kecepatan 5 Cm Per Menit	20 Menit	Suhu Alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PEMERIKSAAN

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.
19914038

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha

Lampiran 11 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	332 °C	345 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 12 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

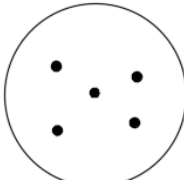
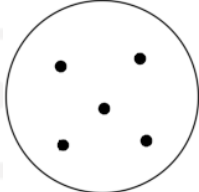
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	62		
2	62	63		
3	64	62		
4	61	62		
5	62	63		
Rata2	62,2	62,4		
Rerata	62,3			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 13 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5 °C	333,15	333,15		
2	10 °C	292,51	292,51		
3	15 °C	182,13	182,13		
4	20 °C	170,41	170,41		
5	25 °C	113,90	113,90		
6	30 °C	148,57	148,57		
7	35 °C	146,27	146,27		
8	40 °C	149,45	149,45		
9	45 °C	134,26	134,26		
10	50 °C	125,65	125,65	48	48

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 14 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

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

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 15 Pemeriksaan Kelekatatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	20.57	20.68
2	Berat vicnometer + aquades (gr)	43.53	43.65
3	Berat aquadest (gr)	22.96	22.97
4	Berat vicnometer + aspal (gr)	20.96	21.57
5	Berat aspal (gr)	0.39	0.89
6	Berat vicnometer + aspal + aquadest (gr)	43.55	43.71
7	Berat aquadest (gr)	22.59	22.14
8	Volume aspal (gr)	0.37	0.83
9	Berat jenis aspal	1.054	1.072
10	Rata-rata BJ Aspal	1.063	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 16 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat erlen mayer kosong (gr)	68,87	73,49
2	Berat erlen mayer kosong + aspal (gr)	69,74	74,76
3	Berat aspal (gr)	0,87	1,27
4	berat kertas saring bersih (gr)	0,61	0,62
5	berar kertas saring bersih + mineral (gr)	0,62	0,63
6	Berat Mineral (gr)	0,01	0,01
7	Prosentase Mineral (%)	1,15	0,79
8	Aspal yang larut (%)	98,85	99,21
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,03	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 17 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu 25°C	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji Daktilitas Pada Suhu 25°C , Kecepatan 5 Cm Per Menit	20 Menit	Suhu Alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PEMERIKSAAN

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 18 Pemeriksaan Daktilitas

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanasan $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 26^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath Pada Suhu 25°C	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Diuji Daktilitas Pada Suhu 25°C , Kecepatan 5 Cm Per Menit	20 Menit	Suhu Alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PEMERIKSAAN

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 19 Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & BAKAR ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	290 °C	324 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 20 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

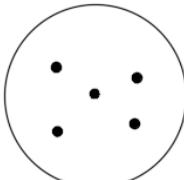
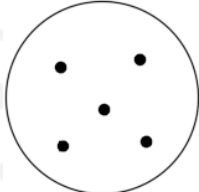
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

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

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 21 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5 °C	333,15	333,15		
2	10 °C	292,51	292,51		
3	15 °C	182,13	182,13		
4	20 °C	170,41	170,41		
5	25 °C	113,90	113,90		
6	30 °C	148,57	148,57		
7	35 °C	146,27	146,27		
8	40 °C	149,45	149,45		
9	45 °C	134,26	134,26		
10	50 °C	125,65	125,65		
11	55 °C	119,66	119,66	55	54

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 22 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60 dan Agregat ukuran (3/8") Clereng
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	99%	memenuhi
2	Benda Uji 2	99%	memenuhi
3	Rata-Rata	99%	memenuhi

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038

Lampiran 23 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Starbit E-60 dan Agregat ukuran (3/8") Zeolite
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2020

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PEMERIKSAAN

No.	Benda Uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	96%	memenuhi
2	Benda Uji 2	96%	memenuhi
3	Rata-Rata	96%	memenuhi

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti



Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 24 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi Steel Slag 0%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD								
1	65,80	5	2,40	1178,68	660,75	1186,30	525,55	2,24	6,65	15,45	62,05	1.144,2	3,20	357,57
	64,92	5	2,40	1178,64	660,78	1186,31	525,53	2,24	6,65	15,45	62,05	1.255,2	3,10	404,91
	69,23	5	2,40	1179,45	660,18	1186,37	526,19	2,24	6,71	15,50	61,85	1.097,5	2,90	378,45
2	65,59	5,5	2,39	1182,50	664,75	1186,26	521,51	2,27	4,96	14,97	70,90	1.168,3	3,29	355,11
	63,63	5,5	2,39	1184,65	666,85	1190,34	523,49	2,26	5,15	15,14	70,09	1.286,6	3,28	392,24
	67,31	5,5	2,39	1181,15	667,97	1189,23	521,26	2,27	5,03	15,03	70,63	1.291,9	3,25	397,49
3	66,07	6	2,37	1178,08	665,39	1184,78	519,39	2,27	4,27	15,39	75,55	1.371,4	3,00	457,15
	63,67	6	2,37	1175,98	664,59	1182,48	517,89	2,27	4,17	15,30	76,03	1.503,6	3,50	429,60
	66,81	6	2,37	1173,25	663,29	1179,36	516,07	2,27	4,05	15,20	76,56	1.346,3	3,70	363,88
4	63,94	6,5	2,35	1174,85	664,98	1179,79	514,81	2,28	3,02	15,33	82,65	1.277,9	3,50	365,10
	63,15	6,5	2,35	1176,09	665,50	1181,55	516,05	2,28	3,15	15,44	82,01	1.283,5	3,90	329,11
	64,10	6,5	2,35	1177,66	664,36	1182,66	518,30	2,27	3,44	15,70	80,62	1.217,2	3,30	368,85
5	63,86	7	2,34	1177,95	664,78	1182,39	517,61	2,28	2,63	16,01	85,47	1.121,9	3,90	287,67
	63,70	7	2,34	1179,54	665,97	1183,79	517,82	2,28	2,54	15,93	85,92	1.151,8	4,20	274,23
	65,52	7	2,34	1175,03	659,21	1179,89	520,68	2,26	3,44	16,72	81,66	1.070,0	4,00	267,50

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 Pengujian *Marshall* dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi *Steel Slag* 0%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020

Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha

Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
1	65,20	5	2,40	1165,79	675,23	1178,32	503,09	2,32	2,24	6,65	15,45	62,05	1.144,2	3,20	357,57
	65,97	5	2,40	1195,96	677,91	1215,55	537,64	2,22	2,24	6,65	15,45	62,05	1.255,2	3,10	404,91
	64,03	5	2,40	1168,42	661,91	1184,95	523,04	2,23	2,24	6,71	15,50	61,85	1.097,5	2,90	378,45
2	64,33	5,5	2,39	1181,76	653,37	1195,98	542,61	2,18	2,27	4,96	14,97	70,90	1.168,3	3,29	355,11
	65,10	5,5	2,39	1160,86	665,32	1169,41	504,09	2,30	2,26	5,15	15,14	70,09	1.286,6	3,28	392,24
	65,87	5,5	2,39	1173,71	652,21	1176,53	524,32	2,24	2,27	5,03	15,03	70,63	1.291,9	3,25	397,49
3	65,23	6	2,37	1147,46	659,50	1164,13	504,63	2,27	2,27	4,27	15,39	75,55	1.371,4	3,00	457,15
	65,37	6	2,37	1165,72	669,39	1183,71	514,32	2,27	2,27	4,17	15,30	76,03	1.503,6	3,50	429,60
	64,33	6	2,37	1175,16	670,74	1186,59	515,85	2,28	2,27	4,05	15,20	76,56	1.346,3	3,70	363,88
4	64,80	6,5	2,35	1153,09	659,36	1164,48	505,12	2,28	2,28	3,02	15,33	82,65	1.277,9	3,50	365,10
	63,53	6,5	2,35	1158,93	661,56	1168,58	507,02	2,29	2,28	3,15	15,44	82,01	1.283,5	3,90	329,11
	64,77	6,5	2,35	1167,34	668,04	1180,84	512,80	2,28	2,27	3,44	15,70	80,62	1.217,2	3,30	368,85
5	67,43	7	2,34	1150,25	659,84	1165,71	505,87	2,27	2,28	2,63	16,01	85,47	1.121,9	3,90	287,67
	65,87	7	2,34	1125,94	640,33	1132,88	492,55	2,29	2,28	2,54	15,93	85,92	1.151,8	4,20	274,23
	64,33	7	2,34	1171,22	667,87	1182,37	514,50	2,28	2,26	3,44	16,72	81,66	1.070,0	4,00	267,50

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 Pengujian *Marshall* dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi *Steel Slag* 25%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
1	65,21	5	2,46	1170,70	655,62	1176,81	521,19	2,25	2,25	8,72	17,58	55,54	1133,70	3,20	354,28
	66,11	5	2,46	1171,74	656,45	1175,68	519,23	2,26	2,26	8,29	17,19	56,89	1090,83	3,10	351,88
	64,77	5	2,46	1173,56	657,10	1178,18	521,08	2,25	2,25	8,48	17,36	56,30	1187,27	2,90	409,40
2	66,69	5,5	2,44	1168,23	668,02	1173,82	505,80	2,31	2,31	5,45	15,70	69,31	1142,96	3,30	346,35
	67,72	5,5	2,44	1169,12	667,10	1174,90	507,80	2,30	2,30	5,76	15,96	68,09	1105,67	3,30	335,05
	69,25	5,5	2,44	1177,36	668,89	1185,21	516,32	2,28	2,28	6,66	16,77	64,63	1123,08	3,25	345,56
3	62,37	6	2,43	1169,96	671,25	1175,82	504,57	2,32	2,32	4,40	15,81	75,43	1598,48	3,40	470,14
	64,17	6	2,43	1189,31	681,83	1193,34	511,51	2,33	2,33	4,13	15,58	76,60	1601,31	3,10	516,55
	63,57	6	2,43	1192,64	677,25	1212,27	535,02	2,23	2,23	8,09	19,07	61,59	1434,48	5,10	281,27
4	64,67	6,5	2,41	1190,22	684,63	1196,55	511,92	2,33	2,33	3,45	16,03	80,96	1476,39	3,40	434,23
	63,30	6,5	2,41	1202,14	692,32	1208,59	516,27	2,33	2,33	3,30	15,91	81,64	1588,85	3,60	441,35
	65,13	6,5	2,41	1185,97	677,04	1196,53	519,49	2,28	2,28	5,19	17,55	73,48	1420,27	2,50	568,11
5	63,57	7	2,39	1181,55	681,94	1189,50	507,56	2,33	2,33	2,64	16,38	85,70	1318,75	4,20	313,99
	63,13	7	2,39	1188,57	684,92	1193,28	508,36	2,34	2,34	2,21	16,01	87,77	1243,55	3,50	355,30
	62,20	7	2,39	1172,91	673,25	1184,53	511,28	2,29	2,29	4,05	17,59	79,36	1315,05	4,30	305,83

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 Pengujian *Marshall* dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi *Steel Slag* 25%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
1	64,37	5,00	2,47	1196,38	680,25	1206,36	526,11	2,27	2,27	7,90	16,56	57,56	1810,42	3,50	517,26
	64,63	5,00	2,47	1188,20	676,75	1199,27	522,52	2,27	2,27	7,90	16,56	57,56	1671,26	2,90	576,30
	63,43	5,00	2,47	1191,40	676,02	1204,27	528,25	2,26	2,26	8,66	17,24	55,12	1672,90	3,10	539,65
2	63,53	5,5	2,45	1188,87	672,27	1199,44	527,17	2,26	2,26	8,02	17,68	59,30	1713,68	2,70	634,70
	62,77	5,5	2,45	1189,14	683,70	1198,81	515,11	2,31	2,31	5,85	15,74	67,17	1902,03	3,30	576,37
	65,35	5,5	2,45	1177,75	672,38	1182,34	509,96	2,31	2,31	5,81	15,70	67,33	1923,39	3,20	601,06
3	61,87	6,00	2,44	1115,38	643,32	1121,53	478,21	2,33	2,33	4,22	15,32	75,78	1756,58	3,20	548,93
	60,80	6,00	2,44	1112,39	625,20	1117,81	492,61	2,26	2,26	7,27	18,01	63,74	1722,57	3,40	506,64
	60,73	6,00	2,44	1116,77	638,62	1123,65	485,03	2,30	2,30	5,45	16,40	70,51	1619,52	3,50	462,72
4	63,67	6,5	2,42	1181,71	678,25	1193,41	515,16	2,29	2,29	5,15	17,16	73,18	1529,92	4,00	382,48
	62,57	6,5	2,42	1177,70	676,32	1187,16	510,84	2,31	2,31	4,67	16,74	75,14	1476,60	3,80	388,58
	63,03	6,5	2,42	1181,36	681,20	1189,58	508,38	2,32	2,32	3,91	16,08	78,44	1892,56	3,90	485,27
5	66,10	7,00	2,40	1250,20	720,32	1258,21	537,89	2,32	2,32	3,24	16,51	82,58	1724,87	4,80	359,35
	65,83	7,00	2,40	1257,29	725,32	1264,29	538,97	2,33	2,33	2,88	16,20	84,23	1744,60	4,40	396,50
	65,47	7,00	2,40	1241,02	710,93	1253,65	542,72	2,29	2,29	4,80	17,86	75,86	1807,03	4,50	401,56

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Lampiran 28 Pengujian *Marshall* dalam Mencari KAO Aspal Pen 60/70 Persen Substitusi *Steel Slag* 50%

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020

Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha

Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
1	64,00	5	2,53	1215,13	698,68	1220,65	521,97	2,33	2,33	7,80	17,05	58,43	1695,81	2,60	652,24
	63,70	5	2,53	1215,12	693,45	1221,67	528,22	2,30	2,30	8,90	18,03	54,93	1785,38	2,70	661,25
	62,77	5	2,53	1212,72	695,86	1221,71	525,85	2,31	2,31	8,67	17,82	55,64	1857,45	1,50	1238,30
2	63,53	5,5	2,51	1210,78	701,78	1218,76	516,98	2,34	2,34	6,54	16,98	64,99	1933,38	2,60	743,61
	63,63	5,5	2,51	1204,15	689,73	1215,88	526,15	2,29	2,29	8,67	18,88	57,77	1988,19	3,10	641,35
	63,43	5,5	2,51	1213,10	701,86	1219,62	517,76	2,34	2,34	6,50	16,95	65,13	1863,67	2,70	690,25
3	63,37	6	2,49	1227,11	717,20	1232,17	514,97	2,38	2,38	4,19	15,98	76,28	1856,68	2,90	640,24
	63,83	6	2,49	1209,13	699,84	1211,52	511,68	2,36	2,36	4,99	16,68	72,82	1937,86	3,20	605,58
	63,27	6	2,49	1211,34	695,52	1219,87	524,35	2,31	2,31	7,11	18,55	64,75	1898,99	3,70	513,24
4	62,43	6,5	2,47	1209,58	700,30	1213,11	512,81	2,36	2,36	4,45	17,28	76,46	1696,80	3,20	530,25
	62,80	6,5	2,47	1213,06	702,32	1213,97	511,65	2,37	2,37	3,96	16,85	78,59	1767,20	3,20	552,25
	62,53	6,5	2,47	1217,27	702,32	1224,40	522,08	2,33	2,33	5,55	18,23	72,02	1746,16	3,70	471,93
5	69,25	7	2,45	1178,00	674,40	1183,16	508,76	2,32	2,32	5,50	19,23	73,52	1331,89	4,40	302,70
	65,59	7	2,45	1173,90	677,65	1176,50	498,85	2,35	2,35	3,96	17,91	79,67	1483,18	4,20	353,14
	66,08	7	2,45	1177,25	680,36	1179,80	499,44	2,36	2,36	3,80	17,77	80,36	1420,09	3,80	373,71

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 29 Pengujian *Marshall* dalam Mencari KAO Aspal Starbit E60 Persen Substitusi *Steel Slag* 50%

PENGUJIAN *MARSHALL* DALAM MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2020

Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha

Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

No	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
1	64,37	5,00	2,53	1211,34	691,53	1215,02	523,49	2,31	2,31	8,36	17,54	57,31	1578,69	3,20	493,34
	64,43	5,00	2,53	1207,48	692,90	1215,60	522,70	2,31	2,31	8,51	17,68	56,82	1533,71	3,10	494,74
	65,47	5,00	2,53	1219,30	695,04	1220,58	525,54	2,32	2,32	8,12	17,33	58,10	1594,45	3,30	483,17
2	63,57	5,5	2,51	1203,83	695,59	1209,25	513,66	2,34	2,34	6,48	16,93	65,88	1683,32	3,50	480,95
	62,50	5,5	2,51	1209,13	699,06	1215,57	516,51	2,34	2,34	6,58	17,02	65,48	1792,04	3,60	497,79
	63,93	5,5	2,51	1216,73	703,92	1222,79	518,87	2,34	2,34	6,42	16,88	66,08	1715,22	3,70	463,57
3	62,00	6,00	2,49	1202,76	698,24	1208,74	510,50	2,36	2,36	5,27	16,93	72,24	1904,55	3,40	560,16
	62,37	6,00	2,49	1208,36	706,10	1214,12	508,02	2,38	2,38	4,36	16,13	76,03	1796,38	4,20	427,71
	62,73	6,00	2,49	1208,64	702,72	1213,59	510,87	2,37	2,37	4,87	16,58	73,85	1799,14	3,60	499,76
4	62,17	6,5	2,47	1210,46	703,13	1216,47	513,34	2,36	2,36	4,48	17,30	76,85	1559,61	3,80	410,42
	62,44	6,5	2,47	1215,13	705,24	1221,31	516,07	2,35	2,35	4,62	17,42	76,28	1719,18	3,80	452,42
	63,03	6,5	2,47	1199,88	703,29	1207,33	504,04	2,38	2,38	3,57	16,51	80,80	1611,63	3,50	460,47
5	69,25	7,00	2,45	1168,87	653,90	1174,90	521,00	2,24	2,24	8,44	21,74	64,35	1349,56	3,70	424,14
	65,59	7,00	2,45	1181,40	685,67	1186,20	500,53	2,36	2,36	3,67	17,66	81,36	1300,65	4,40	364,75
	66,08	7,00	2,45	1174,92	683,10	1179,83	496,73	2,37	2,37	3,47	17,49	82,24	1357,26	3,20	295,60

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 30 Pengujian *Marshall* pada KAO Aspal Pen 60/70 dengan Persen Substitusi *Steel Slag* 0%, 25% dan 50%

PENGUJIAN MARSHALL PADA KAO ASPAL PEN 60/70 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI *Steel Slag* 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Substitusi <i>Steel Slag</i> (%)	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	<i>Density</i>	Bj Bulk Campuran	<i>VITM</i>	<i>VMA</i>	<i>VFWA</i>	Stabilitas	<i>Flow</i>	<i>MQ</i>
				Kering	Air	SSD									
0	62,43	6,1	2,37	1169,34	663,32	1176,45	513,13	2,28	2,28	3,67	19,74	78,76	1385,35	3,30	419,80
	63,33	6,1	2,37	1168,43	666,54	1176,43	509,89	2,29	2,29	3,13	19,29	81,37	1321,55	3,10	426,31
	64,77	6,1	2,37	1171,32	664,32	1176,34	512,02	2,29	2,29	3,30	19,43	80,56	1254,18	3,20	391,93
25	63,57	6,2	2,42	1172,65	678,10	1182,00	503,90	2,33	2,33	3,74	18,12	79,05	1332,02	3,20	416,26
	63,37	6,2	2,42	1171,32	681,98	1184,32	502,34	2,33	2,33	3,55	17,96	79,92	1410,54	3,10	455,01
	65,30	6,2	2,42	1168,34	677,54	1178,54	501,00	2,33	2,33	3,54	17,95	79,98	1316,55	3,50	376,16
50	66,00	6,35	2,47	1184,45	692,43	1190,43	498,00	2,38	2,38	3,74	16,45	79,81	1464,24	3,60	406,73
	63,57	6,35	2,47	1182,13	692,43	1194,32	501,89	2,36	2,36	4,67	17,26	75,81	1537,53	3,50	439,29
	63,53	6,35	2,47	1184,83	691,43	1191,32	499,89	2,37	2,37	4,07	16,74	78,34	1503,89	3,30	455,72

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



Lampiran 31 Pengujian Marshall pada KAO Aspal Starbit E60 dengan Persen Substitusi Steel Slag 0%, 25% dan 50%

PENGUJIAN MARSHALL PADA KAO ASPAL STARBIT E60 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI Steel Slag 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Substitusi Steel Slag (%)	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	BJ Maks. Campuran	Berat			Isi	Density	Bj Bulk Campuran	VITM	VMA	VFWA	Stabilitas	Flow	MQ
				Kering	Air	SSD									
0	63,00	6,15	2,38	1172,34	660,34	1181,34	521,00	2,25	2,250	5,31	20,79	71,07	1.394,0	3,20	435,62
	63,03	6,15	2,38	1171,43	663,62	1176,32	512,70	2,28	2,285	3,85	19,57	77,47	1.376,4	2,90	474,61
	63,57	6,15	2,38	1173,32	661,32	1175,45	514,13	2,28	2,282	3,97	19,66	76,94	1.288,1	3,50	368,03
25	63,43	6,25	2,43	1174,65	677,10	1181,58	504,48	2,33	2,328	4,14	18,12	76,80	1.394,1	3,50	398,31
	63,27	6,25	2,43	1176,32	679,32	1184,24	504,92	2,33	2,330	4,09	18,08	77,04	1.501,5	3,20	469,23
	63,20	6,25	2,43	1172,34	673,32	1177,43	504,11	2,33	2,326	4,26	18,22	76,28	1.473,9	3,60	409,43
50	62,73	6,4	2,48	1182,45	691,60	1189,38	497,78	2,38	2,375	4,33	16,60	76,79	1.659,7	3,50	474,19
	62,97	6,4	2,48	1187,13	691,25	1194,32	503,07	2,36	2,360	4,96	17,15	74,15	1.620,2	3,70	437,88
	64,10	6,4	2,48	1183,83	692,32	1190,32	498,00	2,38	2,377	4,26	16,54	77,09	1.622,8	4,10	395,81

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 32 Pengujian Cantabro pada Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%

PENGUJIAN CANTABRO PADA ASPAL PEN 60/70 DAN STARBIT E60 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI ZEOLITE 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020

Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha

Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Aspal Pen 60/70					Aspal Starbit E60				
Sampel	Kode	Berat sebelum uji (gram)	Berat sesudah uji (gram)	Cantabro Loss (%)	Sampel	Kode	Berat sebelum uji (gram)	Berat sesudah uji (gram)	Cantabro Loss (%)
Substitusi 0% Aspal Pen 60/70	1	1177,58	1139,05	3,27	Variasi 0% Aspal Starbit E60	1	1187,02	1152,02	2,95
	2	1158,67	1124,32	2,96		2	1181,05	1148,77	2,73
	3	1167,42	1122,31	3,86		3	1185,32	1150,43	2,94
Rata - rata				3,37	Rata - rata				2,88
Substitusi 25% Aspal Pen 60/70	1	1204,73	1178,45	2,181	Variasi 25% Aspal Starbit E60	1	1185,6	1162,19	1,97
	2	1199,33	1171,43	2,326		2	1183,84	1158,95	2,10
	3	1216,96	1191,45	2,096		3	1179,43	1153,32	2,21
Rata - rata				2,20	Rata - rata				2,10
Substitusi 50% Aspal Pen 60/70	1	1209,83	1181,21	2,37	Variasi 50% Aspal Starbit E60	1	1183,23	1161,7	1,82
	2	1215,11	1187,63	2,26		2	1182,94	1161,19	1,84
	3	1219,15	1189,32	2,45		3	1210,96	1191,32	1,62
Rata - rata				2,36	Rata - rata				1,76

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 33 Pengujian ITS pada Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%
PENGUJIAN ITS PADA ASPAL PEN 60/70 DAN STARBIT E60 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI ZEOLITE 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Variasi 0% Aspal pen 60/70										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm²)	
1	63	63,4	63,9	63,43	1	38	757	0,159	18,91	
2	65,9	65,8	65,9	65,87	1	40	748	0,159	18,01	
3	64,8	65,3	64,7	64,93	0,96	36	690	0,159	16,85	
Rata - rata									17,93	
Variasi 25% Aspal pen 60/70										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm²)	
1	65,8	66,5	66,6	66,30	0,94	35	654	0,16	15,64	
2	63	63,3	62	62,77	1	36	729	0,16	18,41	
3	63,5	63,7	63,5	63,57	1	38	754	0,16	18,81	
Rata - rata									17,62	
Variasi 50% Aspal pen 60/70										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm²)	
1	70,3	69,4	70,2	69,97	0,86	42	717	0,16	16,25	
2	64,8	66,4	66,8	66,00	0,94	45	839	0,16	20,15	
3	64,3	64,8	64	64,37	0,98	41	798	0,16	19,64	
Rata - rata									18,68	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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

Pengujian ITS pada Aspal Pen 60/70 dan Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%

PENGUJIAN ITS PADA ASPAL PEN 60/70 DAN STARBIT E60 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI ZEOLITE 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Variasi 0% Aspal Starbit E60										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm ²)	
1	65	64,3	63,1	64,13	1	45	881	0,159	21,77	
2	63,8	64,5	63,9	64,07	1	30	588	0,159	14,55	
3	62,6	63,6	63,9	63,37	1,00	42	838	0,159	20,96	
Rata - rata									19,09	
Variasi 25% Aspal Starbit E60										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm ²)	
1	63,1	64	63,6	63,57	1,00	48	953	0,16	23,76	
2	64,6	65,2	65	64,93	1	45	863	0,16	21,06	
3	63,9	62,6	62,2	62,90	1	48	969	0,16	24,42	
Rata - rata									23,08	
Variasi 50% Aspal Starbit E60										
Sampel	Tebal			Rerata	Angka Koreksi	Meas	Stabilitas	A0	ITS (kg/cm ²)	
1	62,6	63,6	63,9	63,37	1,00	51	1.018	0,16	25,45	
2	69,4	68,3	69,4	69,03	0,88	60	1.045	0,16	24,01	
3	64,2	64,9	65,1	64,73	0,97	55	1.060	0,16	25,96	
Rata - rata									25,14	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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 34 Pengujian Immersion pada KAO Aspal Starbit E60 dengan Persen Substitusi Zeolite 0%, 25% dan 50%

HASIL IRS PADA KAO ASPAL Starbit E60 DENGAN PERSEN SUBSTITUSI STEEL SLAG 0%, 25% dan 50%

Tahun Pengujian : 2020
Tipe Campuran : *Asphalt Concrete – Binder Course (AC-WC)*

Dikerjakan Oleh : Adyatma Arif Nugraha
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Index of Retained Strength Aspal Starbit E60						
Variasi Steel Slag (%)	Aspal Starbit E60			Aspal Pen 60/70		
	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	Nilai IRS	Stabilitas 0,5 Jam	Stabilitas 24 Jam	Nilai IRS
0	1332,24	1242,43	93,26	1320,36	1215,20	92,04
25	1456,52	1367,59	93,89	1363,54	1272,21	93,30
50	1634,22	1572,04	96,20	1520,71	1439,59	94,67

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Peneliti

Adyatma Arif Nugraha
19914038



**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

**SELAMAT DI, WES MT AE KONCO NGELAB KU IKI, MUGO MUGO
LANCAR LE MU MBOJO, DADI KELUARGA SAKINAH MAWADAH
WAROHMAH, OJO LALI KARO KONCO MU IKI SENG MBIYEN
SERING TAK REPOTI, TAK JAK MANGAN BU BIBIT, MUGO MUGO
SUKSES DUNIA AKHIRAT KITA, ISO KETEMU MANEH NANG
YOGJO BEN ISO NGOPI KARO NGGUYU MANEH**