

TUGAS AKHIR

**PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK BAN KARET
SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
*(THE EFFECT OF USING CRUMB RUBBER AS
SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE IN
CHARACTERISTICS OF MIXTURE ASPHALT
CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC))***

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



Iqba Budi Aditama

15 511 107

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2020**

TUGAS AKHIR
PENGARUH PENGGUNAAN SERBUK BAN KARET
SEBAGAI PENGGANTI AGREGAT HALUS
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN
ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC)
(THE EFFECT OF USING CRUMB RUBBER AS
SUBSTITUTION OF FINE AGGREGATE IN
CHARACTERISTICS OF MIXTURE ASPHALT
CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC))

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



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

Diuji pada tanggal 1 Oktober 2020

Oleh Dewan Penguji

Pembimbing

Ir. Subarkah, M.T.
NIK: 865110101

Rizki Budi Utomo, S.T., M.T.
NIK: 045110406

Penguji II

Berlian Kushari, S.T., M.Eng.
NIK: 015110101

Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil

Dr. Amihni Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

TUGAS AKHIR

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Iqba Budi Aditama
NIM : 15511107
Program Studi : Teknik Sipil
Judul Tugas Akhir : Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*

Dengan penuh kesadaran saya telah memahami sebaik-baiknya dan menyatakan bahwa Tugas Akhir yang saya susun bebas dari segala bentuk plagiat. Apabila pada kemudian hari terbukti adanya indikasi plagiat dalam Tugas Akhir yang saya susun ini maka saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan dan hukum yang berlaku.

Yogyakarta, 1 Oktober 2020
Yang membuat pernyataan,



Iqba Budi Aditama
(15 511 107)

DEDIKASI



Segala puji bagi Allah SWT Tuhan semesta alam yang senantiasa memberikan nikmat dan rahmat yang tiada mampu penulis menghitungnya.

Sholawat serta salam semoga selalu tercurah kepada Nabi agung Nabi besar Muhammad SAW serta seluruh keluarganya dan para sahabatnya.

Bapak Agus Supartana, Ibu Siti Asih Budiarti, dan Kakak Ahmad Ardhy Nurrahman serta seluruh keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan tanpa kenal lelah kepada penulis.

Bapak Ir. Subarkah M.T. sebagai dosen pembimbing yang telah membimbing penulis sehingga dapat menyelesaikan penelitian ini.

Bapak Sukanto dan Bapak Pranoto sebagai laboran di Laboratorium Jalan Raya UII yang telah membantu menyelesaikan penelitian ini.

Bapak dan Ibu dosen Teknik Sipil UII yang telah memberikan ilmu yang tak ternilai harganya serta membimbing penulis hingga mampu menyelesaikan tugas akhir ini.

Seluruh keluarga besar “Teknik Sipil 15” yang telah membantu, mengingatkan serta menjadi teman diskusi, terutama untuk teman-teman Laboratorium Jalan Raya.

Teman – teman “amerex” dan “Nuansa Studio 24” yang menjadi teman belajar baik akademik maupun non akademik dari semester 1, semoga diberikan kesuksesan masing-masing.

KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT Tuhan semesta alam, yang mana dengan segala rahmat dan hidayah-Nya lah penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC)*. Tugas Akhir ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tugas Akhir ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat saran, kritik, serta dorongan semangat dari berbagai pihak alhamdulillah Tugas Akhir ini dapat diselesaikan. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih yang sedalam-dalamnya kepada:

1. Bapak Ir Subarkah, M.T. selaku dosen pembimbing Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak ilmu, pengarahan, dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Bapak Rizki Budi Utomo, S.T., M.T. dan Berlian Kushari, S.T., M.T. selaku dosen penguji Tugas Akhir, yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik dikemudian hari.
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T, selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Dan seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tugas Akhir ini.

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

Yogyakarta, 1 Oktober 2020

Penulis



Iqba Budi Aditama
(15 511 107)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iii
DEDIKASI	iv
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xv
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	6
2.1 Lapisan Aspal Beton (<i>AC-WC</i>)	6
2.2 Serbuk Ban Bekas	6
2.3 Posisi Penelitian	8
2.4 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Penulis	12
BAB III LANDASAN TEORI	13
3.1 Perkerasan Lentur	13
3.2 Beton Aspal	13
3.3 Lapis Aspal Beton	14
3.4 Lapisan Laston <i>Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)</i>	15
3.5 Bahan Penyusun Campuran Perkerasan <i>Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)</i>	16
3.5.1 Agregat	16
3.5.2 Bahan Ikat Aspal	18

3.5.3	Serbuk Ban Karet	19
3.6	Karakteristik Pengujian <i>Marshall</i>	20
3.6.1	Stabilitas	20
3.6.2	Kelelehan (<i>Flow</i>)	21
3.6.3	<i>Marshall Quotinet (MQ)</i>	21
3.6.4	<i>Void in Total Mix (VITM)</i>	21
3.6.5	<i>Void in Mineral Agregat (VMA)</i>	22
3.6.6	<i>Void Filled with Aspalt (VFWA)</i>	22
3.6.7	Kepadatan (<i>Density</i>)	23
3.7	Pengujian <i>Immersion Test</i>	24
3.8	Pengujian <i>Cantabro</i>	24
3.9	<i>Indirect Tensile Strength Test (ITS)</i>	25
BAB IV METODE PENELITIAN		27
4.1	Metode Penelitian	27
4.2	Metode Pengambilan Data	27
4.3	Tahapan Penelitian	27
4.3.1	Pengujian Material	28
4.3.2	Persiapan Alat	30
4.3.3	Persiapan Bahan	31
4.3.4	Perencanaan Campuran	32
4.3.5	Perencanaan Jumlah Benda Uji	36
4.3.6	Perencanaan Gradasi dengan Proporsi Serbuk Ban Karet sebagai Pengganti Agregat Halus pada Saringan no.16	38
4.3.7	Pengujian <i>Marshall</i>	48
4.3.8	Pengujian <i>Cantabro</i>	49
4.3.9	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	50
4.3.10	Pengujian <i>Immersion Test</i>	50
4.4	Analisis Data	51
4.5	Bagan Alir Penelitian	53
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN		55
5.1	Karakteristik Material	55
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	55
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	56

5.1.3	Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i>	58
5.1.4	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	58
5.1.5	Hasil Pengujian Berat Jenis Serbuk Ban Karet	61
5.2	Hasil Pengujian Campuran <i>AC-WC</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	61
5.2.1	Pembahasan Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	61
5.2.2	Data Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	69
5.2.3	Hasil Kadar Aspal Optimum Tiap Proporsi Serbuk Ban Karet pada Campuran <i>AC-WC</i>	78
5.2.4	Kebutuhan Agregat Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	79
5.3	Hasil Pengujian Campuran <i>AC-WC</i> pada Kadar Aspal Optimum	82
5.3.1	Hasil Pengujian dan Pembahasan <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	82
5.3.2	Hasil Pengujian dan Pembahasan <i>Immersion Test</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	89
5.3.3	Hasil Pengujian dan Pembahasan <i>Cantabro</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	91
5.3.4	Hasil Pengujian dan Pembahasan <i>Indirect Tensile Strength</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	93
5.3.5	Persentase Substitusi Maksimum Serbuk Ban Karet terhadap Agregat Halus pada Campuran <i>AC-WC</i>	95
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		98
6.1	Kesimpulan	98
6.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		100
LAMPIRAN		101

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Uji Kuat Tarik Tidak Langsung	25
Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Agregat Campuran <i>Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)</i>	33
Gambar 4.2 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 0%	40
Gambar 4.3 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 25	42
Gambar 4.4 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 50	44
Gambar 4.5 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 75	46
Gambar 4.6 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 100	48
Gambar 4.7 Bagan Alir Penelitian	53
Gambar 5.1 Grafik Hubungan Antara Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	62
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara <i>Flow</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	63
Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara <i>VITM</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	64
Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara <i>VFWA</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	65
Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara <i>VMA</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	66
Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara <i>MQ</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	67
Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara <i>Density</i> dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%	68
Gambar 5.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0% pada Campuran <i>AC-WC</i>	70
Gambar 5.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 25% pada Campuran <i>AC-WC</i>	72

Gambar 5.10 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 50% pada Campuran AC-WC	74
Gambar 5.11 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 75% pada Campuran AC-WC	76
Gambar 5.12 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 100% pada Campuran AC-WC	78
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	83
Gambar 5.14 Grafik Hubungan <i>Flow</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	84
Gambar 5.15 Grafik Hubungan <i>Marshall Quotient</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	85
Gambar 5.16 Grafik Hubungan <i>VITM</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	86
Gambar 5.17 Grafik Hubungan <i>VFWA</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	87
Gambar 5.18 Grafik Hubungan <i>VMA</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	88
Gambar 5.19 Grafik Hubungan <i>Density</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	89
Gambar 5.20 Grafik Hubungan <i>Immersion</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	91
Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kehilangan Berat dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	93
Gambar 5.22 Grafik Hubungan <i>Indirect Tensile Strength</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	95
Gambar 5.23 Grafik Persentase Substitusi Maksimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Campuran AC-WC	96

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian – Penelitian Sebelumnya	9
Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston (AC)	15
Tabel 3.2 Spesifikasi Campuran AC-WC	16
Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar	17
Tabel 3.4 Spesifikasi Agregat Halus	18
Tabel 3.5 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras AC 60/70	19
Tabel 4.1 Batas Gradasi Agregat Campuran AC-WC	32
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%	34
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%	35
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%	35
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%	36
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%	36
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Kadar Aspal Optimum	37
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian	37
Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 0%	39
Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 25%	41
Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 50%	43
Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 75%	45
Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 100%	47
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	55
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	57
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Filler</i>	58
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	59
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 0%	69
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 25%	71

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 50%	73
Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 75%	75
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 100%	77
Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum	78
Tabel 5.11 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 0%	79
Tabel 5.12 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 25%	80
Tabel 5.13 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 50%	80
Tabel 5.14 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 75%	81
Tabel 5.15 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 100%	81
Tabel 5.16 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet	82
Tabel 5.17 Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i> pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet	90
Tabel 5.18 Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet	92
Tabel 5.19 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet	94

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	101
Lampiran 2 Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>CCL4/TCE</i>	102
Lampiran 3 Pemeriksaan Daktilitas	103
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	104
Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal	105
Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	106
Lampiran 7 Pemeriksaan Kelekatan Aspal oleh Agregat	107
Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis <i>Filler</i> Clereng	108
Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	109
Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	110
Lampiran 11 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	111
Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis Serbuk Ban Karet	112
Lampiran 13 Pemeriksaan Keausan Agregat	113
Lampiran 14 Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0%	114
Lampiran 15 Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 25%	115
Lampiran 16 Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 50%	116
Lampiran 17 Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 75%	117
Lampiran 18 Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 100%	118
Lampiran 19 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	119
Lampiran 20 Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength</i> 24 Jam Campuran <i>AC-</i> <i>WC</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada KAO	120

Lampiran 21 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	121
Lampiran 22 Pengujian <i>Cantabro</i> Campuran <i>AC-WC</i> dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum	122

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

Notasi:

1. A = Persentase aspal terhadap batuan (%)
2. B = Persentase aspal terhadap campuran (%)
3. C = Berat kering sebelum direndam
4. D = Berat kering permukaan jenuh (*SSD*)
5. E = Berat di dalam air
6. F = Volume benda uji (*cc*)
- 7.. G = Berat isi sampel (*density*)
- 8 H = Berat jenis maksimum teoritis campuran
9. I = $\frac{\text{Persen aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji}}{\text{berat jenis aspal}}$
10. J = $\frac{\text{Persentase pengurangan 100 dengan persentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji}}{\text{berat isi benda uji dibagi bj agregat}} (\%)$
11. K = Jumlah kandungan rongga (%)
12. L = Rongga terhadap agregat (*VMA*) (%)
13. M = Rongga terisi aspal (*VFWA*) (%)
14. N = Rongga dalam campuran (*VITM*) (%)
15. O = Nilai pembacaan arloji stabilitas
16. P = $\frac{\text{Nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi}}{\text{proving ring}}$
17. Q = Angka koreksi
18. R = Stabilitas
19. S = *Flow* (mm)
20. T = *Marshall Quotient (MQ)*
21. d = Diameter benda uji (mm)
22. h = Tinggi benda uji (mm)
23. k = Konstanta (1-2)
24. CA = Persentase agregat kasar (%)

- 25. FA = Persentase agregat halus (%)
- 26. Lo = Kehilangan Berat (gr)
- 27. mi 1 = Berat mula-mula benda uji (*specimen*) (gr)
- 28. mi 2 = Berat benda uji (*specimen*) setelah pengujian (gr)
- 29. Pb = Kadar aspal (%)
- 30. St = Nilai kuat Tarik secara tidak langsung (gr/cm^2)
- 31. S1 = Stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam
- 32. S2 = Stabilitas setelah direndam selama 24 jam

Singkatan:

1. *AASHTO* = *American Association Of State Highway and Transporting Official*
2. *ASTM* = *American Standard Testing and Material*
3. *US* = *United State*
4. *AC* = *Asphalt Concrete*
5. *AC-Base* = *Asphalt Concrete - Base*
6. *AC-WC* = *Asphalt Concrete - Wearing Course*
7. *AC-BC* = *Asphalt Concrete - Base Course*
8. *HRA* = *Hot Rolled Asphalt*
9. *IRS* = *Index of Retained Strength*
10. *KAO* = *Kadar Aspal Optimum*
11. *ITS* = *Indirect Tensile Strength*
12. *MQ* = *Marshall Quotient*
13. *VITM* = *Void In The Mix*
14. *VFWA* = *Void Filled With Asphalt*
15. *VMA* = *Void Mineral Agregate*
16. *CALi* = *Cantabro Abrasion Loss*
17. *TCE* = *Trichloroethylene*
18. *lbf* = *Pound Force*
19. *SNI* = *Standar Nasional Indonesia*
20. *SSD* = *Saturated Surface Dry*
21. *BJ* = *Berat Jenis*
22. *KN* = *Kilo Newton*
23. *cm* = *Centimeter*
24. *mm* = *Milimeter*
25. *kg* = *Kilogram*
26. *gr* = *Gram*
27. *cc* = *Cubical Centimeter*
28. *FTSP* = *Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan*
29. *UII* = *Universitas Islam Indonesia*

ABSTRAK

Tingkat kerusakan jalan akibat pertumbuhan volume kendaraan telah menjadi permasalahan yang sering terjadi pada ruas jalan, sehingga diperlukan adanya inovasi material dalam campuran perkerasan yaitu dengan menggunakan serbuk ban karet. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik campuran AC-WC dengan pengujian *Marshall*, *ITS*, *Cantabro*, dan *IRS*. Standar yang digunakan dalam pengujian adalah Bina Marga 2010.

Penelitian ini dilakukan dalam empat tahap, pertama pengujian sifat material yaitu pengujian agregat, aspal, *filler* dan ban karet. Kedua yaitu menentukan kadar aspal optimum pada campuran AC-WC dengan proporsi ban karet 0%, 25%, 50% 75%, dan 100%. Ketiga yaitu dilakukan pengujian *Marshall*, *ITS*, *Cantabro*, dan *IRS*. Keempat melakukan analisis, pembahasan, kesimpulan, dan saran dari hasil pengujian yang dilakukan.

Hasil penelitian dengan menggunakan ban karet sebagai pengganti agregat halus no.16 menunjukkan bahwa proporsi ban karet maksimal yang dapat digunakan sebagai substitusi dalam campuran AC-WC adalah 95,04% tetapi disarankan substitusi maksimal yang digunakan sampai 50%. Hasil pengujian *Marshall* menunjukkan nilai stabilitas, *MQ*, *VITM*, dan *VMA* mengalami penurunan, untuk nilai *flow* dan *VFWA* mengalami kenaikan. Hal ini menunjukkan bahwa kemampuan campuran AC-WC semakin menurun dan kelenturan pada campuran semakin bertambah. Pada uji *IRS* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya proporsi ban karet dan nilai *IRS* pada proporsi substitusi ban karet 100% di bawah standar spesifikasi Bina Marga (2010) yaitu $\geq 90\%$. Hal ni menunjukkan bahwa durabilitas pada campuran semakin menurun seiring dengan bertambahnya substitusi serbuk ban karet. Pada nilai *ITS* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet. Nilai *Cantabro* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet.

Kata Kunci: AC-WC, agregat halus, serbuk ban karet, *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, *Cantabro*

ABSTRACT

As the epoch the growth of vehicles is also developing, so causing an increase in the volume of traffic on each road that causes damage the road, then it is need to have innovation material in the pavement mixture which uses crumb rubber. The purpose of this research is to determine the effect of crumb rubber as fine aggregate substitution on the characteristics of the AC-WC mixture by testing Marshall, ITS, Cantabro, and IRS. The standard used in testing is Bina Marga 2010.

This research was done in four stages, first is to test the material's characteristics, including the aggregate, asphalt, fillers and crumb rubber. Second is to determine the optimum asphalt content in the AC-WC mixture with the proportion of crumb rubber 0%, 25%, 50% 75%, and 100%. Third was done testing Marshall, ITS, Cantabro, and IRS. Fourth is to analyse, making conclusion, and suggestions from the results of tests done.

The results of research using crumb rubber as substitute of fine aggregate number 16 indicated that the maximum proportion of crumb rubber that can be used as substitutes in AC-WC mixtures was 95.04% but suggest maximal substitute that can use until 50%. Marshall test results indicate the value of stability, MQ, VITM, and VMA has decreased, for the value of flow and VFWA has increased. This indicate that the capability of the AC-WC mixture is decreasing and the flexibility in the mixture is increasing. In the IRS test it has decreased along with the increasing proportion of crumb rubber and the value of IRS in the proportion of crumb rubber substitution 100% under of the Bina Marga (2010) specification standard it is $\geq 90\%$. This indicate that the durability of the mixture decreases as the increasing crumb rubber substitution. The value of ITS has decreased along the increase in crumb rubber. Cantabro value increases as the increasing crumb rubber.

Keywords: AC-WC, fine aggregate, crumb rubber, Marshall, Immersion, ITS, Cantabro

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Seiring dengan kemajuan zaman pertumbuhan kendaraan juga semakin berkembang sehingga menyebabkan peningkatan volume lalu lintas di setiap jalan. Peningkatan lalu lintas ini dapat menyebabkan peningkatan kerusakan pada jalan. Kerusakan jalan memang menjadi salah satu masalah di Indonesia yang seringkali terjadi sebelum umur layanan jalan yang sudah direncanakan, beberapa faktor seperti beban lalu lintas yang berlebih, air hujan, material konstruksi yang tidak sesuai dengan perencanaan, dan proses pemadatan yang kurang baik dapat menyebabkan kerusakan pada beton aspal.

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri atas campuran agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan (Sukirman, 2003). Salah satu lapisan beton aspal adalah lapisan *AC-WC*, yang merupakan lapisan permukaan pada beton aspal yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan dengan gradasi menerus yang mengandalkan ikatan saling mengunci (*interlocking*) antara butiran agregat. Fungsi dari lapisan *AC-WC* adalah untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya yang berupa gaya rem (horizontal), muatan kendaraan (gaya vertikal), dan pukulan roda kendaraan (getaran) sehingga lapisan *AC-WC* harus memiliki stabilitas tinggi untuk menahan beban roda selama masa pelayanan dan juga mampu menahan beban dinamis oleh kendaraan. Menurut Fadhilah (2018) lapisan *AC-WC* memiliki kelemahan dalam hal kelenturan, keawetan, dan rentan terhadap retak kelelahan (*fatigue cracking*) yang diakibatkan oleh beban kendaraan selama masa pelayanan jalan. Oleh karena itu perlu adanya bahan yang mampu mengatasi kelemahan yang ada pada lapisan *AC-WC* tersebut serta mampu

meningkatkan stabilitas sehingga mampu menahan beban kendaraan selama masa pelayanan jalan.

Ban karet merupakan bahan yang dihasilkan dari campuran karet alam dan karet sintetis yang diproduksi oleh pabrik ban dengan penambahan serat dan karbon. Ban karet berfungsi sebagai roda bagi kendaraan bermotor untuk bisa bergerak dan merupakan benda yang sering bersentuhan langsung dengan aspal jalan, sehingga ban karet tidak bisa bertahan lama jika digunakan secara terus menerus. Jika mengalami kerusakan ban karet akan diganti, ban karet lama yang sudah diganti hanya akan menjadi limbah, limbah ban karet kendaraan tidak dapat dipakai kembali dan tidak larut di dalam tanah maupun air tanah, sehingga sangat membahayakan bagi lingkungan. Oleh karena itu, perlu dilakukan usaha untuk mengurangi jumlah limbah ban karet bekas tersebut, salah satunya dengan menggunakannya sebagai bahan campuran aspal beton. Dikutip dari Sugiyanto (2003), penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan ban hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (AASHTO, 1982). Ananda (2009) menyatakan bahwa untuk campuran serbuk ban bekas pada fraksi No.50 (*AC-WC*) dapat meningkatkan stabilitas dan ketahanan oleh pengaruh air serta tahan terhadap beban dinamis. Selain itu, Fadhilah (2018) melakukan penelitian dengan mengganti agregat halus pada fraksi no.30 dengan serbuk ban bekas pada campuran *AC-WC* dapat menaikkan nilai *flow* sehingga ketahanan campuran *AC-WC* pada penggunaan serbuk ban bekas lebih kuat dan tahan terhadap kelenturan, keawetan, dan retak kelelahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, maka dilakukan penelitian dengan memanfaatkan ban karet sebagai pengganti agregat halus beton aspal sehingga dapat meningkatkan stabilitas dan kekuatan campuran beton aspal. Penelitian dititik beratkan pada pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus yang tertahan saringan no.16 pada campuran *AC-WC*.

1.2 Rumusan Masalah

Adapun rumusan masalah dari pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tarik tidak langsung pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap kehilangan berat pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap derajat keawetan pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian yang dilakukan adalah sebagai berikut.

1. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
2. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tarik tidak langsung pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
3. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap kehilangan berat pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

4. Untuk mengetahui pengaruh penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap derajat keawetan pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat bermanfaat bagi penulis dan pembaca, adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Menambah pengetahuan apakah serbuk ban bekas dapat meningkatkan kualitas maupun kekuatan beton aspal jika dimanfaatkan sebagai pengganti agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
2. Menjadi referensi penelitian selanjutnya yang membahas masalah penggunaan ban karet sebagai pengganti agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.
3. Menjadi pertimbangan untuk bahan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus dalam campuran beton aspal.
4. Untuk mengurangi limbah ban karet dengan memanfaatkan ban karet bekas dalam campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*.

1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian yang dilakukan sehingga tidak terlalu jauh dari analisis adalah sebagai berikut.

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia dan tidak melakukan pengujian lapangan.
2. Material yang digunakan adalah sebagai berikut.
 - a. Agregat kasar dan agregat halus diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
 - b. Material aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

- c. Ban karet yang digunakan diperoleh dari Tritunggal Jaya Jalan Magelang No.44, Tegal Domban, Margorejo, Tempel, Sleman.
3. Berat total campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* adalah 1200 gram.
4. Saringan yang disubstitusi adalah saringan No.16.
5. Benda uji yang dibuat dilakukan pengujian *Marshall*, pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*), pengujian *Cantabro*, dan pengujian *Immersion Test*.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Lapisan Aspal Beton (AC-WC)

Beton aspal (*hotmix*) adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat, dengan atau tanpa bahan tambahan. Material pembentuk beton aspal dicampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi untuk dihamparkan, dan kemudian dipadatkan. Suhu pada campuran beton aspal ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan (Sukirman, 2003).

Salah satu lapis campuran pada beton aspal yang terletak pada lapisan paling atas adalah *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*. *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* mempunyai tekstur campuran yang paling halus dibandingkan lapis beton lainnya yaitu *AC-Base* dan *AC-BC*. Campuran *AC-WC* merupakan campuran aspal yang cocok digunakan untuk jalan raya dengan lalu lintas berat, padat, dan mempunyai fungsi sebagai lapisan aus, serta diutamakan untuk digunakan pada daerah tropis. Untuk itu perlu adanya material perkerasan yang mempunyai kekuatan (*strength*) dan kepadatan (*density*) sesuai persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan sehingga dapat memikul beban lalu lintas kendaraan.

Penelitian ini menggunakan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus saringan no.16 pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang diharapkan dapat mengatasi kekurangan yang ada pada campuran laston *AC-WC* sehingga didapatkan campuran beton aspal yang mempunyai kekuatan (*strength*) dan kepadatan (*density*) sesuai persyaratan dan spesifikasi yang telah ditentukan.

2.2 Serbuk Ban Bekas

Ban karet dihasilkan dari campuran karet alam dan karet sintesis yang diproduksi oleh pabrik ban dengan penambahan serat dan karbon. Ban karet berfungsi sebagai roda bagi kendaraan bermotor untuk bisa bergerak dan

merupakan benda yang sering bersentuhan langsung dengan aspal jalan, sehingga ban karet tidak bisa bertahan lama jika digunakan secara terus menerus. Sehingga perlu upaya untuk mengurangi limbah ban karet dengan menggunakannya sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton aspal.

Dalam penelitian Fadhilah (2018) tentang pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus pada campuran laston (*AC-WC*) terhadap kinerja perkerasan jalan raya dapat menaikkan nilai *flow* seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet. Penelitian tersebut menggunakan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus pada saringan no.30 dengan kadar 0% sampai 100% pada beton aspal *AC-WC* dengan pengujian *ITS*, *Cantabro*, dan *Marshall*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban bekas membuat ketahanan campuran lebih kuat terhadap kelenturan, keawetan dan retak kelelahan. Untuk nilai kuat tarik tidak langsung atau *ITS* pada campuran *AC-WC* yang menggunakan kadar serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus no.30 mengalami peningkatan terbesar pada kadar ban karet 100% yaitu sebesar 3,1996%.

Dalam penelitian Lestari dan Taslim (2015) tentang optimasi kinerja aspal BNA Blend 75:25 terhadap campuran aspal beton menggunakan variasi serbuk ban karet menyatakan bahwa dengan menambahkan 50% serbuk ban bekas pada agregat no.50 pada campuran beton aspal *AC-WC* dapat menurunkan nilai *MQ* tetapi tetap berada di atas standar dan meningkatkan nilai *flow*. Ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban bekas membuat campuran beton aspal menjadi lebih kuat (lebih lentur) dan campuran beton aspal tahan terhadap retak dan lelah.

Dalam penelitian Sugianto (2008) tentang kajian karakteristik campuran *hot rolled asphalt* akibat penambahan limbah serbuk ban bekas menghasilkan nilai optimum campuran serbuk ban bekas sebagai pengganti fraksi no.50 adalah sebanyak 50%. Hasil pengujian *Marshall Immersion* menunjukkan indeks perendaman campuran *hot rolled asphalt* dengan 50% serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat pada fraksi no.50 memiliki nilai yang terbesar yaitu 96,42%. Ini menunjukkan penambahan serbuk ban bekas dapat memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi dan menambah ketahanan terhadap air sehingga mencegah terjadinya kerusakan pada jalan.

Dalam penelitian Yamali (2008) tentang pengaruh penambahan limbah karet ban luar pada lapis tipis aspal pasir (Latasir) terhadap karakteristik *Marshall* menghasilkan perubahan karakteristik *Marshall* dengan nilai *flow* mengalami kenaikan yang stabil sehingga tingkat kelenturan dan keawetan lebih baik, tetapi terdapat rongga udara yang banyak atau nilai *VIM* yang besar, sehingga nilai *VFA* menjadi kecil. Selain itu nilai *MQ* semakin rendah seiring bertambahnya kadar ban karet, membuat campuran tidak kaku atau semakin lembek, menyebabkan kemampuan aspal untuk menyesuaikan diri akibat lendutan semakin baik atau nilai kelenturan meningkat. Dari seluruh kadar karet dalam aspal yang memiliki tingkat kelenturan yang bagus pada kadar karet 3%.

Berdasarkan penelitian-penelitian yang dilakukan sebelumnya di mana serbuk ban karet dapat meningkatkan kualitas beton aspal, maka untuk penelitian ini dititik beratkan pada penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus saringan no.16 pada campuran beton aspal *AC-WC*.

2.3 Posisi Penelitian

Berdasarkan penelitian sebelumnya maka penelitian ini dapat diposisikan sebagaimana terangkum dalam Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2. 1 Perbandingan dengan Penelitian – Penelitian Sebelumnya

No	Aspek	Penelitian Sebelumnya			
		Fadhilah (2018)	Lestari dan Taslim (2015)	Sugianto (2008)	Yamali (2018)
1	Judul	Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Laston (AC-WC) Terhadap Kinerja Perkerasan Jalan Raya	Optimasi Kinerja Aspal BNA Blend 75:25 Terhadap Campuran Aspal Beton Menggunakan Variasi Serbuk Ban Karet	Kajian Karakteristik Campuran <i>Hot Rolled Asphalt</i> Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas	Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) Terhadap Karakteristik <i>Marshall</i>
2	Jenis Campuran	AC-WC	AC-WC	HRA	Latasir
3	Jenis Aspal	Aspal Pen 60/70	BNA Blend 75:25	Aspal pen 60/70	Aspal Pen 60/70
4	Bahan	Serbuk Ban Karet	Serbuk Ban Karet	Serbuk Ban Bekas	Limbah Ban Karet

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian – Penelitian Sebelumnya

No	Aspek	Penelitian Sebelumnya			
		Fadhilah (2018)	Lestari dan Taslim (2015)	Sugianto (2008)	Yamali (2018)
5	Metode Penelitian	Menggunakan metode <i>Marshall</i> , kuat tarik tidak langsung (<i>Indirect Tensile Strength</i>) dan <i>Cantabro</i> dengan mencampur serbuk ban bekas dengan kadar 0% sampai 100% sebagai pengganti agregat halus pada fraksi no.30.	Menggunakan metode <i>Marshall</i> dan Indeks Kekuatan Sisa (IKS) dengan cara masing-masing kadar aspal untuk campuran tanpa ban bekas, campuran dengan 50% pengganti agregat pada fraksi no 50.	Menggunakan metode <i>Marshall</i> dengan cara masing-masing kadar aspal untuk campuran tanpa ban bekas, campuran dengan 50% pengganti agregat pada fraksi no.50, dan campuran dengan 100% pengganti agregat pada fraksi no.50.	Menggunakan metode <i>Marshall</i> dengan cara mencampur ban bekas dengan berbagai variasi pada kadar 0%, 1%, 2%, 3%, 3%, dan 5% sebagai sebagai bahan tambah campuran Latasir.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan dengan Penelitian – Penelitian Sebelumnya

No	Aspek	Penelitian Sebelumnya			
		Fadhilah (2018)	Lestari dan Taslim (2015)	Sugianto (2008)	Yamali (2018)
6	Hasil Penelitian	Penambahan serbuk ban karet menaikkan nilai <i>flow</i> dan menurunkan nilai <i>MQ</i> namun tetap berada di atas standar sehingga ketahanan campuran pada penggunaan serbuk ban bekas lebih kuat dan tahan terhadap kelenturan, keawetan dan retak kelelahan	Penambahan serbuk ban bekas menaikkan nilai <i>flow</i> dan menurunkan nilai <i>MQ</i> namun tetap berada di atas standar. Secara keseluruhan, hal ini mengindikasikan ketahanan campuran pada penggunaan 50% serbuk ban bekas lebih kuat dan tahan terhadap retak lelah.	Nilai optimum campuran serbuk ban bekas sebagai pengganti fraksi no.50 adalah 50%. Penambahan serbuk ban bekas dapat memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi dan menambah ketahanan terhadap air sehingga mencegah terjadinya kerusakan pada jalan.	Pada pengujian menggunakan karet ban meningkatkan kelenturan dan keawetan yang lebih baik. Dari seluruh kadar karet dalam aspal yang memiliki tingkat kelenturan yang bagus pada kadar karet 3%.

2.4 Perbedaan Penelitian Sebelumnya dengan Penelitian Penulis

Perbedaan penelitian ini dengan penelitian sebelumnya adalah penelitian ini menggunakan bahan material serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada saringan no.16 dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75% dan 100%. Parameter uji yang digunakan pada penelitian ini adalah karakteristik *Marshall*, uji *Immersion Test*, *Index of Tensile Strength (ITS)*, dan *Cantabro Loss* terhadap campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dengan bahan ikat aspal penetrasi 60/70.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur jalan adalah lapisan yang berada di atas permukaan tanah yang terdiri dari campuran antara agregat dengan bahan ikat yang berfungsi untuk memikul beban pada lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan tanah agar beban lalu lintas yang diterima tanah tidak melebihi daya dukung tanah yang diizinkan (Sukirman, 1992).

Berikut merupakan jenis-jenis perkerasan yang dibedakan berdasarkan bahan ikat konstruksi beton aspal.

1. Perkerasan lentur (*flexible pavement*), yaitu perkerasan yang bahan pengikatnya berupa aspal di mana lapisan-lapisan perkerasannya memikul dan menyebarkan beban lalu lintas ke tanah dasar.
2. Perkerasan kaku (*rigid pavement*), yaitu perkerasan yang bahan pengikatnya menggunakan semen (*portland cement*) di mana pelat beton diletakkan di atas permukaan tanah yang berfungsi sebagai pemikul beban lalu lintas.
3. Perkerasan komposit (*composite pavement*), yaitu kombinasi dari perkerasan kaku dengan perkerasan lentur dapat berupa perkerasan lentur di atas perkerasan kaku atau sebaliknya perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

3.2 Beton Aspal

Beton aspal adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari campuran agregat dengan atau tanpa bahan tambahan. Material-material pembentuk beton aspal dicampur di instalasi pencampur pada suhu tertentu, kemudian diangkut ke lokasi, dihamparkan, dan dipadatkan. Suhu pencampuran ditentukan berdasarkan jenis aspal yang akan digunakan (Sukirman, 2003).

Menurut Bina Marga (2010) beton aspal dibedakan berdasarkan pada fungsi dari beton aspal dan suhu saat pencampuran. Berdasarkan suhu ketika mencampur

dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu aspal beton campuran panas (*hotmix*), aspal beton campuran sedang (*warm mix*) dan aspal beton campuran dingin (*cold mix*).

Menurut Bina Marga (2010) jenis aspal beton campuran panas (*hotmix*) dapat dibedakan sebagai berikut.

1. Lapis tipis aspal pasir (Latasir) adalah aspal beton yang digunakan untuk beban lalu lintas ringan. Lapisan ini memiliki ketahanan *rutting* yang rendah sehingga lapisan ini tidak disarankan untuk daerah dengan lalu lintas yang berat.
2. Lapis tipis aspal beton (Lalaston) yaitu aspal beton yang bergradasi senjang. Karakteristik dari lapis ini adalah terletak pada durabilitas dan juga fleksibilitasnya.
3. Lapis aspal beton (Laston) yaitu aspal beton yang digunakan pada lalu lintas dengan beban kendaraan yang berat. Laston juga dikenal dengan AC (*Asphalt Concrete*) yang terpenting pada campuran ini mempunyai karakteristik stabilitas.

3.3 Lapis Aspal Beton

Dalam penelitian ini digunakan aspal beton (*Asphalt Concrete* atau AC) yang disebut juga dengan Laston (Lapisan Aspal Beton), aspal beton merupakan lapisan yang digunakan pada lalu lintas dengan kendaraan berat dan merupakan lapis permukaan *structural* atau lapis pondasi atas. Berikut merupakan jenis-jenis lapisan aspal beton.

1. Laston sebagai lapisan aus, dinamakan *AC-WC (Asphalt Concrete Wearing Course)* merupakan lapisan perkerasan yang terletak paling atas dan berfungsi sebagai lapisan aus.
2. Laston sebagai lapisan pengikat, dinamakan *AC-BC (Asphalt Concrete Binder Course)* merupakan lapisan perkerasan yang terletak di bawah lapisan aus (*wearing course*) dan di atas lapisan pondasi (*base course*).
3. Laston sebagai lapisan pondasi, dinamakan *AC-Base (Asphalt Concrete Base)* merupakan pondasi perkerasan yang terdiri dari campuran agregat dan aspal

dengan perbandingan tertentu dicampur dan dipadatkan dalam keadaan panas. Lapisan ini terletak di bawah lapis pengikat (AC- BC).

Dalam Bina Marga 2010, terdapat persyaratan untuk sifat-sifat campuran laston (AC) dalam lapis perkerasan. Ketentuan sifat-sifat campuran tersebut dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

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

Sifat-Sifat Campuran		Laston		
		Lapis Aus	Lapis Antara	Pondasi
Jumlah tumbukan per bidang		75		112
Rasio patikel lolos ayakan 0,0075 mm dengan kadar aspal efektif	Min.	1,0		
	Maks.	1,4		
Rongga dalam campuran (%)	Min.	3,0		
	Maks.	5,0		
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min.	15	14	13
Rongga terisi aspal (%)	Min.	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min.	800		1800
Pelelehan (mm)	Min.	2		3
	Maks.	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60°C	Min.	90		
Rongga dalam campuran (%) pada kepadatan membal (<i>refusal</i>)	Min.	2		

Sumber: Bina Marga 2010 revisi 3, divisi 6

3.4 Lapisan Laston *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC)

Salah satu lapisan aspal beton adalah lapisan AC-WC, lapisan (AC-WC) merupakan lapisan permukaan pada beton aspal yang langsung bersentuhan dengan roda kendaraan yang berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya yang berupa gaya rem (horizontal), muatan kendaraan (gaya vertikal), dan pukulan roda kendaraan (getaran). Karena lapisan ini merupakan lapisan yang terletak paling atas di mana lapisan ini harus mampu menerima beban lalu lintas, maka lapisan ini harus mempunyai fungsi berupa.

1. Lapis sebagai penahan beban lalu lintas, maka lapisan ini harus mempunyai stabilitas yang tinggi untuk menahan beban lalu lintas selama masa pelayanan jalan.
2. Lapis kedap air, karena lapisan ini terletak di permukaan maka lapisan ini harus kedap terhadap air sehingga air tidak meresap ke lapisan di bawahnya.

Pada Tabel 3.2 berikut merupakan spesifikasi campuran AC-WC berdasarkan Bina Marga (2010).

Tabel 3.2 Spesifikasi Campuran AC-WC

Ukuran Butiran		Laston (AC)		
ASTM	mm	WC	BC	Base
1 ½"	37,5	-	-	100
1"	25	-	100	90-100
¾"	19	100	90-100	76-90
½"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
No.4	4,75	53-69	46-64	35-54
No.8	2,36	33-53	30-49	23-41
No.16	1,18	21-40	18-38	13-30
No.30	0,6	14-30	12-28	10-22
No.50	0,3	9-22	7-20	6-15
No.100	0,15	6-15	5-13	4-10
No.200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2010)

3.5 Bahan Penyusun Campuran Perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC)

Berikut merupakan penjelasan bahan penyusun campuran perkerasan *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC) yang berupa agregat, aspal, *filler*, dan bahan substitusi serbuk ban bekas.

3.5.1 Agregat

Agregat adalah secara umum dapat didefinisikan sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. ASTM (1974) mendefinisikan batuan sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa masa berukuran besar ataupun berupa

fragmen-fragmen. Menurut Sukirman (2003), agregat merupakan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat dalam ukuran besar maupun kecil. Agregat merupakan bagian terbesar dalam suatu campuran aspal. Agregat pada lapis permukaan atau lapis aus harus memenuhi persyaratan yang tercantum pada Tabel 3.3 dan Tabel 3.4.

Agregat merupakan komponen yang utama pada perkerasan jalan yaitu mengandung 90-95% berdasarkan persentase berat. Sedangkan berdasarkan persentase volume sebesar 75-85%. Sehingga daya dukung, keawetan, dan mutu dari perkerasan jalan sangat dipengaruhi oleh sifat agregat dan hasil dari campuran agregat dengan material yang lainnya.

Tabel 3.3 dan Tabel 3.4 berikut merupakan standar penentuan agregat kasar dan agregat halus yang digunakan sesuai spesifikasi Bina Marga 2010.

Tabel 3.3 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai
Kelekatan bentuk agregat terhadap larutan	<i>Natrium Sulfat</i>	SNI 3407: 2008	Maks.12%
	<i>Magnesium</i>		Maks.18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi	100 Putaran	Maks. 6%
		500 Putaran	Maks.30%
	Semua Jenis Campuran aspal bergradasi lainnya	100 Putaran	Maks. 8%
		500 Putaran	Maks.40%
Kelekatan aspal oleh agregat		SNI 2439:2011	Maks.95%
Butir pecah pada agregat kasar		SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih pada agregat kasar		ASTM D4179 Perbandingan 1:5	Maks.10%
Material lolos ayakan no.200		SNI 09-4142-1996	Maks. 2%

Sumber: Bina Marga (2010)

Tabel 3.4 Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 60%
Angularitas dengan uji kadar rongga	SNI 03-687-2002	Min. 45%
Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%
Agregat lolos ayakan no. 200	SNI ASTM C11:2012	Maks. 10%

Sumber: Bina Marga 2010

3.5.2 Bahan Ikat Aspal

Menurut Sukirman (1999) aspal merupakan material yang berwarna hitam atau coklat yang berbentuk padat hingga agak padat pada temperatur ruang yang apabila dipanaskan pada suhu tertentu aspal akan menjadi cair sehingga dapat berfungsi sebagai bahan pengikat antar agregat pada waktu pembuatan aspal beton dan dapat masuk ke dalam pori-pori yang ada pada waktu penyemprotan perkerasan.

Aspal terdiri dari berbagai macam tergantung dari proses saat pembuatan dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C dan juga dari nilai viskositasnya. Di Indonesia aspal dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu.

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-50
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-70
3. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-100
4. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-150
5. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300

Pada penelitian yang dilakukan menggunakan aspal penetrasi 60/70 dengan persyaratan sebagai berikut pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Pengujian dan Persyaratan Aspal Keras AC 60/70

No	Pengujian	Standart	Syarat
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48
3	Daktalitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232
5	Berat jenis	SNI 2441:2011	≥ 1,0
6	Berat yang Hilang	SNI 06-2441-1991	≤ 0,8
7	Kelarutan <i>Trichloroethylene</i> (%)	ASSHTO T44-03	≥ 99

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga (2010)

3.5.3 Serbuk Ban Karet

Ban karet dihasilkan dari campuran karet alam dan karet sintetis yang diproduksi oleh pabrik ban dengan penambahan serat dan karbon. Ban karet berfungsi sebagai roda bagi kendaraan bermotor untuk bisa bergerak dan merupakan benda yang sering bersentuhan langsung dengan aspal jalan, sehingga ban karet tidak bisa bertahan lama jika digunakan secara terus menerus. Sehingga perlu upaya untuk mengurangi limbah ban karet dengan menggunakannya sebagai pengganti agregat halus pada campuran beton aspal.

Fadhilah (2018) menyatakan untuk mengatasi kelemahan dalam campuran AC-WC yaitu kelenturan, keawetan, dan rentan terhadap kelelahan maka penambahan kadar serbuk ban karet bekas yang tepat disarankan menggunakan kadar 25% sampai 75% terhadap berat agregat pada saringan no.30. Dalam proses pencampuran metode yang digunakan Fadhilah (2018) adalah menggunakan perbandingan berat jenis antara serbuk ban bekas dengan agregat halus. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat} = \frac{\text{Berat jenis ban karet}}{\text{Berat jenis agregat halus}} \times \text{Berat agregat dalam campuran} \quad (3.1)$$

Dalam pengujian yang lakukan pada serbuk ban karet bekas, didapatkan berat jenis serbuk ban karet bekas sebesar 0,614 gr/cm³.

3.6 Karakteristik Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* ini bertujuan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal. Ketahanan (stabilitas) adalah kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau *pound*. Sedangkan kelelahan adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang terjadi akibat suatu beban sampai runtuh yang dinyatakan dalam milimeter (mm).

Alat *Marshall* adalah alat tekan yang dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN atau 5000 *lbf* dan *flowmeter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji *Marshall* berbentuk silinder berdiameter 4 inci atau 10,2 cm dan tinggi 2,5 inci atau 6,35 cm (Sukirman, 2003).

Karakteristik *Marshall* campuran beton dinilai dari kekuatan dan kelenturan campuran yang diukur dari nilai stabilitas, kelelahan, dan *MQ* yang diukur oleh karakteristik rongga yaitu berupa *VITM*, *VFWA*, *VMA* dan kerapatan campuran beton. Berikut adalah penjelasan tentang karakteristik *Marshall*.

3.6.1 Stabilitas

Menurut Sukirman (1999), stabilitas lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, maupun *bleeding*. Kebutuhan akan stabilitas semakin meningkat seiring dengan jumlah lalu lintas. Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan dilalui oleh kendaraan berat menuntut stabilitas yang lebih besar.

Nilai stabilitas didapat dari pembacaan pada pengujian *Marshall* yang dikalibrasi dengan *proving ring* dan dikoreksi tebal dari benda uji. Rumus yang digunakan dalam perhitungan nilai stabilitas diperoleh dengan Persamaan 3.2 berikut.

$$qs = p \times q \quad (3.2)$$

Keterangan:

qs = Nilai stabilitas

p = Pembacaan nilai arloji stabilitas x kalibrasi *proving ring*

q = Angka koreksi tebal benda uji

3.6.2 Kelelehan (*Flow*)

Flow adalah keadaan benda uji di mana benda uji mengalami perubahan bentuk pada campuran beton aspal akibat benda uji mengalami keruntuhan. Nilai *flow* diperoleh dari penunjukan jarum arloji pada alat *Marshall* di mana jarum mulai berhenti dan mulai turun kembali pada posisi semula. Besarnya nilai *flow* dinyatakan dalam mm atau 0,01". Faktor yang mempengaruhi nilai *flow* adalah kadar aspal, viskositas, gradasi agregat, jumlah, dan temperatur pemadatan.

3.6.3 *Marshall Quotinet (MQ)*

Marshall Quotinet adalah perbandingan antara stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ* digunakan pada perencanaan perkerasan sebagai pendekatan dari nilai fleksibilitas campuran. Fleksibilitas akan naik jika penambahan kadar aspal yang sampai pada kadar optimum dan akan turun setelah sampai pada batas optimum. Nilai *Marshall Quotinet* diperoleh dari Persamaan 3.3 berikut ini.

$$MQ = \frac{S}{R} \quad (3.3)$$

Keterangan:

S = Nilai stabilitas (kg)

R = Nilai *flow* (mm)

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

3.6.4 *Void in Total Mix (VITM)*

Void in Total Mix adalah persentase rongga yang ada pada campuran di mana perbandingan volume persen rongga terhadap total campuran padat yang dinyatakan dalam persen. Nilai *VITM* merupakan indikator dari durabilitas dan juga kemungkinan *bleeding*, semakin tinggi nilai *VITM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran. Berikut merupakan Persamaan 3.4 untuk mendapatkan nilai *VITM*.

$$VITM = 100 - \left(100 \times \frac{g}{h} \right) \quad (3.4)$$

Untuk menghitung berat jenis maksimum teoritis dapat dihitung dengan Persamaan 3.5 berikut ini.

$$BJ = \frac{100}{\frac{\% agregat}{BJ agregat} + \frac{\% aspal}{BJ aspal}} \quad (3.5)$$

Keterangan:

VITM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

G = Berat volume benda uji

H = BJ maksimum teoritis

BJ teoritis = Berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan (gr/cc)

3.6.5 *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Void in Mineral Agregat adalah persentase ruang rongga terhadap partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan kadar aspal efektif. Nilai *VMA* merupakan indikator dari durabilitas. Perhitungan *VMA* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 berikut ini.

$$VMA = 100 - \frac{(100-B) \times G}{BJ Bulk Agregat} \quad (3.6)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

B = Persentase aspal terhadap campuran

G = Berat isi campuran

3.6.6 *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void Filled with Asphalt adalah persentase rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal di mana nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu dan rongga telah penuh (optimum) dan tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Untuk menghitung *VFWA* digunakan persamaan 3.7 berikut ini.

$$VFWA = 100 \times \left(\frac{VMA - VITM}{VMA} \right) \quad (3.7)$$

Keterangan:

$VFWA$ = Rongga udara terisi aspal (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

$VITM$ = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

3.6.7 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan dari campuran beton aspal. Jumlah aspal yang menyelimuti permukaan butir agregat dinyatakan dengan kadar aspal efektif. Jika kadar aspal efektif semakin tinggi maka selimut aspal akan semakin tebal pada setiap butir agregat. Tebal selimut aspal sangat dipengaruhi oleh luas permukaan seluruh butir-butir agregat. 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 3.8 dan 3.9 berikut ini.

$$G = \frac{C}{F} \quad (3.8)$$

$$F = D - E \quad (3.9)$$

Keterangan:

G = Nilai *density* (gr/cc)

C = Berat benda uji sebelum direndam (gr)

D = Berat benda uji dalam keadaan jenuh atau *ssd* (gr)

E = Berat dalam air (gr)

F = Volume atau isi (cm³)

3.7 Pengujian *Immersion Test*

Immersion Test bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Menurut AASHTO T.165-74 atau ASTM D.1075-54 (1969) ada dua metode uji perendaman *Marshall (Immersion Test)* yaitu uji perendaman selama 1 x 24 jam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$ dan uji perendaman selama 4 x 24 jam dengan suhu $\pm 50^{\circ}\text{C}$. Pada penelitian ini dipakai metode uji perendaman (*Marshall*) 24 jam dalam suhu konstan 60°C sebelum pembebanan diberikan.

Bina Marga menyaratkan nilai *Immersion Test* minimum adalah 90%. Dari nilai stabilitas yang didapat dari kedua pengujian perendaman, kemudian dihitung nilai *Immersion Test* menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$\text{Index of Retained Strength} = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.10)$$

Keterangan:

S1 = Rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 30 menit (kg)

S2 = Rata – rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman selama 24 jam (kg)

3.8 Pengujian *Cantabro*

Cantabro Test adalah tes benda uji bekas silinder sampel *Marshall Test* yang sudah tidak digunakan, dimasukkan ke silinder alat tes *Los Angeles Abrasion*, bola-bola besi dikeluarkan dan alat diputar sampai 400 putaran. Benda uji sebelum dan sesudah tes ditimbang, bagian yang hilang dinyatakan dalam persen disyaratkan tidak boleh lebih besar dari 25%. Untuk aspal modifikasi dengan kelengketan tinggi pernah tercatat hasil senilai 5% menunjukkan kelengketan yang tinggi dan pantas untuk menjadi lapis penutup perkerasan jalan yang biasanya rawan terhadap gerusan, terburai, dan bocor air (Suhartono, 2014).

Untuk menghitung kehilangan berat pada pengujian *Cantabro* dapat menggunakan Persamaan 3.11 berikut ini.

$$CALi = \frac{(mi\ 1 - mi\ 2)}{mi\ 1} \times 100 \quad (3.11)$$

Keterangan:

$CALi$ = *Cantabro Abrasion Loss* (%)

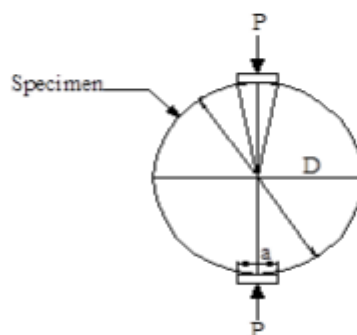
$mi\ 1$ = Berat mula-mula benda uji (*specimen*) (gr)

$mi\ 2$ = Berat benda uji (*specimen*) setelah pengujian (gr)

3.9 *Indirect Tensile Strength Test (ITS)*

Indirect Tensile Strength Test (ITS) adalah suatu pengujian yang digunakan untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui adanya potensi keretakan (*fatigue*) perkerasan pada campuran beton aspal.

Pengujian *Indirect Tensile Strength Test* ini hampir mirip dengan pengujian *Marshall Test*, yang membedakan hanyalah pada pengujian *ITS* tidak menggunakan cincin penguji namun menggunakan plat berbentuk cekung pada bagian penekan *Marshall*. Beban yang diberikan pada uji kuat tarik tidak langsung ini berupa *strip* (*Loading Strip*) dari bahan baja selebar 12,7 mm (0,5 inci) dengan laju 51 mm/menit (2 inci/menit). Pembebanan dilakukan dengan menggunakan alat penekan *Marshall* (ASTM D 4123, 1989). Untuk lebih jelas dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



Gambar 3.1 Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

(Sumber: ASTM D 4123, 1989)

Pengujian dilakukan dengan pembebanan tekan yang secara terus menerus dengan laju konstan sampai mencapai batas maksimum, dan setelah pembebanan maksimum benda uji akan mengalami keretakan (*fatigue*).

Untuk menghitung nilai kuat tarik tidak langsung dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$St = \frac{2 \times P_{\max}}{\pi \times d \times h} \quad (3.12)$$

Keterangan

St = Nilai kuat tarik secara tidak langsung (kg/cm²)

P_{max} = Beban maksimum (kg)

h = Tinggi benda uji (cm)

d = Diameter benda uji (cm)

BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah dengan metode di mana untuk memperoleh data pada penelitian ini yaitu melakukan pengujian menggunakan benda uji sehingga diperoleh data kemudian menganalisis hasil pengujian yang telah dilaksanakan. Data yang sudah didapatkan kemudian mengolahnya dan membandingkannya dengan spesifikasi yang telah ditetapkan. Spesifikasi yang digunakan untuk menjadi pedoman dan acuan pada penelitian ini menggunakan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010. Dalam pengujian dengan metode eksperimen ini dilakukan di dalam Laboratorium Jalan Raya Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.2 Metode Pengambilan Data

Untuk pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan selama pengujian. Untuk mempermudah pengambilan data, maka dilakukan pengelompokan benda uji kemudian dilakukan pengujian agregat, pengujian aspal, pengujian *Marshall*, pengujian *Immersion Test*, pengujian *Indirect Tensile Strength*, dan pengujian *Cantabro* sehingga didapatkan data berupa nilai stabilitas, *flow*, *density*, *MQ*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *IRS*, *ITS* dan *CALi*.

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Tahapan penelitian yang dilakukan berupa persiapan, pemeriksaan material, persiapan alat, pembuatan sampel, pengujian *Marshall*, *Indirect Tensile Strength*, *Cantabro* dan

Immersion Test. Berikut adalah tahapan-tahapan yang dilakukan dalam penelitian ini.

4.3.1 Pengujian Material

Material yang digunakan untuk pembuatan benda uji pada campuran AC-WC dalam penelitian Tugas Akhir ini aspal dan agregat, sehingga perlu dilakukan pengujian material terlebih dahulu sebelum digunakan untuk campuran benda uji. Pemeriksaan material ini bertujuan untuk mengetahui kelayakan apakah material telah memenuhi spesifikasi yang digunakan sebelum dilakukan pembuatan benda uji. Pemeriksaan material ini berpedoman pada SNI, ASTM dan Bina Marga 2010. Berikut adalah pengujian untuk agregat dan aspal.

1. Pengujian agregat

a. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat kasar (SNI 1969:2008)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)* dan berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan air oleh agregat kasar.

b. Pengujian berat jenis dan penyerapan air agregat halus (SNI 1970:2008)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui berat jenis (*bulk*) dan berat jenis permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)* dan berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan air oleh agregat halus.

c. Pengujian kelekatan aspal oleh agregat (SNI 06-2439-1991)

Pengujian kelekatan aspal oleh agregat adalah persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap keseluruhan luas permukaan. Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kelekatan aspal oleh agregat.

d. Pengujian analisis saringan

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan pembagian butir (gradasi) agregat kasar dan halus dengan menggunakan saringan.

e. Pengujian keausan agregat (SNI 2417:2008)

Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, di mana pengujian ini bertujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan.

f. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI 3423:2008)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar debu, lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah/agregat halus.

2. Pengujian aspal

a. Pengujian berat jenis aspal (SNI 06-2441-2011)

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Besarnya berat jenis aspal penting dalam perencanaan campuran agregat dan aspal, karena digunakan untuk menentukan kadar aspal dalam campuran.

b. Pengujian titik lembek (SNI 06-2434-2011)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan titik lembek aspal padat dengan cara *ring and ball*. Hasil pengujian ini selanjutnya dapat digunakan untuk menentukan kepekaan aspal terhadap suhu.

c. Pengujian daktilitas (SNI 06-2432-2011)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal. Pengujian ini dilakukan dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar akan mengikat butiran agregat lebih baik namun lebih peka terhadap perubahan temperatur.

d. Pengujian penetrasi aspal (SNI 06-2456-2011)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal, di mana aspal tersebut termasuk dalam kategori keras atau lembek (solid atau semi solid). Pengujian ini dilakukan dengan cara memasukkan jarum tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Nilai titik lembek dan penetrasi dapat menunjukkan kepekaan aspal terhadap temperatur.

e. Pengujian kelarutan dalam *Karbontetraklorida* atau *Trichloroethylene* (ASTM D5546)

Tujuan penelitian ini adalah untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam *Karbontetraklorida*.

f. Pengujian titik nyala dan titik bakar (SNI 06-2433-2011)

Tujuan pengujian ini adalah untuk menentukan suhu saat aspal terlihat menyala singkat di permukaan (titik nyala) dan suhu saat terlihat menyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).

4.3.2 Persiapan Alat

Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Peralatan yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Peralatan pengujian fisik agregat, seperti mesin *Los Angeles*, saringan standar dan *vibrator*, tabung *Sand Equivalent*.
2. Peralatan pengujian fisik aspal, seperti alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala dan titik bakar aspal.
3. Cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.
4. *Oven*, yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanasi sampai dengan suhu $(200 \pm 3) ^\circ\text{C}$
5. Bak perendam dilengkapi dengan *waterbath* pengatur suhu minimum 20°C .
6. *Compactor*, yaitu alat penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 *pound*) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18").
7. Timbangan yang dilengkapi penggantung benda uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram, timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram, dan timbangan digital.
8. Peralatan penunjang, seperti kompor, wajan, spatula, sarung tangan karet, gelas ukur, pan, kain lap, bak plastik, jangka sorong, termometer, dan lain-lain.
9. Alat uji *Marshall* yaitu sebagai berikut.
 - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - b. Cincin penguji berkapasitas 2500 kg (5000 *pound*) dengan ketelitian 12,5 kg (25 *pound*).
 - c. Arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001").

- d. Arloji pengukur kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”) dengan perlengkapannya.
- 10. Alat uji *Indirect Tensile Strength Test* adalah sebagai berikut.
 - d. Alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 13 mm (0,5 inch).
 - e. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - f. Arloji pengukuran stabilitas.
- 11. Alat uji *Cantabro Test*
 - a. Pengujian ini menggunakan alat mesin abrasi *Los Angeles* tanpa bola baja.
 - b. Alat timbang dengan ketelitian 0,1 gr.
- 12. Alat uji *Immersion Test*
 - a. Alat tekan (*strip loading*) selebar 0,5 inch.
 - b. Arloji pengukur stabilitas.
 - c. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - d. Penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 *pound* (4,536 kg) dan tinggi jatuh 18 *inch* (45,7 cm).
 - e. *Oven* dengan suhu 60 °C

4.3.3 Persiapan Bahan

Bahan material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Aspal

Aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal pertamina penetrasi 60/70 yang diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Agregat

Agregat yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
3. Serbuk ban bekas

Material serbuk ban bekas yang digunakan berasal dari Tritunggal Jaya Jalan Magelang No.44, Tegal Domban, Margorejo, Tempel, Sleman.

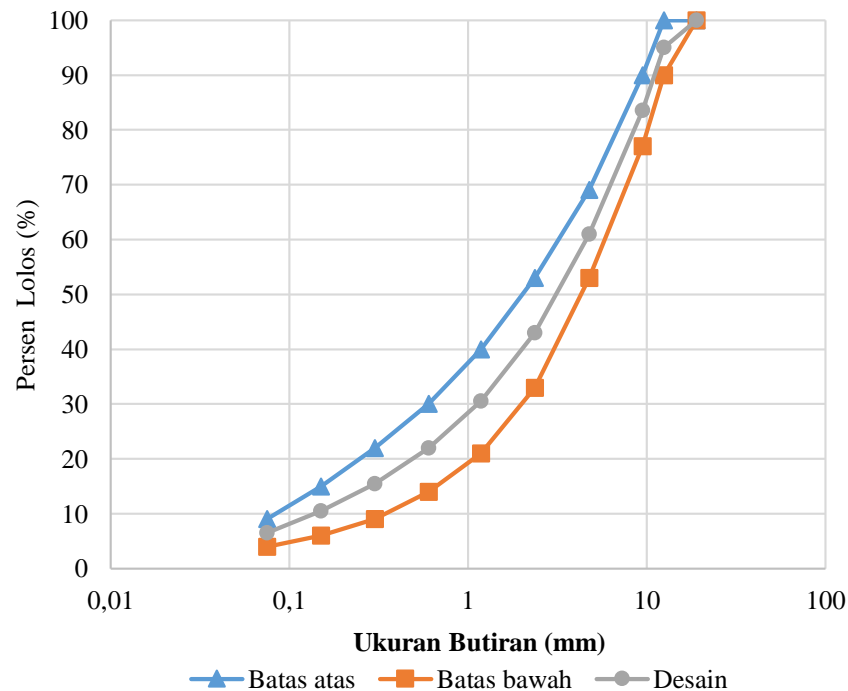
4.3.4 Perencanaan Campuran

Pada perencanaan pencampuran ini bahan yang digunakan berupa agregat, aspal, dan serbuk ban bekas. Beberapa hal yang perlu diperhatikan dalam merencanakan suatu campuran di antaranya adalah mengetahui sifat dan spesifikasi dari material yang digunakan. Sebelum dilakukan pencampuran semua bahan perlu dilakukan penentuan gradasi campuran. Metode yang digunakan dalam penentuan gradasi campuran yaitu berdasarkan ukuran saringan. Rencana gradasi agregat yang digunakan pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Batas Gradasi Agregat Campuran AC-WC

Ukuran Saringan	Ukuran Butir (mm)	Spesifikasi			Tertahan Ideal (%)	Persen Tertahan (%)
		Max	Min	Spesifikasi Ideal		
3/4"	19	100	100	100	0,0	0
1/2"	12,5	100	90	95,0	5,0	5
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	11,5
No. 4	4,75	69	53	61,0	39,0	22,5
No. 8	2,36	53	33	43,0	57,0	18
No. 16	1,18	40	21	30,5	69,5	12,5
No. 30	0,6	30	14	22,0	78,0	8,5
No. 50	0,3	22	9	15,5	84,5	6,5
No. 100	0,15	15	6	10,5	89,5	5
No. 200	0,075	9	4	6,5	93,5	4
Pan					100,0	6,5

Berdasarkan data Tabel 4.1 tersebut dapat diperoleh grafik rencana gradasi agregat campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* yang berupa spesifikasi minimal, spesifikasi maksimal, dan spesifikasi ideal. Grafik dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.



Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Agregat Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)*

Setelah menentukan rencana gradasi agregat, selanjutnya dilakukan perhitungan kadar aspal optimum rencana. Perhitungan dalam menentukan kadar aspal dapat dilihat pada Persamaan 4.1 berikut ini.

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

Keterangan:

- P_b = Kadar aspal (%)
 CA = Persentase agregat kasar (%)
 FA = Persentase agregat halus (%)
 k = Konstanta (1-2)

Dari grafik diperoleh nilai CA sebesar 39%, FA sebesar 54,5%, $filler$ sebesar 6,5% dan nilai konstanta 1, sehingga dapat dihitung dengan Persamaan 4.1 didapatkan sebagai berikut.

$$\begin{aligned}
 P_b &= 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + \text{Konstanta} \\
 &= 0,035 (39) + 0,045 (54,5) + 0,18 (6,5) + 1 \\
 &= 5,9875\% \text{ dibulatkan menjadi } 6\%
 \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan perkiraan awal (Pb) diperoleh nilai kadar aspal sebesar 6%, sehingga pada pengujian untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), kadar aspal yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat total campuran. Berat total campuran untuk setiap benda uji adalah 1200 gram. Kebutuhan agregat tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
<i>Inch</i>	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	100	90	95	5	57	57
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	131,1	188,1
No.4	4,75	69	53	61	39	256,5	444,6
No.8	2,36	53	33	43	57	205,2	649,8
No.16	1,18	40	21	30,5	69,5	142,5	792,3
No.30	0,6	30	14	22	78	96,9	889,2
No.50	0,3	22	9	15,5	84,5	74,1	963,3
No.100	0,15	15	6	10,5	89,5	57	1020,3
No.200	0,075	9	4	6,5	93,5	45,6	1065,9
Pan				0	100	74,1	1140
						1140	Jumlah

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
<i>Inch</i>	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	100	90	95	5	56,7	56,7
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	130,41	187,11
No.4	4,75	69	53	61	39	255,15	442,26
No.8	2,36	53	33	43	57	204,12	646,38
No.16	1,18	40	21	30,5	69,5	141,75	788,13
No.30	0,6	30	14	22	78	96,39	884,52
No.50	0,3	22	9	15,5	84,5	73,71	958,23
No.100	0,15	15	6	10,5	89,5	56,7	1014,93
No.200	0,075	9	4	6,5	93,5	45,36	1060,29
Pan				0	100	73,71	1134
						1134	Jumlah

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
<i>Inch</i>	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	100	90	95	5	56,4	56,4
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	129,72	186,12
No.4	4,75	69	53	61	39	253,8	439,92
No.8	2,36	53	33	43	57	203,04	642,96
No.16	1,18	40	21	30,5	69,5	141	783,96
No.30	0,6	30	14	22	78	95,88	879,84
No.50	0,3	22	9	15,5	84,5	73,32	953,16
No.100	0,15	15	6	10,5	89,5	56,4	1009,56
No.200	0,075	9	4	6,5	93,5	45,12	1054,68
Pan				0	100	73,32	1128
						1128	Jumlah

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
<i>Inch</i>	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	100	90	95	5	56,1	56,1
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	129,03	185,13
No.4	4,75	69	53	61	39	252,45	437,58
No.8	2,36	53	33	43	57	201,96	639,54
No.16	1,18	40	21	30,5	69,5	140,25	779,79
No.30	0,6	30	14	22	78	95,37	875,16
No.50	0,3	22	9	15,5	84,5	72,93	948,09
No.100	0,15	15	6	10,5	89,5	56,1	1004,19
No.200	0,075	9	4	6,5	93,5	44,88	1049,07
Pan				0	100	72,93	1122
						1122	Jumlah

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Saringan		Spesifikasi		Jumlah (%)		Berat Tertahan (gr)	
<i>Inch</i>	mm	Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Kumulatif
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	100	90	95	5	55,8	55,8
3/8"	9,5	90	77	83,5	16,5	128,34	184,14
No.4	4,75	69	53	61	39	251,1	435,24
No.8	2,36	53	33	43	57	200,88	636,12
No.16	1,18	40	21	30,5	69,5	139,5	775,62
No.30	0,6	30	14	22	78	94,86	870,48
No.50	0,3	22	9	15,5	84,5	72,54	943,02
No.100	0,15	15	6	10,5	89,5	55,8	998,82
No.200	0,075	9	4	6,5	93,5	44,64	1043,46
Pan				0	100	72,54	1116
						1116	Jumlah

4.3.5 Perencanaan Jumlah Benda Uji

Berikut adalah perencanaan jumlah benda uji yang digunakan dalam penelitian ini. Tabel perencanaan jumlah benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.7 dan Tabel 4.8 di bawah ini.

1. Perencanaan jumlah benda uji untuk pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO) dengan aspal pertamina pen 60/70 dapat dilihat pada Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji Kadar Aspal Optimum

Proporsi Ban Karet (%)	Kadar Aspal (%)				
	5	5,5	6	6,5	7
0	3	3	3	3	3
25	3	3	3	3	3
50	3	3	3	3	3
75	3	3	3	3	3
100	3	3	3	3	3
Jumlah	15	15	15	15	15
Total	75				

2. Perencanaan jumlah benda uji dengan proporsi kadar serbuk ban karet bekas pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penelitian ini menggunakan serbuk ban bekas sebagai pengganti agregat halus pada saringan tertahan no.16. Pada saringan no.16 didapat berat agregat halus, dari berat agregat halus tersebut kemudian diganti serbuk ban bekas dengan proporsi persentase 0%, 25%, 50%, 75%, 100% dari total berat tertahan agregat halus no.16. Adapun jumlah sampel dalam pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian

Jenis Pengujian	Jumlah Benda Uji Berdasarkan Persentase Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus yang Tertahan pada Saringan No.16				
	0%	25%	50%	75%	100%
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3
<i>Immersion Test</i>	3	3	3	3	3
<i>Cantabro</i>	3	3	3	3	3
Jumlah	12	12	12	12	12
Total	60				

Jadi total benda uji yang digunakan pada penelitian ini sebanyak 75 buah sampel ditambah 60 buah sampel sehingga total benda uji adalah 135 buah sampel. Pembuatan benda uji dilakukan dengan mengacu pada Bina Marga 2010.

4.3.6 Perencanaan Gradasi dengan Proporsi Serbuk Ban Karet sebagai Pengganti Agregat Halus pada Saringan no.16

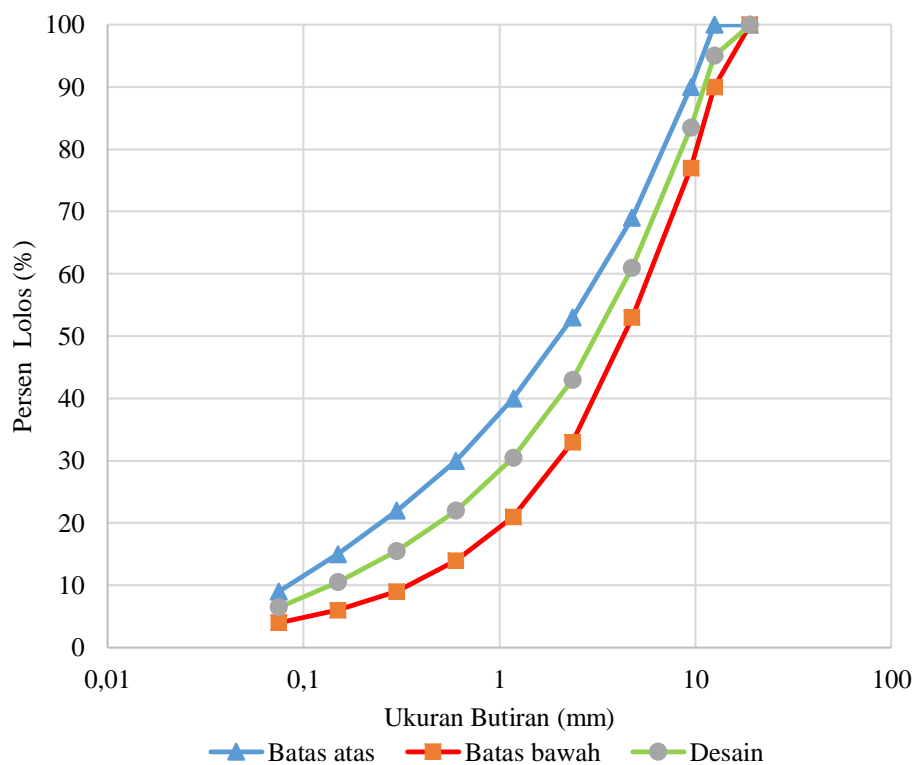
Pada penelitian ini perencanaan gradasi yang digunakan adalah proporsi serbuk ban karet pada agregat halus saringan no.16 sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berikut merupakan tabel jumlah berat pada masing-masing proporsi serbuk ban karet dan gambar grafik berdasarkan proporsi tersebut.

1. Substitusi agregat halus tertahan no.16 untuk proporsi serbuk ban karet 0%

Berikut adalah substitusi agregat pada proporsi ban karet 0% yang dapat dilihat pada Tabel 4.9 dan Gambar 4.2 di bawah ini.

Tabel 4.9 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 0%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Agregat (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Karet (gr)	Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal									
19	100	100	100,0	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	100	90	95,0	5,0	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	56,40	95,00
9,5	90	77	83,5	16,5	11,5	129,72	0,00	129,72	0,00	129,72	186,12	83,50
4,75	69	53	61,0	39,0	22,5	253,80	0,00	253,80	0,00	253,80	439,92	61,00
2,36	53	33	43,0	57,0	18,0	203,04	0,00	203,04	0,00	203,04	642,96	43,00
1,18	40	21	30,5	69,5	12,5	141,00	0,00	141,00	0,00	141,00	783,96	30,50
0,6	30	14	22,0	78,0	8,5	95,88	0,00	95,88	0,00	95,88	879,84	22,00
0,3	22	9	15,5	84,5	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	953,16	15,50
0,15	15	6	10,5	89,5	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	1009,56	10,50
0,075	9	4	6,5	93,5	4,0	45,12	0,00	45,12	0,00	45,12	1054,68	6,50
Pan				100,0	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	1128,00	0,00
					Jumlah	1128	0,00	1128	0,00	1128		

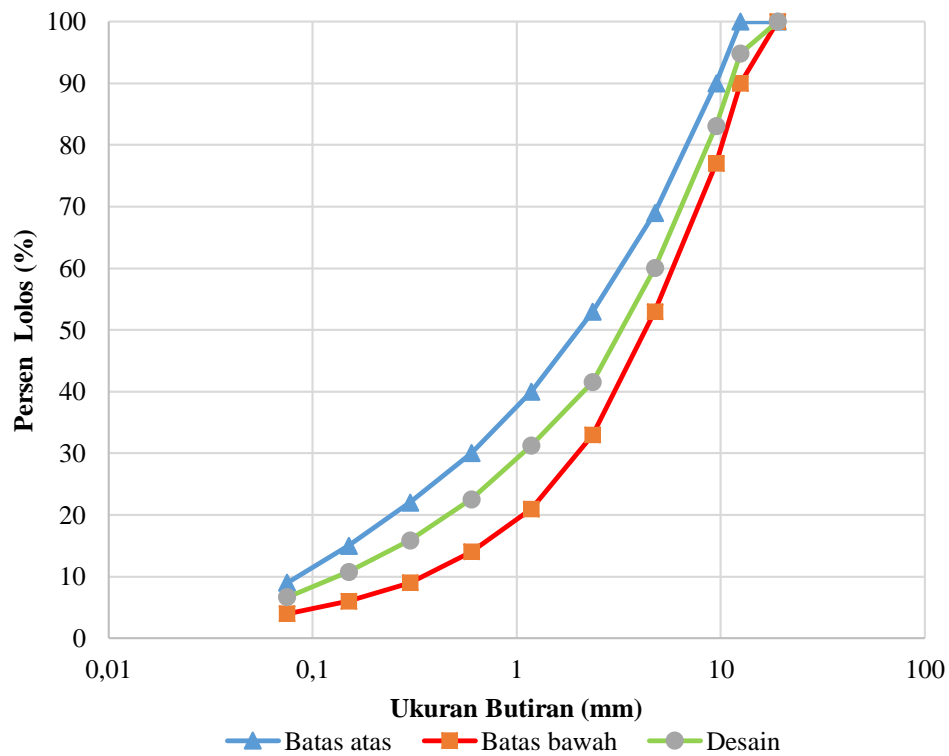


Gambar 4.2 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 0%

2. Substitusi agregat halus tertahan no.16 untuk proporsi serbuk ban karet 25%
Berikut adalah substitusi agregat halus pada proporsi serbuk ban karet 25% yang dapat dilihat pada Tabel 4.10 dan Gambar 4.3 di bawah ini.

Tabel 4.10 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 25%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Agregat (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Karet (gr)	Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Karet pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal									
19	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
12,5	100	90	95,0	5,0	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	56,40	94,87
9,5	90	77	83,5	16,5	11,5	129,72	0,00	129,72	0,00	129,72	186,12	83,09
4,75	69	53	61,0	39,0	22,5	253,80	0,00	253,80	0,00	253,80	439,92	60,02
2,36	53	33	43,0	57,0	18,0	203,04	0,00	203,04	0,00	203,04	642,96	41,57
1,18	40	21	30,5	69,5	12,5	141,00	35,25	105,75	7,65	113,40	756,36	31,26
0,6	30	14	22,0	78,0	8,5	95,88	0,00	95,88	0,00	95,88	852,24	22,55
0,3	22	9	15,5	84,5	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	925,56	15,89
0,15	15	6	10,5	89,5	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	981,96	10,76
0,075	9	4	6,5	93,5	4,0	45,12	0,00	45,12	0,00	45,12	1027,08	6,66
Pan				100	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	1100,40	0,00
					Jumlah	1128	35,25	1093	7,65	1100		

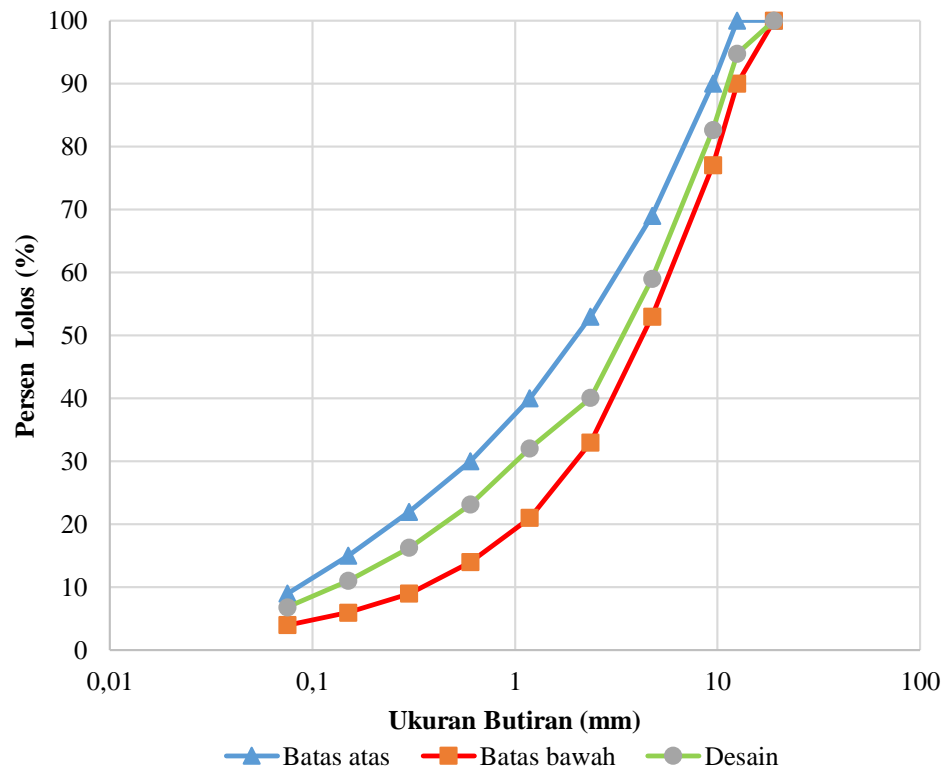


Gambar 4.3 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 25%

- Substitusi agregat halus tertahan no.16 untuk proporsi serbuk ban karet 50%
Berikut adalah substitusi agregat halus pada proporsi serbuk ban karet 50% yang dapat dilihat pada Tabel 4.11 dan Gambar 4.4 di bawah ini.

Tabel 4.11 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 50%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Agregat (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Karet (gr)	Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Karet pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal									
19	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
12,5	100	90	95,0	5,0	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	56,40	94,74
9,5	90	77	83,5	16,5	11,5	129,72	0,00	129,72	0,00	129,72	186,12	82,65
4,75	69	53	61,0	39,0	22,5	253,80	0,00	253,80	0,00	253,80	439,92	58,99
2,36	53	33	43,0	57,0	18,0	203,04	0,00	203,04	0,00	203,04	642,96	40,07
1,18	40	21	30,5	69,5	12,5	141,00	70,50	70,50	15,30	85,80	728,76	32,07
0,6	30	14	22,0	78,0	8,5	95,88	0,00	95,88	0,00	95,88	824,64	23,13
0,3	22	9	15,5	84,5	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	897,96	16,30
0,15	15	6	10,5	89,5	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	954,36	11,04
0,075	9	4	6,5	93,5	4,0	45,12	0,00	45,12	0,00	45,12	999,48	6,83
Pan				100,0	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	1072,80	0,00
					Jumlah	1128	70,50	1058	15,30	1073		

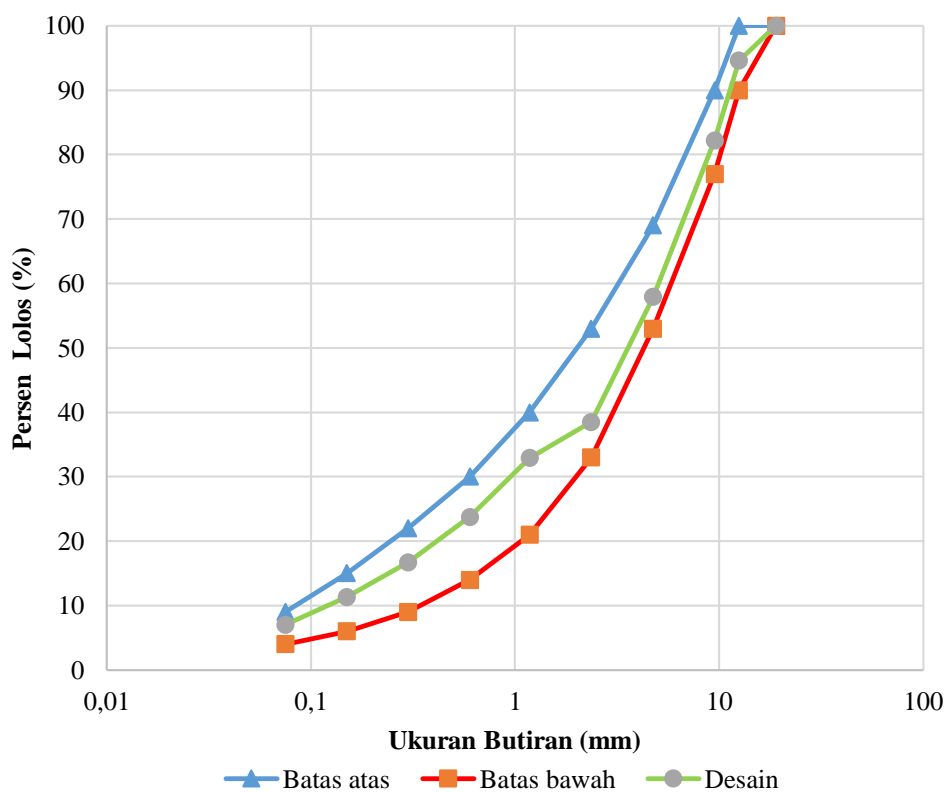


Gambar 4.4 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 50%

4. Substitusi agregat halus tertahan no.16 untuk proporsi serbuk ban karet 75%
Berikut adalah substitusi agregat halus pada proporsi serbuk ban karet 75% yang dapat dilihat pada Tabel 4.12 dan Gambar 4.5 di bawah ini.

Tabel 4.12 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 75%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Agregat (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Karet (gr)	Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Karet pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal									
19	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
12,5	100	90	95,0	5,0	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	56,40	94,60
9,5	90	77	83,5	16,5	11,5	129,72	0,00	129,72	0,00	129,72	186,12	82,19
4,75	69	53	61,0	39,0	22,5	253,80	0,00	253,80	0,00	253,80	439,92	57,91
2,36	53	33	43,0	57,0	18,0	203,04	0,00	203,04	0,00	203,04	642,96	38,48
1,18	40	21	30,5	69,5	12,5	141,00	105,75	35,25	22,95	58,20	701,16	32,92
0,6	30	14	22,0	78,0	8,5	95,88	0,00	95,88	0,00	95,88	797,04	23,74
0,3	22	9	15,5	84,5	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	870,36	16,73
0,15	15	6	10,5	89,5	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	926,76	11,33
0,075	9	4	6,5	93,5	4,0	45,12	0,00	45,12	0,00	45,12	971,88	7,01
Pan				100,0	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	1045,20	0,00
					Jumlah	1128	105,75	1022	22,95	1045		

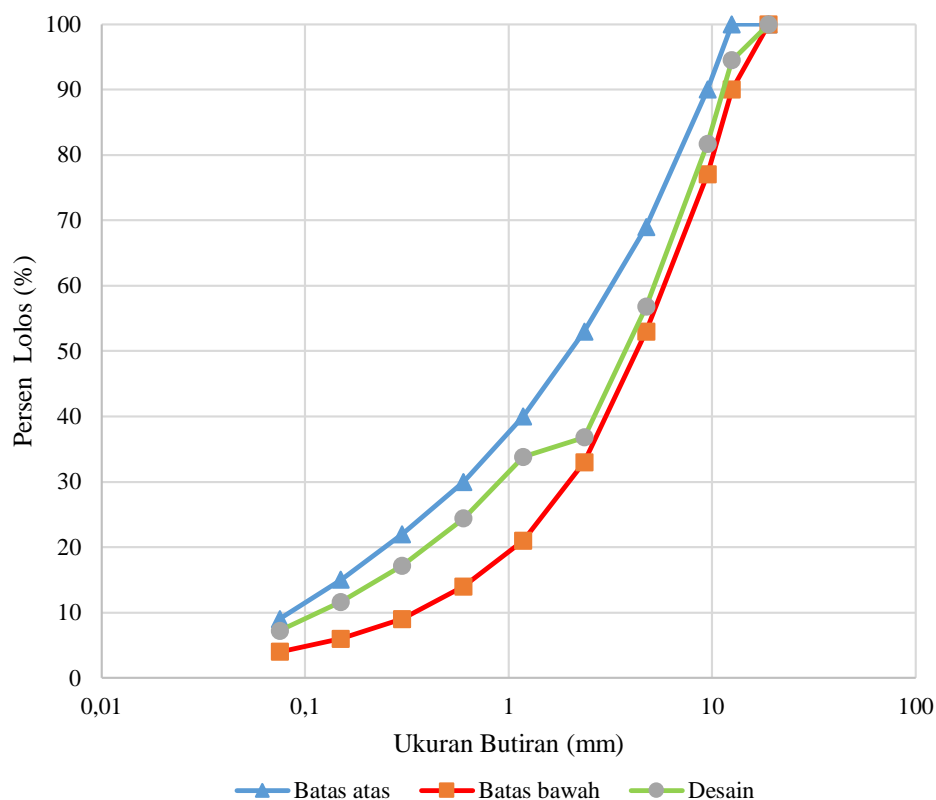


Gambar 4.5 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 75%

5. Substitusi agregat halus tertahan no.16 untuk proporsi serbuk ban karet 100%. Berikut adalah substitusi agregat halus pada proporsi serbuk ban karet 100% yang dapat dilihat pada Tabel 4.13 dan Gambar 4.6 di bawah ini.

Tabel 4.13 Hasil Perhitungan Substitusi Serbuk Ban Karet dengan Kadar 100%

Ukuran Butir (mm)	Lolos Saringan (%)			Persen Kumulatif Tertahan (%)	Persen Tertahan Agregat (%)	Berat Tertahan Total (gr)	Berat Tertahan Karet (gr)	Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Karet pada Volume Sama (gr)	Berat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Kumulatif (gr)	Kontrol lolos Total (%)
	Max	Min	Ideal									
19	100	100	100	0,0	0,0	0	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100
12,5	100	90	95,0	5,0	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	56,40	94,46
9,5	90	77	83,5	16,5	11,5	129,72	0,00	129,72	0,00	129,72	186,12	81,71
4,75	69	53	61,0	39,0	22,5	253,80	0,00	253,80	0,00	253,80	439,92	56,77
2,36	53	33	43,0	57,0	18,0	203,04	0,00	203,04	0,00	203,04	642,96	36,82
1,18	40	21	30,5	69,5	12,5	141,00	141,00	0,00	30,60	30,60	673,56	33,81
0,6	30	14	22,0	78,0	8,5	95,88	0,00	95,88	0,00	95,88	769,44	24,39
0,3	22	9	15,5	84,5	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	842,76	17,18
0,15	15	6	10,5	89,5	5,0	56,40	0,00	56,40	0,00	56,40	899,16	11,64
0,075	9	4	6,5	93,5	4,0	45,12	0,00	45,12	0,00	45,12	944,28	7,21
Pan				100,0	6,5	73,32	0,00	73,32	0,00	73,32	1017,60	0,00
					Jumlah	1128	141,00	987	30,60	1018		



Gambar 4.6 Grafik Gradasi Substitusi Serbuk Ban Karet pada Kadar 100%

4.3.7 Pengujian *Marshall*

Langkah-langkah pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Merendam benda uji ke dalam air biasa selama kira-kira 24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
2. Menimbang benda uji di dalam air.
3. Mengeringkan benda uji dengan kain lap yang lembab sampai kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*). Lalu menimbang benda uji dalam kondisi *Saturated Surface Dry*.
4. Merendam benda uji dalam bak perendam selama 30 menit sampai pada suhu $(60 \pm 1) ^\circ\text{C}$, atau dipanaskan dalam oven selama 2 jam dengan suhu tetap $(60 \pm 1) ^\circ\text{C}$.

5. Sebelum melakukan pengujian, terlebih dahulu membersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan kepala penekan (*test head*). Kemudian melumasi penekan (*test head*) agar dapat meluncur dengan bebas.
6. Mengeluarkan benda uji dari bak perendam dan meletakkannya di segmen bawah kepala penekan, kemudian memasang segmen atas di atas benda uji dan meletakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
7. Memasang arloji kelelahan (*flow meter*) pada penunjuk angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan (*breaking head*). Selama pembebanan berlangsung, tangkai arloji kelelahan ditekan pada segmen atas dari kepala penekan.
8. Menaikkan kepala penekan beserta benda ujinya sehingga menyentuh alas cincin penguji. Kemudian mengatur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
9. Pembebanan dimulai dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sehingga pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan mencatat pembebanan maksimum yang tercapai (stabilitas) serta angka pada arloji kelelahan (*flow*).
10. Melepaskan selubung tangkai arloji kelelahan (*sleeve*) pada setelah nilai kelelahan yang ditunjukkan oleh jarum arloji kelelahan dicatat.
11. Menganalisis dan membuat pembahasan.

4.3.8 Pengujian *Cantabro*

Langkah-langkah pengujian *Cantabro* adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan benda uji yang telah dibuat.
2. Menimbang benda uji untuk mendapatkan berat sebelum diabrasi.
3. Selanjutnya meletakkan benda uji ke dalam mesin *Los Angeles* tanpa bola baja.
4. Memutar mesin dengan kecepatan 30-33 *rpm* sebanyak 300 putaran.
5. Setelah selesai pemutaran, mengeluarkan benda uji dari mesin kemudian ditimbang lagi untuk mendapatkan berat benda uji setelah dilakukan pengujian abrasi.
6. Menganalisis dan membuat pembahasan.

4.3.9 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Langkah-langkah pengujian *ITS* adalah sebagai berikut ini.

1. Mempersiapkan benda uji.
2. Mengukur tebal masing-masing benda uji pada tiga sisi yang berbeda, dan mengambil tebal rata-rata, lalu menghitung koreksi tebal, serta menghitung diameter masing-masing benda uji.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian pembebanan.
4. Memasang arloji pengukur stabilitas dan kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm.
5. Melakukan pembebanan pada benda uji hingga mencapai maksimum yaitu saat arloji pembebanan berhenti dan berbalik arah. Pada saat itu dilakukan pembacaan dan pencatatan nilai dial. Mengeluarkan benda uji dari alat uji *ITS*.
6. Mendapatkan nilai dial dari hasil pengujian kemudian menganalisis dan membuat pembahasan.

4.3.10 Pengujian *Immersion Test*

Langkah-langkah pengujian *Immersion* adalah sebagai berikut.

1. Mempersiapkan benda uji.
2. Membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari *Marshall Test* dengan ban karet sebagai pengganti agregat halus dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%.
3. Menguji *Immersion Test* dengan lama perendaman 24 jam.
4. Menganalisis dan membuat pembahasan hasil-hasil dari pengujian *Immersion Test*.
5. Membuat kesimpulan berdasarkan hasil penelitian.

4.4 Analisis Data

Berikut ini adalah analisis data yang dilakukan setelah melakukan pengujian.

1. Analisis karakteristik *Marshall*

Nilai karakteristik *Marshall* didapat dengan cara menganalisis data-data yang diperoleh dari hasil percobaan laboratorium, didapatkan data sebagai berikut.

- a. Berat benda uji sebelum direndam (gram)
 - b. Berat benda uji di dalam air (gram)
 - c. Berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram)
 - d. Tebal benda uji (mm)
 - e. Pembacaan arloji stabilitas (kg)
 - f. Pembacaan arloji kelelahan *flow* (mm)
2. Nilai-nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung menggunakan rumus-rumus ini.
- a. Berat jenis aspal

$$\text{BJ Aspal} = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (4.1)$$

Keterangan:

A = Berat piknometer dengan penutup (gr)

B = Berat piknometer berisi air (gr)

C = Berat piknometer berisi aspal (gr)

D = Berat piknometer berisi aspal dan air (gr)

- b. Berat jenis agregat

$$\text{BJ Agregat} = \frac{(F1 \times A) + (F2 \times B)}{100} \quad (4.2)$$

Keterangan:

F1 = Persentase agregat kasar (%)

F2 = Persentase agregat halus (%)

A = Berat jenis agregat kasar (gr)

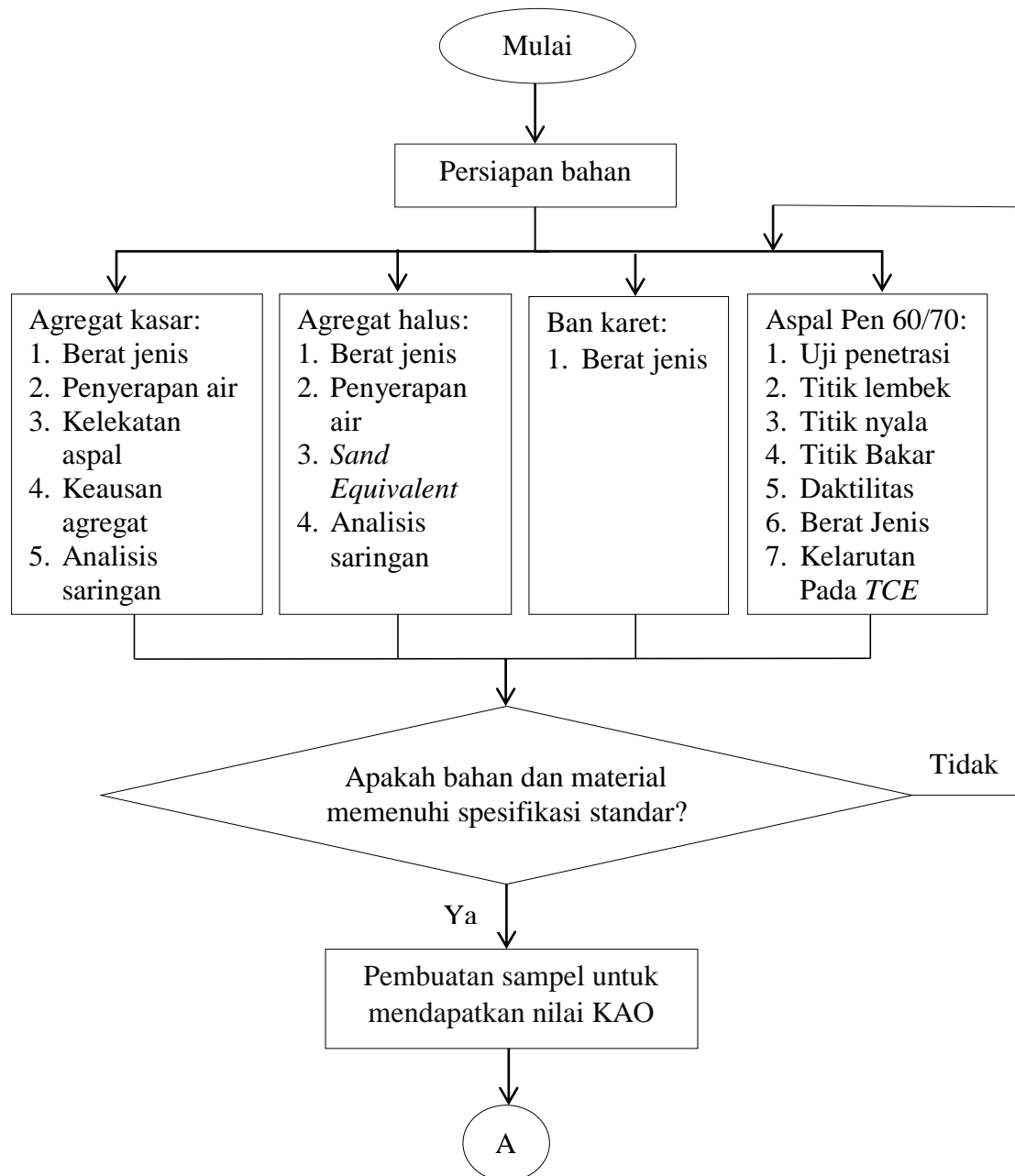
B = Berat jenis agregat halus (gr)

- c. Nilai-nilai stabilitas menggunakan Persamaan 3.2
- d. Kelelahan (*flow*), dibaca dari pembacaan arloji kelelahan

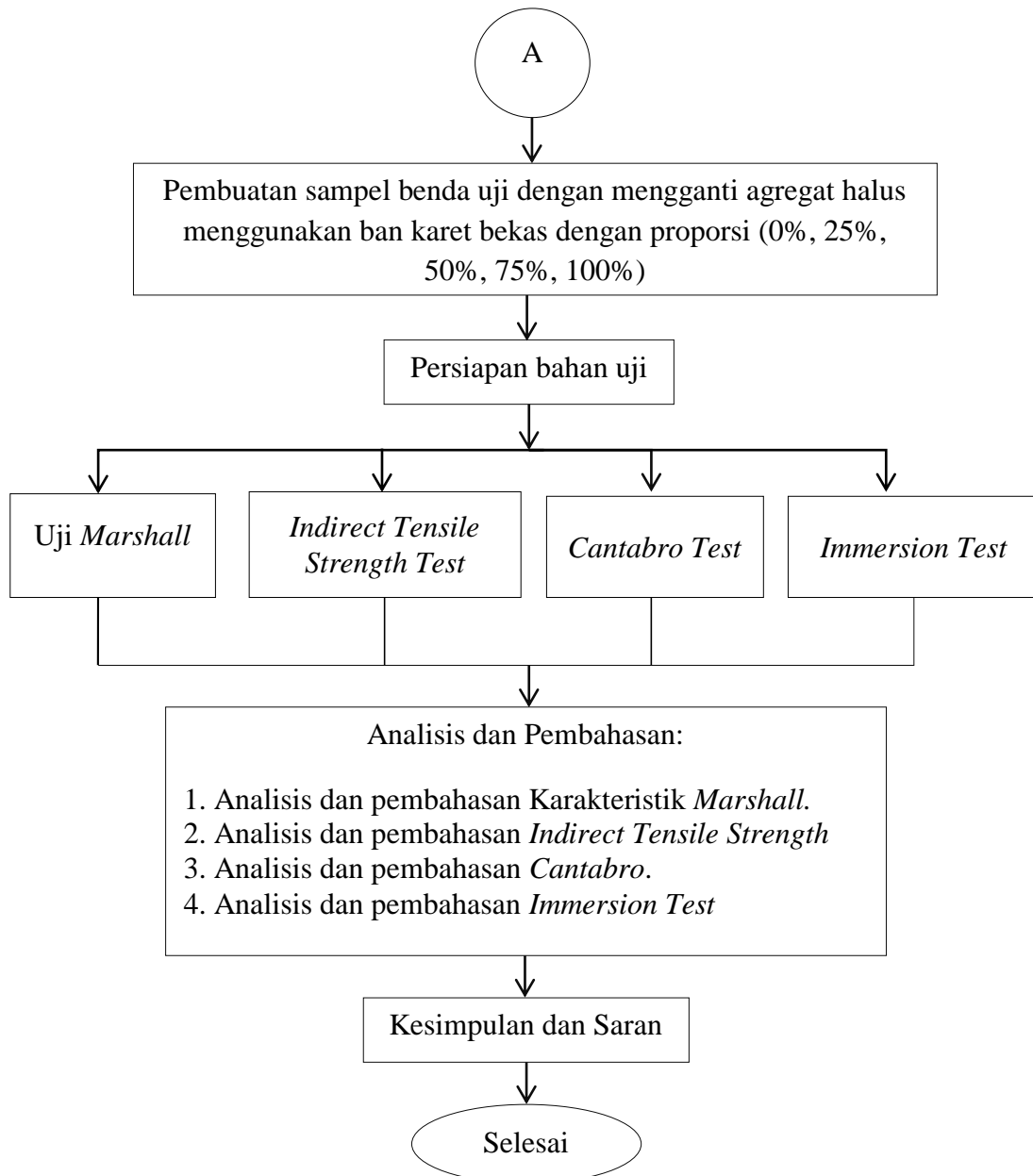
- e. *VITM (Void in Total Mix)* menggunakan Persamaan 3.4
 - f. *VMA (Void in Mineral Agregate)* menggunakan Persamaan 3.6
 - g. *VFWA (Volume of Void Filled with Asphalt)* menggunakan Persamaan 3.7
 - h. *MQ (Marshall Quotient)* menggunakan Persamaan 3.3
 - i. *Density* (kepadatan) menggunakan Persamaan 3.8
3. Analisis uji *Indirect Tensile Strength*
Indirect Tensile Strength adalah kuat tarik maksimum, yang dihitung dari puncak beban kemudian diolah menggunakan Persamaan 3.12
4. Analisis uji *Immersion Test*
Nilai *Index of Retained Strenght* diperoleh dari hasil *Immersion Test* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.10
5. Analisis uji *Cantabro*
Nilai uji *Cantabro* dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.11

4.5 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian atau *flowchart* merupakan gambaran singkat tentang tahapan-tahapan yang dilaksanakan dalam penelitian. Bagan alir dapat dilihat pada Gambar 4.7 di bawah ini.



Gambar 4.7 Bagan Alir Penelitian



Lanjutan Gambar 4.7 Bagan Alir Penelitian

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Karakteristik Material

Berdasarkan pengujian karakteristik pada material agregat meliputi pengujian agregat halus, agregat kasar, *filler*, aspal, dan serbuk ban karet. Berikut merupakan hasil pengujiannya.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

Seluruh rangkaian pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah ini, sedangkan untuk tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 9.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,7396	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	≤ 3	0,5513	Memenuhi
3	Kelekatan Aspal oleh Agregat (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agegat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	≤ 40	13,05	Memenuhi

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat kasar yang digunakan untuk pembuatan benda uji adalah sebagai berikut ini.

1. Berat jenis agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian yang dilakukan terhadap berat jenis agregat kasar Clereng adalah sebesar 2,7396. Dari hasil dari pengujian berat jenis pada

agregat Clereng ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $> 2,5$.

2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan air oleh agregat adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang mempunyai nilai penyerapan yang besar memiliki rongga dan pori yang besar, sehingga lebih banyak membutuhkan aspal. Hasil pengujian penyerapan air oleh agregat pada agregat kasar adalah sebesar 0,5515%. Nilai penyerapan agregat kasar ini memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $< 3\%$.

3. Kelekatan aspal oleh agregat

Kelekatan aspal oleh agregat adalah persentase luas permukaan suatu agregat yang terselimuti oleh aspal terhadap permukaan agregat. Hasil pengujian kelekatan aspal oleh agregat kasar Clereng menunjukkan persentase permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal sebesar 98%. Hasil ini menunjukkan bahwa kelekatan aspal oleh agregat kasar Clereng memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $\geq 95\%$.

4. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian keausan bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap penghancuran (degradasi) dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Dari pengujian keausan pada agregat kasar Clereng didapatkan hasil sebesar 13,05%. Nilai pengujian keausan pada agregat kasar Clereng ini memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu sebesar $\leq 40\%$.

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

Pengujian terhadap karakteristik agregat halus ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3. Hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.2 sebagai berikut dan tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 10.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,8306	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	≤ 3	1,4001	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	93,155	Memenuhi

Pembahasan terhadap pengujian karakteristik agregat halus Clereng yang digunakan untuk pembuatan benda uji adalah sebagai berikut.

1. Berat jenis agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat dari satuan volume dari suatu material terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis yang dilakukan pada agregat halus Clereng adalah sebesar 2,8306. Nilai hasil pengujian berat jenis dari agregat halus di atas memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 2,5$.

2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan air oleh agregat adalah tingkat atau kemampuan suatu bahan untuk menyerap air, rongga atau pori pada agregat. Agregat yang mempunyai nilai penyerapan yang besar memiliki rongga dan pori yang besar, sehingga lebih banyak membutuhkan aspal. Hasil dari pengujian penyerapan air oleh agregat halus Clereng didapatkan nilai sebesar 1,4001%. Nilai dari pengujian penyerapan air oleh agregat halus Clereng tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\leq 3\%$.

3. *Sand Equivalent*

Nilai pengujian *Sand Equivalent* pada agregat halus dapat menunjukkan tingkat kebersihan agregat halus terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya karena banyak tidaknya debu atau kotoran dalam agregat halus dapat mempengaruhi ikatan antara agregat halus dengan aspal. Hasil pengujian *Sand Equivalent* agregat halus Clereng adalah sebesar 93,155%. Nilai *Sand Equivalent* pada agregat halus Clereng tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $\geq 50\%$, ini menunjukkan bahwa agregat halus Clereng

cukup bersih dan terbebas dari kandungan debu, lumpur, atau kotoran lainnya yang dapat mengganggu kelekatan aspal oleh agregat.

5.1.3 Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

Pengujian terhadap karakteristik *filler* ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh mengacu pada persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3. Adapun hasil pengujian dapat dilihat dalam Tabel 5.3 sebagai berikut ini dan tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 8.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik *Filler*

Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
Berat Jenis	≤ 8	2,5532	Memenuhi

Hasil pengujian karakteristik *filler* yang digunakan dalam pembuatan benda uji didapat berat jenis *filler* abu batu Clereng adalah sebesar 2,5532. Nilai dari pengujian berat jenis terhadap *filler* Clereng tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu ≤ 8 .

5.1.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian karakteristik aspal ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Data yang diperoleh mengacu pada persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010, Revisi 3. Pengujian yang dilakukan menggunakan aspal Pertamina Pen 60/70. Adapun hasil pengujian aspal Pertamina Pen 60/70 dapat dilihat dalam Tabel 5.4 sebagai berikut dan tabel hasil dari pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 1 sampai Lampiran 7.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis Aspal	$\geq 1,0$	1,0152	Memenuhi
2	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	60-70	61,3	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Lembek (°C)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala (°C)	≥ 232	281	Memenuhi
6	Titik Bakar (°C)	≥ 232	293	Memenuhi
7	Kelarutan pada TCE (%)	≥ 99	99	Memenuhi

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan isi yang sama pada temperatur tertentu. Adapun hasil pengujian berat jenis pada aspal Pertamina Pen 60/70 yaitu sebesar 1,0152. Dari hasil pengujian berat jenis aspal Pertamina Pen 60/70, aspal tersebut memenuhi spesifikasi Bina marga 2010 yaitu $\geq 1,00$.

2. Penetrasi aspal

Pengujian penetrasi aspal bertujuan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada suhu tertentu. Adapun nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang diuji adalah 61,3 mm. Dari hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70, aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2010 yaitu minimal 60 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas dilakukan bertujuan untuk melihat kekuatan kohesi pada aspal. Apabila tarikan dari aspal tidak mencapai 100 cm dikhawatirkan aspal tersebut tidak mempunyai kelenturan cukup dan cenderung mudah mengalami putus atau retak. Adapun hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 menghasilkan nilai daktilitas sebesar 164 cm. Hasil dari pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala bertujuan untuk melihat pada suhu berapa aspal mulai menyala dan aspal mulai memercikkan api. Dari pengujian titik nyala yang dilakukan pada aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan nilai sebesar 281°C. Dari hasil pengujian tersebut dapat dikatakan bahwa aspal Pertamina Pen 60/70 memenuhi spesifikasi Bina marga 2010 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Titik bakar

Pengujian titik bakar aspal digunakan untuk mengetahui batas temperatur dari aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala selama ± 5 detik pada permukaan aspal. Dari pengujian titik bakar pada aspal Pertamina pen 60/70 didapatkan hasil sebesar 295°C. Dari pengujian titik bakar pada aspal Pertamina pen 60/70 tersebut telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2010 yaitu $\geq 293^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *TCE*

Pengujian kelarutan dalam *TCE* dilakukan untuk melihat apakah aspal yang digunakan banyak mengandung bahan mineral lain selain aspal atau tidak. Semakin besar persentase kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan aspal Pertamina Pen 60/70 dalam *TCE* adalah sebesar 99%. Dari pengujian kelarutan aspal Pertamina Pen 60/70 dalam *TCE* tersebut memenuhi spesifikasi Bina marga 2010 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

7. Titik lembek

Pengujian titik lembek pada aspal dilakukan untuk mengetahui batas temperatur saat aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Hasil pengujian titik lembek pada aspal Pertamina Pen 60/70 menunjukkan titik lembek sebesar 48°C. Dari hasil titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina marga 2010 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$. Aspal dengan titik lembek yang tinggi sangat cocok untuk daerah dengan kondisi cuaca panas.

5.1.5 Hasil Pengujian Berat Jenis Serbuk Ban Karet

Pengujian berat jenis pada serbuk ban karet dilakukan untuk dijadikan sebagai perbandingan volume substitusi antara serbuk ban karet dengan agregat halus yang tertahan pada saringan no.16. Serbuk ban karet yang digunakan diperoleh dari Tritunggal Jaya Jalan Magelang No.44, Tegal Domban, Margorejo, Tempel, Sleman. Berat jenis yang didapatkan ialah sebesar 0,6143 dan seluruh rangkaian pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Hasil pengujian berat jenis ban karet selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 12.

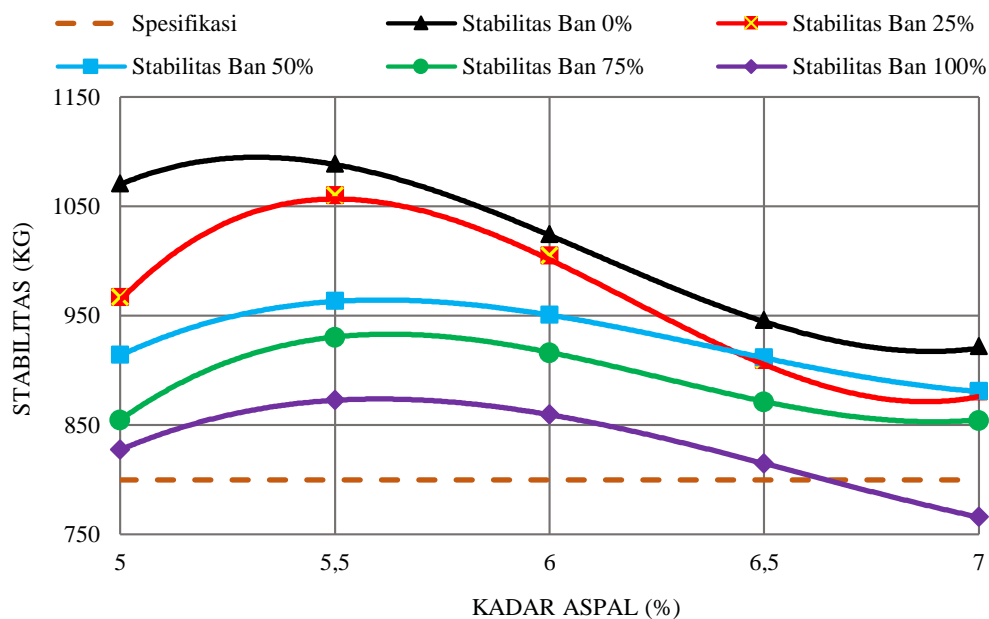
5.2 Hasil Pengujian Campuran AC-WC untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

5.2.1 Pembahasan Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Parameter untuk menentukan kadar aspal optimum pada campuran AC-WC menggunakan pengujian *Marshall*, di antaranya adalah stabilitas, *Flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient*, dan *Density*. Adapun pembahasan hasil pengujian dibuat setiap proporsi agregat halus yang disubstitusi dengan serbuk ban karet yaitu sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Berikut adalah pembahasan grafik untuk menentukan kadar aspal optimum melalui hubungan antara kadar aspal dengan parameter proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-WC.

1. Stabilitas

Stabilitas pada lapisan perkerasan jalan adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur, maupun *bleeding* sampai terjadi kekelahan plastis. Stabilitas semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal sampai mencapai kadar aspal optimum lalu akan turun seiring bertambahnya lagi kadar aspal. Berikut merupakan Gambar 5.1 yaitu grafik nilai stabilitas untuk mencari kadar aspal optimum.

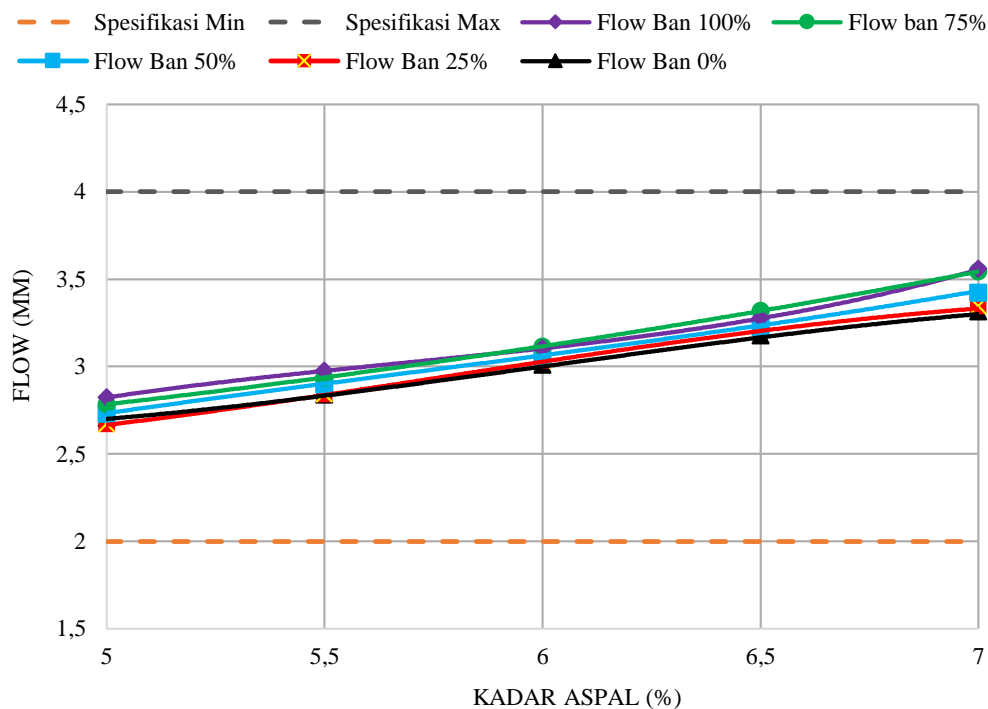


Gambar 5.1 Grafik Hubungan Antara Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.1 di atas dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari kadar 5% sampai kadar 5,5%, kemudian nilai stabilitas menurun seiring bertambahnya kadar aspal sampai kadar 7%. Hal ini terjadi dikarenakan aspal berfungsi sebagai pengikat antar agregat sampai pada kondisi optimum sehingga nilai stabilitas meningkat, setelah melewati kondisi optimum aspal fungsinya berubah menjadi pelicin antar agregat yang mengakibatkan nilai stabilitas menjadi menurun.

2. Kelelahan (*Flow*)

Flow adalah keadaan benda uji di mana benda uji mengalami perubahan bentuk pada campuran beton aspal akibat beban sampai mengalami keruntuhan. Nilai *flow* yang rendah pada campuran akan menimbulkan campuran mudah mengalami keretakan, sebaliknya nilai *flow* yang tinggi akan menimbulkan campuran mudah mengalami deformasi. Grafik nilai *flow* untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.2 berikut ini.



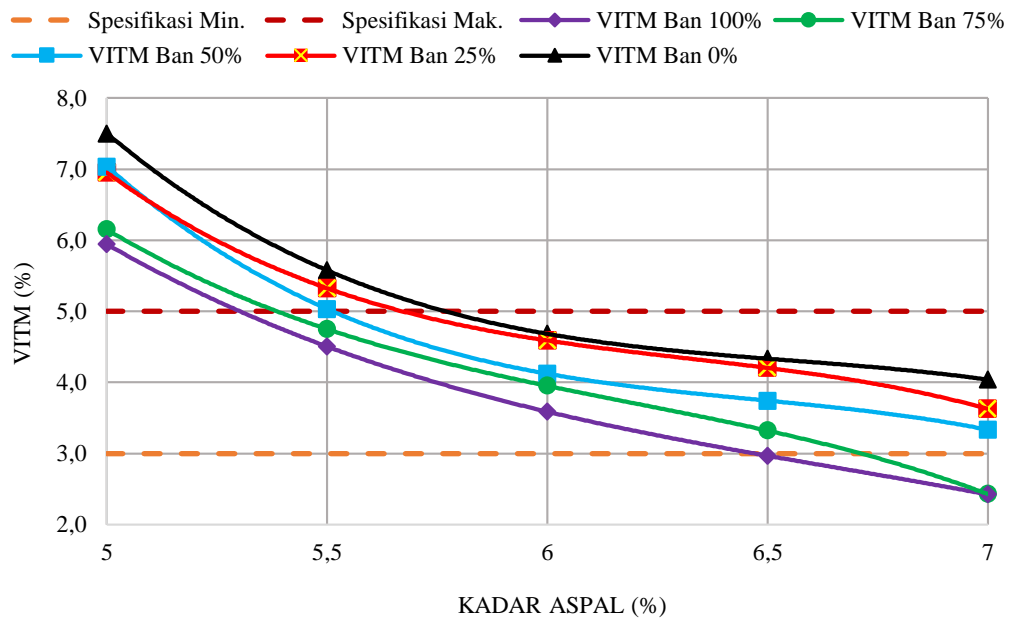
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Antara *Flow* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.2 di atas dapat dilihat bahwa nilai *flow* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari kadar aspal 5% sampai kadar aspal 7%. Nilai *flow* yang meningkat ini dikarenakan semakin meningkatnya kadar aspal menyebabkan campuran menjadi elastis sehingga mudah terjadi deformasi atau perubahan bentuk pada campuran.

3. *Void in Total Mix (VITM)*

Void in The Mix adalah persentase rongga yang ada pada campuran di mana perbandingan volume persen rongga terhadap total campuran padat yang dinyatakan dalam persen. Nilai *VITM* merupakan indikator dari durabilitas (keawetan campuran) dan juga kemungkinan *bleeding*, semakin tinggi nilai *VITM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga menyebabkan durabilitas campuran menjadi menurun dan kemungkinan

terjadinya *bleeding* menjadi besar. Grafik nilai *VITM* untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.3 berikut ini.

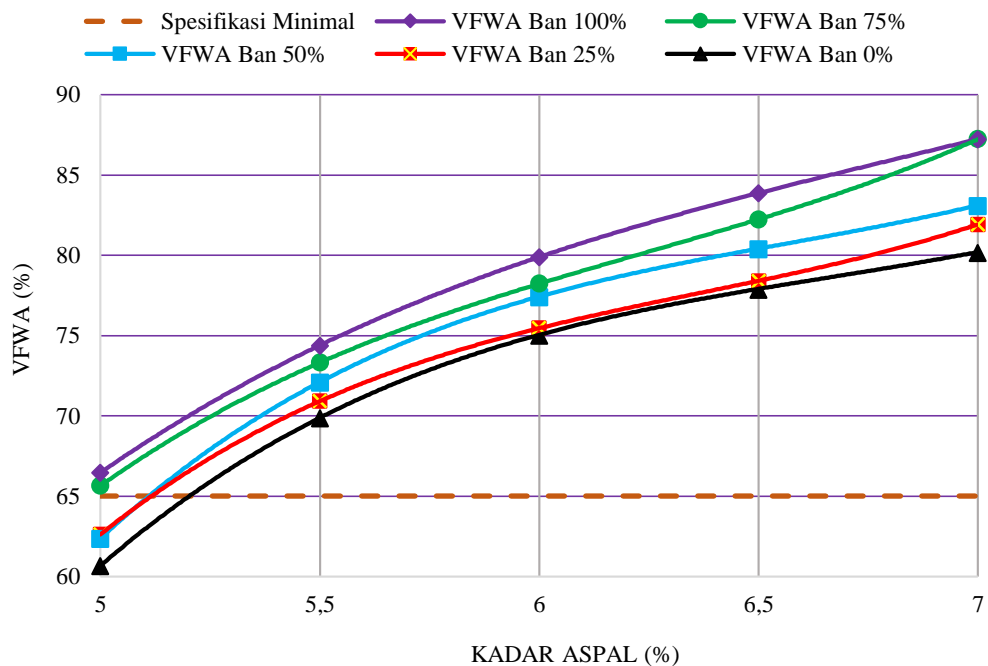


Gambar 5.3 Grafik Hubungan Antara *VITM* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.3 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VITM* pada campuran AC-WC dengan kadar aspal 5% sampai 7% dan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar aspal. Nilai *VITM* dalam campuran semakin rendah menunjukkan bahwa semakin banyak kadar aspal menyebabkan rongga dalam campuran semakin kecil sehingga campuran lebih kedap terhadap udara dan kemungkinan terjadi *bleeding* semakin kecil. Hal ini karena semakin banyak kadar aspal menyebabkan rongga-rongga yang ada pada campuran semakin terisi oleh aspal sehingga rongga-rongga pada campuran semakin berkurang. Hasil dari pengujian *VITM* pada tiap kadar aspal optimum tidak semuanya masuk dalam spesifikasi Bina Marga 2010, yaitu di antara 3-5%. Proporsi kadar aspal pada pengujian *VITM* mulai memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu antara 5,3% sampai 6,4%.

4. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void Filled with Asphalt adalah persentase rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal di mana nilainya akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal sampai batas tertentu dan rongga telah penuh (optimum) dan tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal sehingga aspal lebih kedap terhadap udara, sebaliknya semakin kecil nilai *VFWA* maka kekedapan campuran terhadap udara semakin kecil. Grafik nilai *VFWA* untuk menentukan nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut ini.

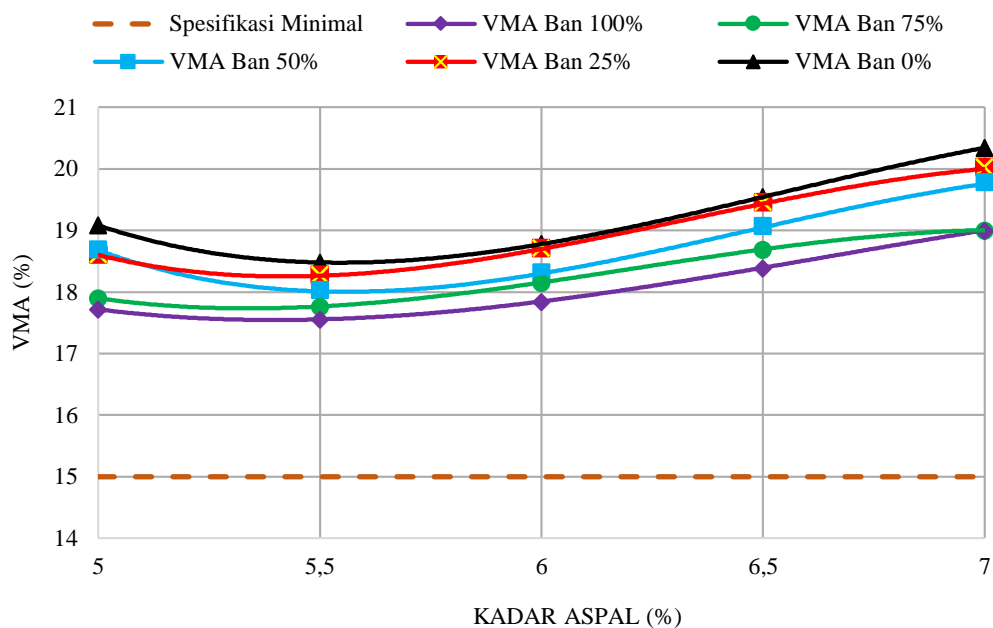


Gambar 5.4 Grafik Hubungan Antara *VFWA* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.4 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* pada campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% semakin meningkat dari kadar 5% sampai kadar 7% seiring bertambahnya kadar aspal dari kadar 5% sampai kadar 7%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *VFWA* maka campuran semakin kedap terhadap udara dikarenakan semakin banyak kadar aspal menyebabkan semakin banyak rongga udara yang terisi.

5. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate persentase ruang rongga di antara butir-butir agregat atau persen rongga terhadap agregat di dalam campuran. Semakin besar *VMA* menunjukkan semakin banyak ruang di antara butir-butir agregat akibat bertambahnya kadar aspal di dalam campuran di mana dapat menjadi indikator durabilitas pada campuran. Adapun grafik nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut ini.

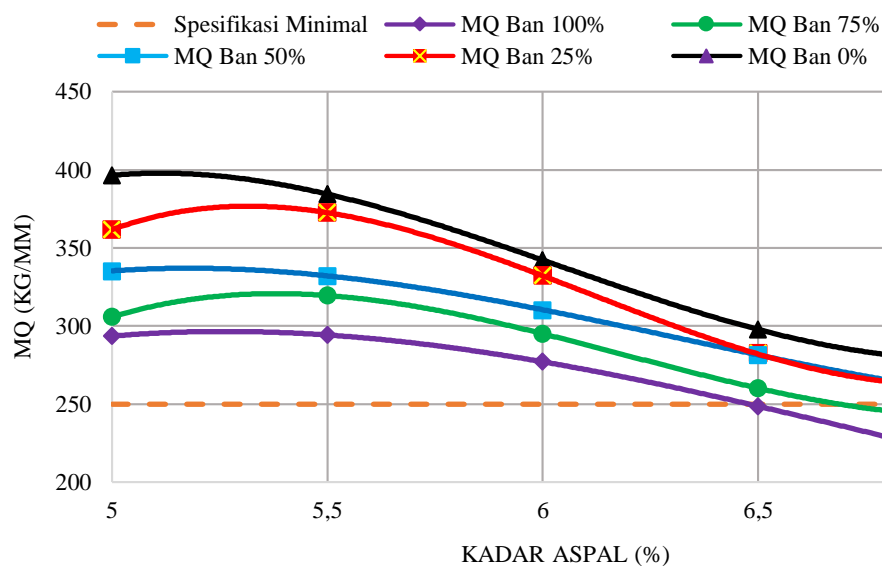


Gambar 5.5 Grafik Hubungan Antara *VMA* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 di atas dapat dilihat bahwa nilai *VMA* pada campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari kadar aspal 5% sampai kadar 5,5% dan mulai meningkat setelah mencapai batas optimum sampai kadar aspal 7%. Hal ini dikarenakan aspal berfungsi sebagai pengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori dari agregat itu sendiri, ini ditandai dengan nilai *VMA* mengalami penurunan sampai kadar optimum, kemudian nilai *VMA* semakin meningkat dikarenakan aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal seiring bertambahnya kadar aspal di dalam campuran.

6. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan nilai *Flow*. Nilai *MQ* digunakan pada perencanaan perkerasan sebagai pendekatan dari nilai fleksibilitas campuran. Fleksibilitas akan naik jika penambahan kadar aspal yang sampai pada kadar optimum dan akan turun setelah sampai pada batas optimum. Adapun grafik nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.

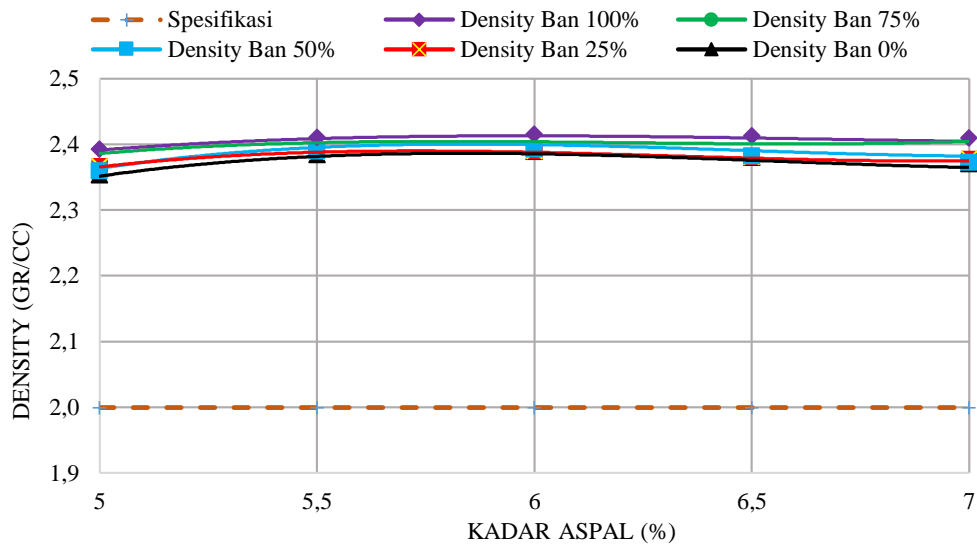


Gambar 5.6 Grafik Hubungan Antara MQ dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 di atas dapat dilihat bahwa nilai *MQ* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan dari kadar aspal 5% sampai kadar aspal 5,5% dan mulai turun setelah mencapai kadar aspal optimum sampai kadar 7%. Hal ini dikarenakan dengan bertambahnya kadar aspal sampai optimum dengan stabilitas tinggi dan kelelahan plastis (*Flow*) yang rendah menyebabkan nilai *MQ* naik, kemudian mengalami penurunan dengan bertambahnya kadar aspal setelah optimum dikarenakan dengan stabilitas yang rendah dan kelelahan plastis yang semakin tinggi menghasilkan nilai *MQ* yang rendah sehingga campuran menjadi lebih fleksibel.

7. Keapatan (*Density*)

Keapatan merupakan nilai untuk menunjukkan kepadatan dari campuran berdasarkan berat volume. Semakin tinggi kadar aspal maka kepadatan dan kerapatan dari campuran akan semakin tinggi karena aspal akan mengisi rongga dan pori dari butir-butir agregat dalam campuran sampai kadar aspal dalam keadaan optimum. Adapun grafik nilai kepadatan (*density*) dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan Antara *Density* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Ban Karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 di atas dapat dilihat bahwa nilai *Density* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% tidak mengalami perubahan yang terlalu signifikan, dari grafik nilai *Density* mengalami kenaikan dari kadar 5% sampai kadar 5,5% kemudian turun seiring bertambahnya kadar aspal sampai kadar 7%. Hal ini dikarenakan semakin besar kadar aspal maka aspal semakin mengisi rongga dan pori dalam campuran beton aspal sehingga campuran menjadi padat dan rapat sehingga nilai kepadatan semakin tinggi karena aspal berfungsi sebagai bahan pengikat. Nilai *Density* kembali menurun seiring dengan ditambahkan kadar aspal dikarenakan aspal yang awalnya menjadi bahan

pengikat berubah menjadi bahan pelicin karena aspal yang terlalu banyak sehingga menyebabkan campuran menjadi tidak padat lagi.

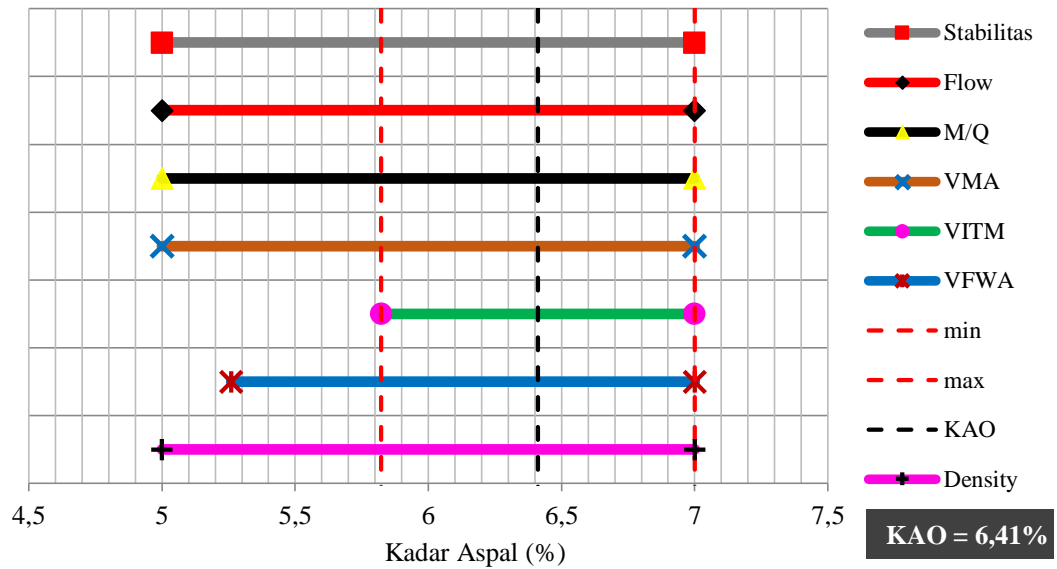
5.2.2 Data Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTSP, UII, Yogyakarta. Data yang dihasilkan dari pengujian *Marshall* untuk penentuan kadar aspal optimum adalah stabilitas (*Stability*), kelelahan (*Flow*), *VFWA* (*Void Filled with Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Agregate*), *VITM* (*Void in Total Mix*), kepadatan (*Density*) dan *MQ* (*Marshall Quotient*). Untuk data hasil dari pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.5 sampai Tabel 5.9 dan tabel hasil pengujian selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 14 sampai Lampiran 18.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 0%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	1078,77	2,60	414,91	7,43	60,92	19,02	2,353
	1101,95	2,80	393,55	7,49	60,71	19,08	2,352
	1019,86	2,70	377,73	7,53	60,60	19,10	2,351
5,5	1131,76	2,80	404,20	6,25	67,20	19,06	2,365
	1141,77	2,80	407,77	5,40	70,52	18,33	2,386
	1030,80	2,90	355,45	5,28	71,02	18,22	2,389
6	1064,44	2,90	367,05	4,87	74,27	18,94	2,381
	994,28	3,00	331,43	4,55	75,61	18,67	2,389
	953,01	3,10	307,42	4,31	76,64	18,46	2,395
6,5	966,16	3,20	301,93	4,70	76,34	19,85	2,367
	965,38	3,20	301,68	3,59	81,00	18,92	2,394
	941,58	3,10	303,73	4,92	75,46	20,03	2,361
7	887,42	3,30	268,92	3,15	83,94	19,60	2,387
	938,74	3,20	293,36	4,34	78,93	20,59	2,357
	924,63	3,40	271,95	4,58	77,98	20,79	2,351
Spesifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Berikut adalah grafik penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 0% pada campuran AC-WC. Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



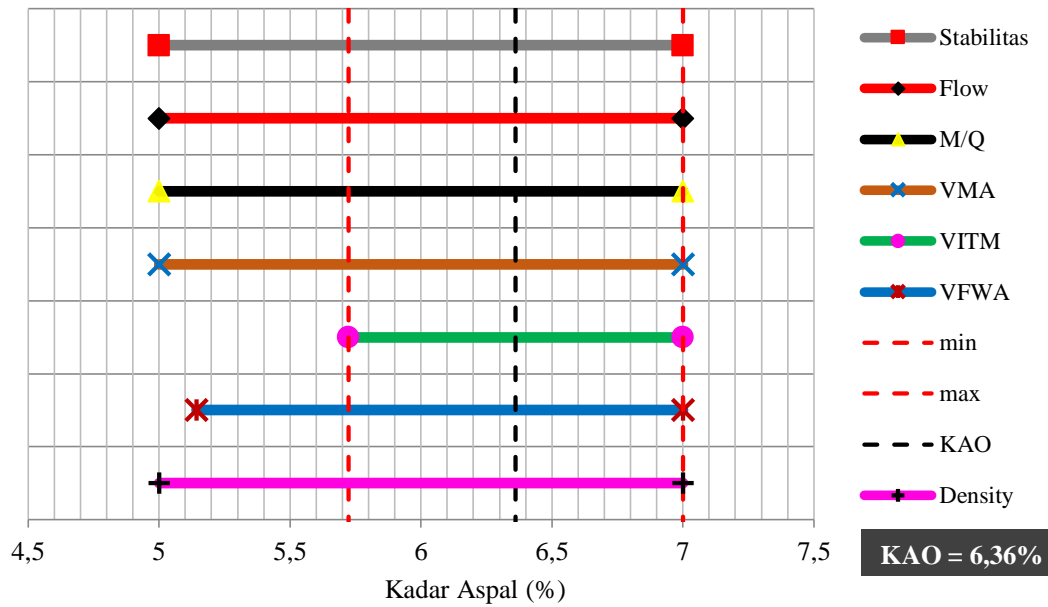
Gambar 5.8 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0% pada Campuran AC-WC

Berikut adalah tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 25% pada campuran AC-WC. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut ini.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 25%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	940,64	2,70	348,39	6,59	63,95	18,29	2,375
	976,23	2,60	375,47	7,40	61,04	18,99	2,354
	957,27	2,70	354,54	6,79	63,22	18,46	2,370
5,5	1100,99	2,80	393,21	4,86	72,80	17,86	2,400
	1097,18	2,90	378,34	5,86	68,71	18,72	2,374
	1045,40	2,80	373,36	5,55	69,92	18,46	2,382
6	1007,89	2,90	347,55	4,56	75,58	18,67	2,388
	954,93	3,10	308,04	3,92	78,37	18,13	2,404
	931,49	3,10	300,48	4,84	74,39	18,92	2,381
6,5	896,40	3,30	271,64	4,68	76,39	19,84	2,367
	979,22	3,10	315,88	3,96	79,40	19,23	2,385
	914,13	3,20	285,67	4,26	78,12	19,48	2,377
7	848,59	3,40	249,58	2,92	84,95	19,42	2,392
	853,03	3,40	250,89	4,45	78,47	20,69	2,354
	908,34	3,20	283,86	3,43	82,70	19,84	2,380
Spesifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Berikut adalah grafik penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 25% pada campuran AC-WC. Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.



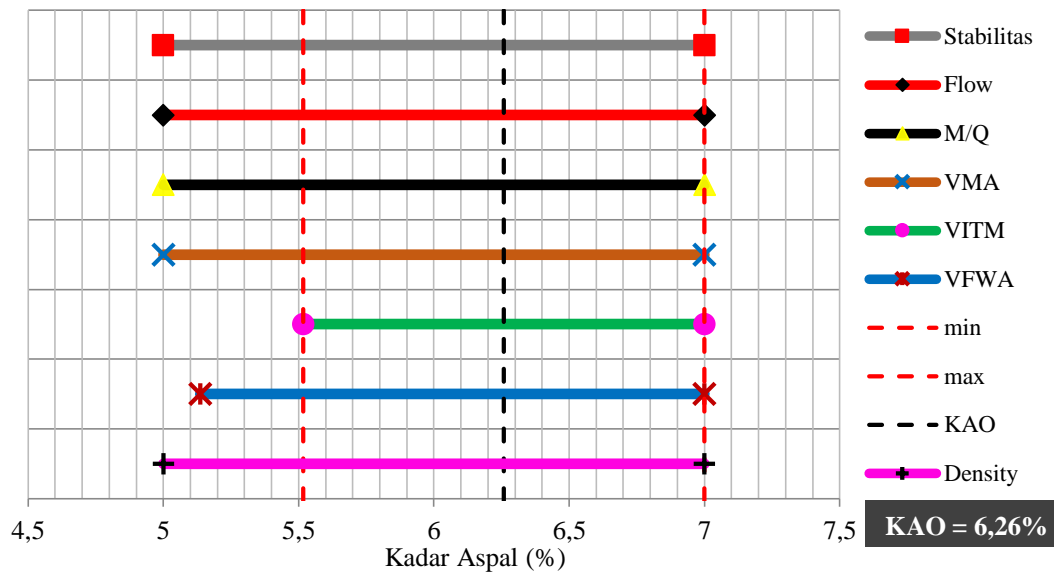
Gambar 5.9 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 25% pada Campuran AC-WC

Berikut adalah tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 50% pada campuran AC-WC. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut ini.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 50%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	922,97	2,60	354,99	7,40	61,02	19,00	2,354
	940,02	2,70	348,15	6,25	65,25	17,99	2,383
	871,50	2,90	300,52	7,50	60,68	19,08	2,351
5,5	973,52	2,80	347,69	4,49	74,38	17,54	2,409
	955,11	2,90	329,35	5,36	70,68	18,29	2,387
	986,90	3,00	328,97	5,09	71,83	18,06	2,394
6	953,26	3,10	307,50	4,00	78,02	18,20	2,402
	948,31	3,10	305,91	4,35	76,47	18,50	2,394
	910,89	3,00	303,63	4,25	76,94	18,41	2,396
6,5	949,40	3,20	296,69	4,01	79,20	19,27	2,384
	897,47	3,20	280,46	3,10	83,26	18,50	2,406
	913,83	3,30	276,92	3,97	79,36	19,24	2,385
7	879,06	3,50	251,16	3,26	83,46	19,69	2,384
	838,99	3,40	246,76	3,28	83,37	19,71	2,383
	917,43	3,40	269,83	3,51	82,38	19,90	2,378
Spesifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Berikut adalah grafik penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 50% pada campuran AC-WC. Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut ini.



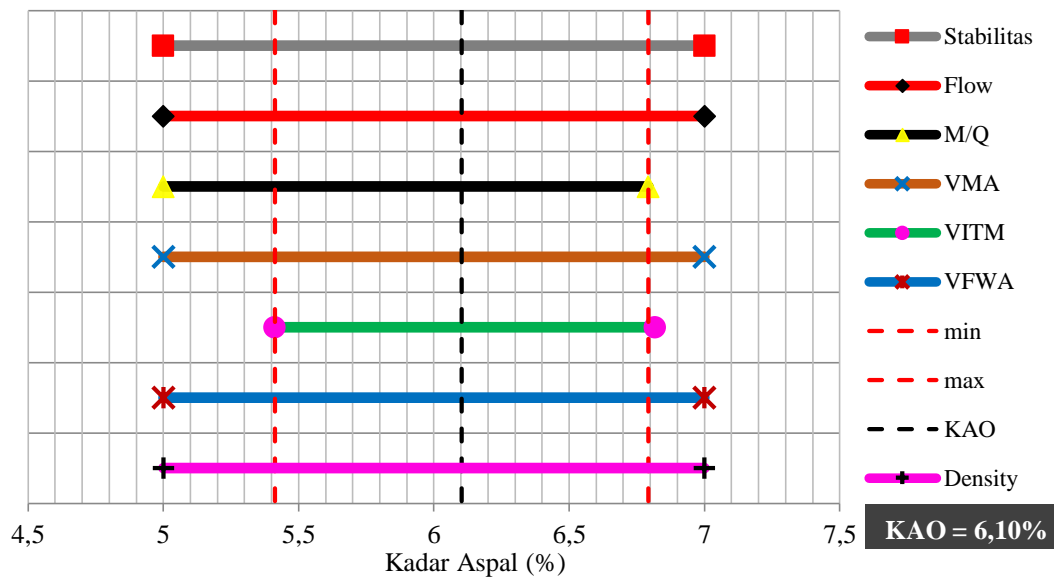
Gambar 5.10 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 50% pada Campuran AC-WC

Berikut adalah tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 75% pada campuran AC-WC. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.8 berikut ini.

Tabel 5.8 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 75%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	868,34	2,80	310,12	5,85	66,83	17,64	2,393
	851,06	2,90	293,47	6,24	65,27	17,98	2,383
	840,26	2,70	311,21	6,34	64,91	18,07	2,381
5,5	912,39	2,80	325,85	4,15	75,94	17,25	2,418
	953,70	3,00	317,90	4,98	72,28	17,96	2,397
	943,73	2,90	325,42	5,18	71,42	18,14	2,391
6	897,93	3,00	299,31	3,72	79,29	17,96	2,410
	935,26	3,30	283,41	4,11	77,54	18,29	2,400
	888,95	3,10	286,76	3,93	78,33	18,14	2,404
6,5	876,80	3,40	257,88	3,44	81,71	18,79	2,398
	906,76	3,20	283,36	3,14	83,07	18,54	2,405
	849,46	3,40	249,84	3,45	81,63	18,80	2,397
7	862,73	3,40	253,75	2,71	85,93	19,24	2,397
	848,42	3,60	235,67	2,14	88,61	18,76	2,412
	848,52	3,60	235,70	2,43	87,23	19,00	2,404
Spesifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Berikut adalah grafik penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 75% pada campuran AC-WC. Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



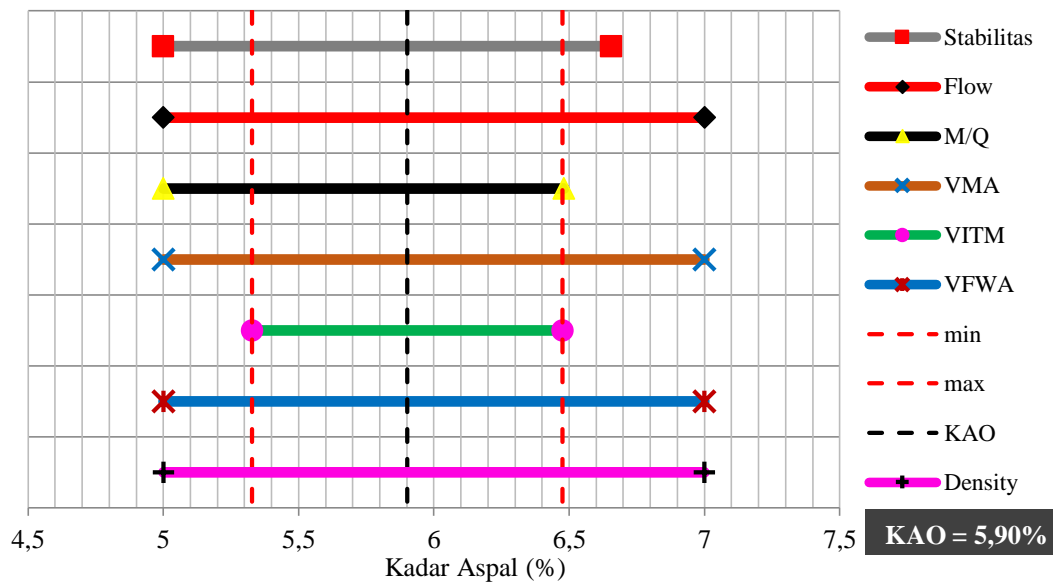
Gambar 5.11 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 75% pada Campuran AC-WC

Berikut adalah tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 100% pada campuran AC-WC. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.9 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Proporsi Ban Karet 100%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	826,66	2,80	295,24	5,62	67,75	17,44	2,399
	840,95	2,70	311,46	5,62	67,76	17,44	2,399
	813,63	3,00	271,21	6,48	64,36	18,19	2,377
5,5	872,79	2,90	300,96	4,90	72,60	17,90	2,399
	872,82	2,90	300,97	4,27	75,39	17,35	2,415
	874,88	3,00	291,63	4,74	73,31	17,76	2,403
6	890,49	3,00	296,83	3,17	81,87	17,49	2,423
	860,11	3,20	268,78	3,25	81,49	17,56	2,421
	824,04	3,30	249,71	3,75	79,16	17,98	2,409
6,5	805,47	3,20	251,71	2,96	83,92	18,38	2,410
	833,86	3,30	252,69	3,28	82,43	18,65	2,402
	807,57	3,20	252,37	3,07	83,39	18,48	2,407
7	726,13	3,50	207,47	2,35	87,60	18,94	2,406
	788,65	3,70	213,15	2,45	87,10	19,03	2,404
	781,84	3,50	223,38	2,37	87,50	18,96	2,406
Spesifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Berikut adalah grafik penentuan kadar aspal optimum dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 100% pada campuran AC-WC. Grafik kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut ini.



Gambar 5.12 Penentuan Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 100% pada Campuran AC-WC

5.2.3 Hasil Kadar Aspal Optimum Tiap Proporsi Serbuk Ban Karet pada Campuran AC-WC

Dari grafik didapatkan nilai kadar aspal optimum pada masing-masing proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil rekapitulasi nilai kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5.10 Hasil Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum

Proporsi Serbuk Ban Karet (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	6,41
25	6,36
50	6,26
75	6,10
100	5,90

Berdasarkan Tabel 5.10 di atas dapat dilihat bahwa besarnya nilai kadar aspal optimum semakin menurun seiring bertambahnya proporsi substitusi serbuk ban karet. Nilai kadar aspal optimum menurun diakibatkan permukaan dari agregat Clereng yang lebih kasar dibandingkan dengan serbuk ban karet sehingga

diperlukan kadar aspal yang lebih sedikit untuk menyelimuti agregat pada campuran AC-WC seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet.

5.2.4 Kebutuhan Agregat Campuran AC-WC dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Kebutuhan agregat dan serbuk ban karet pada campuran AC-WC dengan kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.16 di bawah ini.

Tabel 5.11 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 0%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)		Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min			
3/4	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2	100	90	56,15	0,00	56,15
3/8	90	77	129,15	0,00	129,15
No.4	69	53	252,69	0,00	252,69
No.8	53	33	202,15	0,00	202,15
No.16	40	21	140,39	0,00	140,39
No.30	30	14	95,46	0,00	95,46
No.50	22	9	73,00	0,00	73,00
No.100	15	6	56,15	0,00	56,15
No.200	9	4	44,92	0,00	44,92
Pan			73,00	0,00	73,00
Jumlah			1123,08	0,00	1123,08

Tabel 5.12 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 25%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)		Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min			
3/4	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2	100	90	56,18	0,00	56,18
3/8	90	77	129,22	0,00	129,22
No.4	69	53	252,83	0,00	252,83
No.8	53	33	202,26	0,00	202,26
No.16	40	21	105,35	7,62	112,97
No.30	30	14	95,51	0,00	95,51
No.50	22	9	73,04	0,00	73,04
No.100	15	6	56,18	0,00	56,18
No.200	9	4	44,95	0,00	44,95
Pan			73,04	0,00	73,04
Jumlah			1088,57	7,62	1096,19

Tabel 5.13 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 50%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)		Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Berat Tertahan (gr)
	Max	Min			
3/4	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2	100	90	56,24	0,00	56,24
3/8	90	77	129,36	0,00	129,36
No.4	69	53	253,10	0,00	253,10
No.8	53	33	202,48	0,00	202,48
No.16	40	21	70,31	15,26	85,56
No.30	30	14	95,61	0,00	95,61
No.50	22	9	73,12	0,00	73,12
No.100	15	6	56,24	0,00	56,24
No.200	9	4	45,00	0,00	45,00
Pan			73,12	0,00	73,12
Jumlah			1054,58	15,26	1069,83

Tabel 5.14 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 75%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)		Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Berat Tertahan (gr)
	Max	Min			
3/4	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2	100	90	56,34	0,00	56,34
3/8	90	77	129,58	0,00	129,58
No.4	69	53	253,53	0,00	253,53
No.8	53	33	202,82	0,00	202,82
No.16	40	21	35,21	22,93	58,14
No.30	30	14	95,78	0,00	95,78
No.50	22	9	73,24	0,00	73,24
No.100	15	6	56,34	0,00	56,34
No.200	9	4	45,07	0,00	45,07
Pan			73,24	0,00	73,24
Jumlah			1021,16	22,93	1044,09

Tabel 5.15 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 100%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)		Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Berat Tertahan (gr)
	Max	Min			
3/4	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2	100	90	56,46	0,00	56,46
3/8	90	77	129,86	0,00	129,86
No.4	69	53	254,07	0,00	254,07
No.8	53	33	203,26	0,00	203,26
No.16	40	21	0,00	30,63	30,63
No.30	30	14	95,98	0,00	95,98
No.50	22	9	73,40	0,00	73,40
No.100	15	6	56,46	0,00	56,46
No.200	9	4	45,17	0,00	45,17
Pan			73,40	0,00	73,40
Jumlah			988,05	30,63	1018,68

Metode dalam substitusi serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus no.16 dalam campuran AC-WC yang digunakan adalah dengan membandingkan

nilai berat jenis serbuk ban karet dengan berat jenis agregat halus no.16 lalu dikalikan dengan berat total agregat dalam campuran AC-WC sehingga didapatkan nilai pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.15.

5.3 Hasil Pengujian Campuran AC-WC pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil dari pengujian campuran AC-WC dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dengan pengujian *Marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength*, pengujian *Immersion* 24 jam, dan pengujian *Cantabro* dapat dilihat pada Tabel 5.16 sampai Tabel 5.19.

5.3.1 Hasil Pengujian dan Pembahasan *Marshall* Campuran AC-WC dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

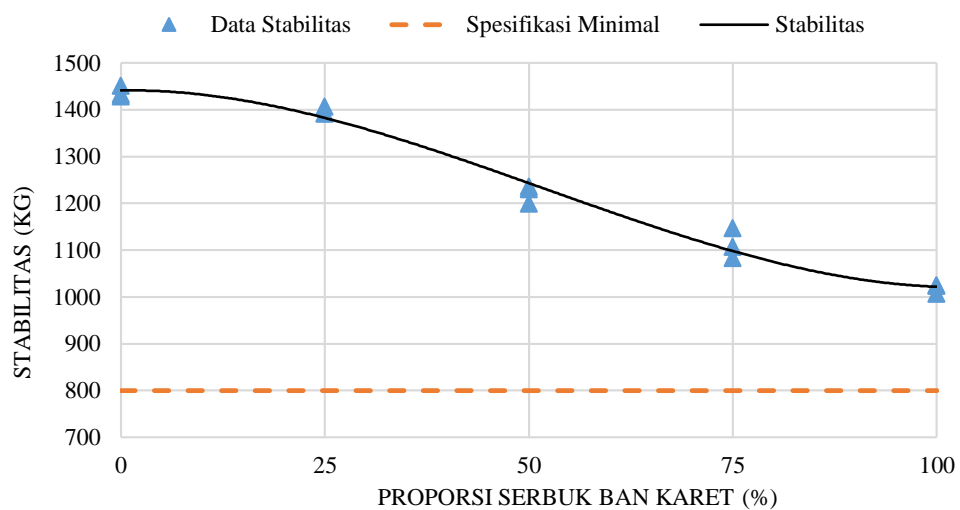
Adapun hasil pengujian *Marshall* campuran AC-WC dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.16 di bawah ini, tabel selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 19.

Tabel 5.16 Hasil Pengujian *Marshall* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Ban Karet (%)	Stabilitas (Kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	1433,24	2,70	530,83	4,31	77,70	19,33	2,379
	1428,39	2,70	529,03	4,34	77,56	19,36	2,379
	1451,77	2,80	518,49	4,33	77,63	19,35	2,379
25	1407,04	3,00	469,01	4,10	78,46	19,05	2,386
	1391,86	3,00	463,95	4,21	77,99	19,15	2,384
	1392,42	3,10	449,17	4,26	77,79	19,19	2,383
50	1235,49	3,20	386,09	4,01	78,61	18,76	2,392
	1199,79	3,30	363,57	4,15	78,00	18,88	2,389
	1230,12	3,10	396,81	4,02	78,60	18,77	2,392
75	1082,83	3,30	328,13	3,78	79,28	18,22	2,404
	1147,14	3,50	327,75	3,43	80,86	17,93	2,413
	1107,53	3,30	335,62	3,51	80,51	17,99	2,411
100	1006,51	3,50	287,58	3,44	80,39	17,52	2,420
	1024,69	3,60	284,64	3,33	80,89	17,43	2,423
	1023,25	3,60	284,24	3,30	81,05	17,41	2,423
Speksifikasi	800	> 2-4	> 250	> 3-5	> 65	> 15	> 2

Dari Tabel 5.16 di atas kemudian dibuat grafik hubungan antara proporsi serbuk ban karet terhadap karakteristik pengujian *Mashall* yaitu adalah stabilitas, *Flow*, *VITM*, *VMA*, *VFWA*, *Marshall Quotient* dan *Density* pada kadar aspal optimum. Berikut adalah pembahasan grafik hubungan antara karakteristik pengujian *Mashall* dengan proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-WC*.

1. Stabilitas

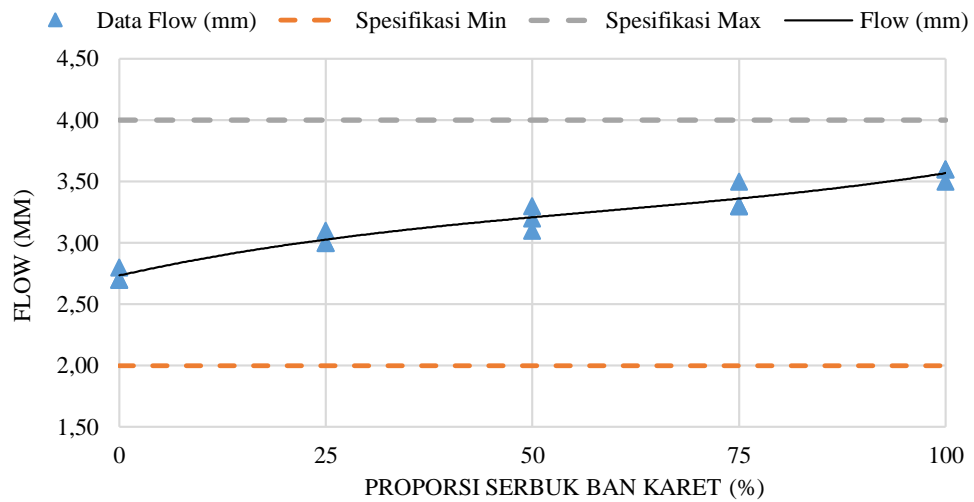


Gambar 5.13 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa nilai stabilitas pada campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% tetapi masih di atas spesifikasi campuran *AC-WC*. Penurunan pada stabilitas seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet ini dikarenakan sifat dari ban karet yang elastis sehingga menyebabkan campuran menjadi tidak kaku dan mudah mengalami perubahan bentuk sehingga menyebabkan stabilitas menjadi turun. Selain itu penurunan stabilitas dari campuran tersebut disebabkan karena *interlocking* yang kurang antara agregat dan ban karet karena sifat ban karet yang elastis dan mudah

mengalami perubahan bentuk sehingga agregat dalam campuran tidak saling mengunci dengan baik.

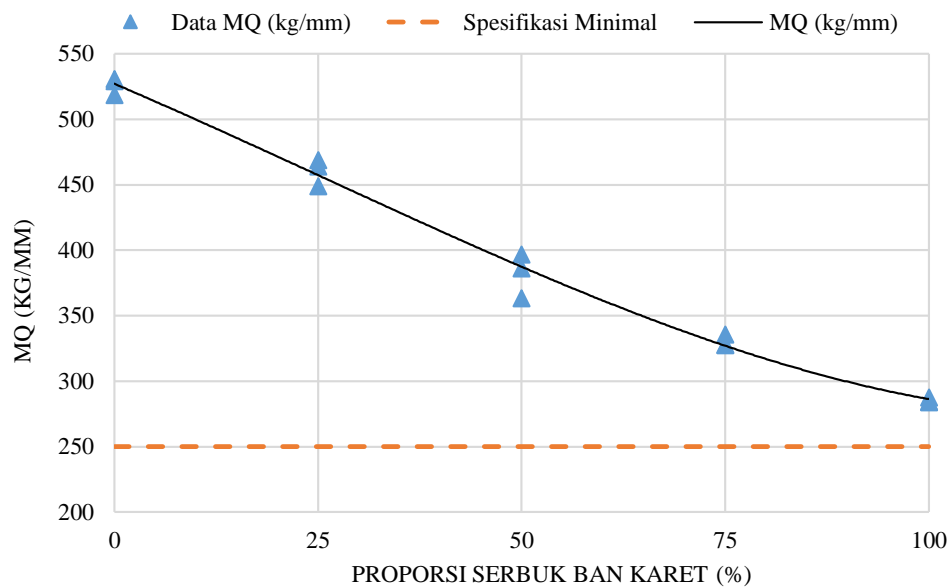
2. *Flow* (Kelelehan)



Gambar 5.14 Grafik Hubungan *Flow* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

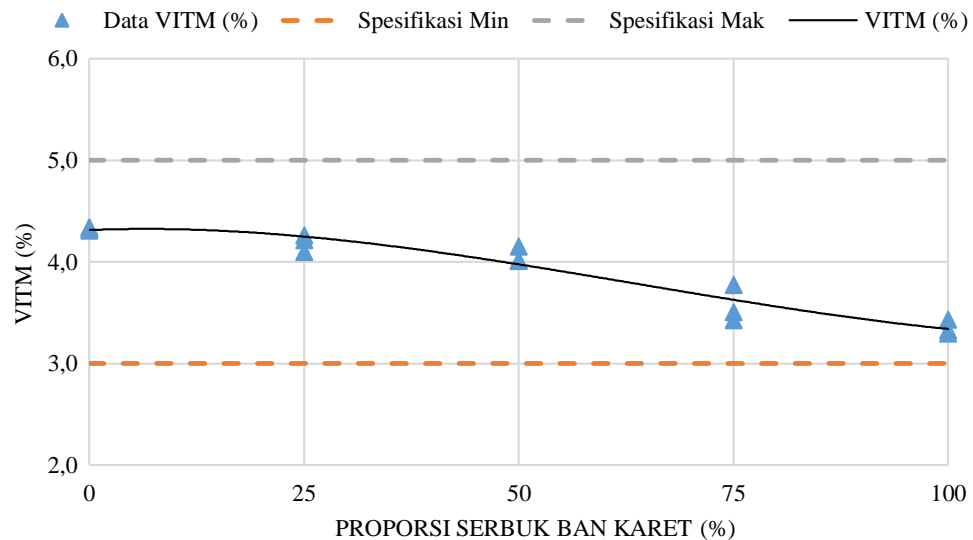
Berdasarkan Gambar 5.14 dapat diketahui bahwa nilai *flow* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% dan masih berada di batas spesifikasi campuran AC-WC. Kenaikan pada *flow* seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet adalah karena dengan bertambahnya serbuk ban karet menyebabkan campuran menjadi semakin elastis, hal ini karena serbuk ban karet memiliki sifat elastis sehingga campuran mudah mengalami deformasi yang terjadi akibat beban dan menyebabkan nilai *flow* menjadi semakin tinggi seiring bertambahnya serbuk ban karet.

3. *Marshall Quotient*



Gambar 5.15 Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

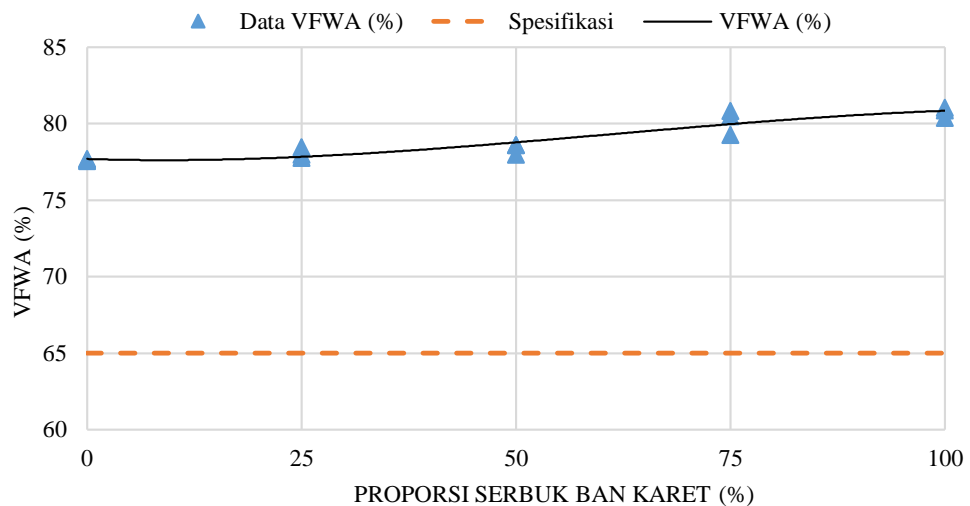
Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% tetapi masih berada di atas spesifikasi campuran AC-WC. Nilai *MQ* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet, ini menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki nilai stabilitas rendah dengan tingkat kelelahan tinggi yang dapat mengakibatkan campuran aspal menjadi sangat plastis dan mudah mengalami deformasi karena adanya ban karet yang memiliki sifat elastis.

4. *Void in Total Mix (VITM)*

Gambar 5.16 Grafik Hubungan *VITM* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa nilai *VITM* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% dan masih berada di batas spesifikasi campuran AC-WC. Nilai *VITM* mengalami penurunan karena permukaan dari agregat Clereng yang lebih kasar dibandingkan dengan permukaan serbuk ban karet sehingga aspal yang menyelimuti agregat menjadi lebih banyak dan menyebabkan rongga-rongga pada agregat semakin terisi sehingga campuran menjadi semakin rapat. Ini menunjukkan bahwa campuran dengan serbuk ban karet lebih kedap terhadap udara dan air.

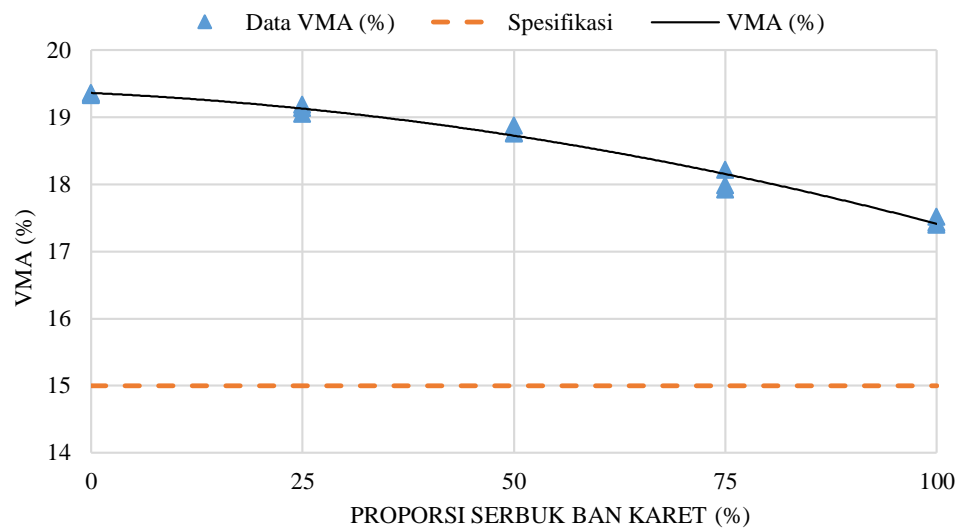
5. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*



Gambar 5.17 Grafik Hubungan VFWA dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat diketahui bahwa nilai *VFWA* pada campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% dan berada di atas spesifikasi campuran *AC-WC*. Nilai *VFWA* mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya proporsi serbuk ban karet, hal ini menunjukkan bahwa semakin besar nilai *VFWA* maka campuran semakin kedap terhadap udara dikarenakan penyerapan air oleh agregat Clereng yang lebih besar serta permukaan yang lebih kasar dibandingkan dengan serbuk ban karet sehingga semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal yang menyebabkan nilai *VFWA* semakin meningkat.

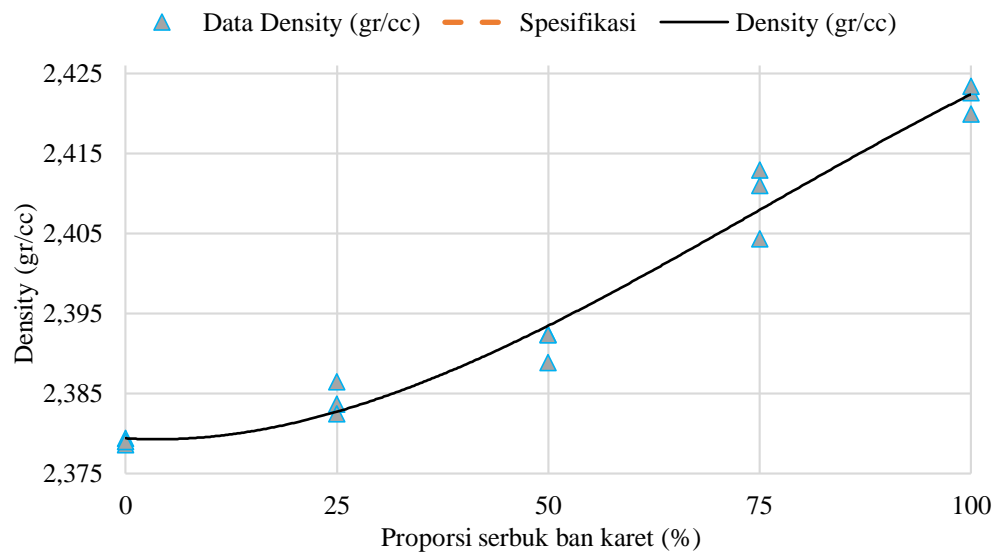
6. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*



Gambar 5.18 Grafik Hubungan VMA dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.18 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* pada campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% tetapi masih berada di atas spesifikasi campuran *AC-WC*. Nilai *VMA* turun seiring dengan bertambahnya proporsi serbuk ban karet, hal ini dikarenakan karena permukaan dari agregat Clereng yang lebih kasar serta penyerapannya yang lebih besar dibandingkan dengan serbuk ban karet maka aspal yang mengisi rongga dan pori-pori antar agregat Clereng lebih banyak dibandingkan serbuk ban karet dan juga permukaan agregat Clereng lebih banyak aspal yang menyelimuti. Ini ditandai dengan nilai *VMA* mengalami penurunan seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet yang membuat campuran menjadi lebih rapat sehingga rongga antar agregat semakin kecil. Ini menunjukkan bahwa campuran dengan serbuk ban karet lebih kedap terhadap udara dan air.

7. *Density* (Kepadatan)



Gambar 5.19 Grafik Hubungan *Density* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui bahwa nilai *Density* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100% dan berada di atas spesifikasi campuran AC-WC. Hal ini dikarenakan permukaan serbuk ban karet yang lebih halus dibandingkan dengan agregat Clereng sehingga aspal semakin mengisi rongga dan pori dalam campuran beton aspal seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet membuat campuran menjadi padat dan rapat sehingga mengakibatkan nilai kepadatan semakin tinggi.

5.3.2 Hasil Pengujian dan Pembahasan *Immersion Test* Campuran AC-WC dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

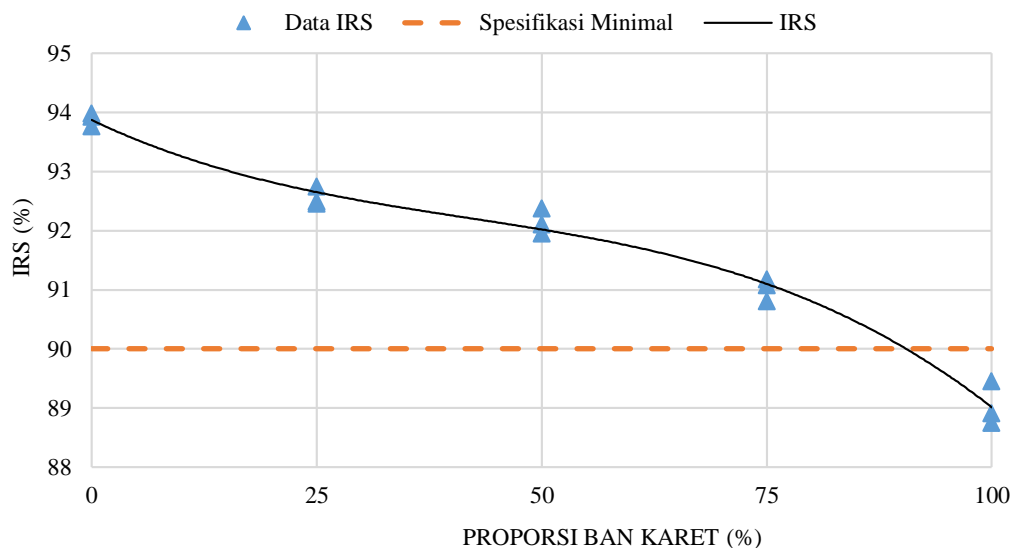
Immersion Test atau uji perendaman *Marshall* bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat pengaruh air, suhu, dan cuaca. Pengujian ini prinsipnya sama dengan pengujian *Marshall* standar, hanya waktu perendaman di dalam *waterbath* yang berbeda. Dalam pengujian ini dilakukan perendaman di *waterbath* selama 24 jam. Adapun hasil pengujian *Immersion Test* campuran AC-WC dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat

dilihat pada Tabel 5.17 di bawah ini, dan untuk tabel selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 20.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Serbuk Ban Karet %	Stabilitas 0,5 jam (Kg)	Stabilitas 24 jam (Kg)	Nilai IRS (%)
0	1433,24	1343,86	93,7635
	1428,39	1341,72	93,9328
	1451,68	1364,28	93,9794
25	1407,04	1305,04	92,7511
	1391,86	1286,91	92,4600
	1392,42	1287,96	92,4981
50	1235,49	1141,27	92,3735
	1199,79	1103,29	91,9572
	1230,08	1132,93	92,1025
75	1082,83	986,19	91,0756
	1147,14	1041,66	90,8054
	1107,30	1009,56	91,1732
100	1006,51	893,24	88,7462
	1024,69	911,05	88,9093
	1023,21	915,26	89,4506

Dari Tabel 5.17 di atas kemudian dibuat grafik hubungan antara proporsi serbuk ban karet terhadap pengujian *Immersion* pada kadar aspal optimum. Berdasarkan Bina Marga 2010 nilai *IRS* minimal adalah 90%. Nilai *IRS* dihitung dengan cara membandingkan nilai stabilitas perendaman selama 24 jam dengan stabilitas perendaman 0,5 jam. Berikut adalah pembahasan grafik hubungan antara uji *Immersion* dengan proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-WC.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan *Immersion* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa nilai *Immersion* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet dari proporsi 0% sampai proporsi 100%. Nilai *IRS* mengalami penurunan dikarenakan kurangnya adhesi pada campuran AC-WC yang disebabkan karena campuran yang direndam lebih lama dan dengan perubahan temperatur yang tinggi sehingga menghasilkan ikatan pada campuran yang kurang baik dan membuat nilai stabilitas perendaman selama 24 jam lebih kecil dibandingkan dengan stabilitas perendaman 0,5 jam. Selain itu permukaan dari serbuk ban karet yang lebih halus menyebabkan kurangnya kohesi pada campuran AC-WC sehingga ketika terkena air aspal yang menyelimuti menjadi mudah lepas yang menyebabkan nilai *IRS* jadi menurun. Dari hasil penelitian *IRS* untuk proporsi serbuk ban karet 100% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 yaitu $IRS > 90\%$.

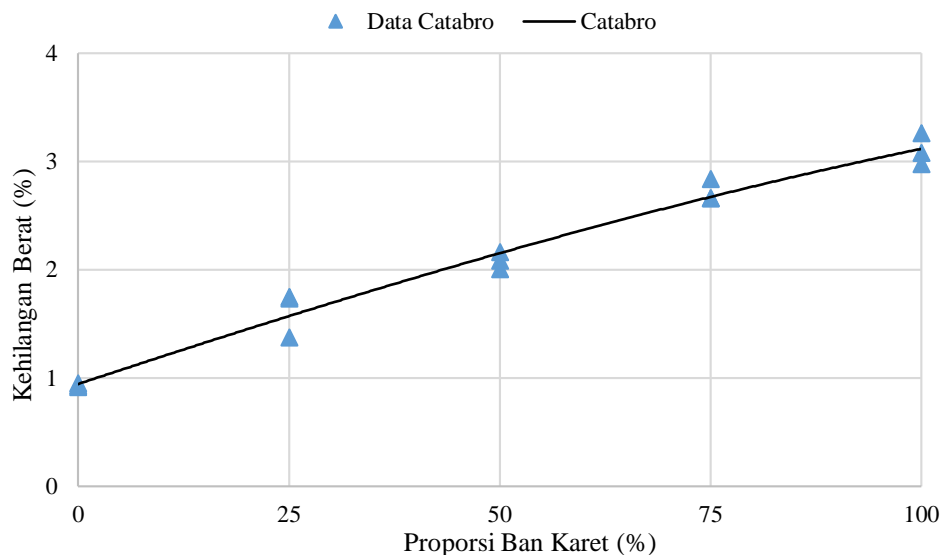
5.3.3 Hasil Pengujian dan Pembahasan *Cantabro* Campuran AC-WC dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil pengujian *Cantabro* campuran AC-WC dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.18 di bawah ini, untuk tabel selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 22.

Tabel 5.18 Hasil Pengujian *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Ban Karet (%)	Sampel Benda Uji	Berat Benda Uji (gr)		Kehilangan Berat (gr)	Kehilangan Berat (%)
		mi 1	mi 2	(mi 1-mi 2)	Lo
0	1	1181,13	1169,9	11,23	0,9508
	2	1180,14	1169,34	10,8	0,9151
	3	1180,63	1169,62	11,01	0,9326
25	1	1145,48	1129,05	16,43	1,4343
	2	1148,15	1128,06	20,09	1,7498
	3	1146,81	1126,95	19,86	1,7318
50	1	1123,02	1100,49	22,53	2,0062
	2	1121,79	1097,54	24,25	2,1617
	3	1122,41	1099,02	23,39	2,0839
75	1	1093,49	1062,45	31,04	2,8386
	2	1095,81	1066,65	29,16	2,6610
	3	1094,65	1065,54	29,11	2,6593
100	1	1069,36	1036,42	32,94	3,0803
	2	1064,93	1033,23	31,7	2,9767
	3	1067,15	1032,33	34,82	3,2629

Dari Tabel 5.18 di atas kemudian dibuat grafik hubungan antara proporsi serbuk ban karet terhadap kehilangan berat setelah dilakukan uji *Cantabro* pada kadar aspal optimum. Berikut adalah Gambar 5.21 yaitu pembahasan grafik hubungan antara kehilangan berat setelah dilakukan uji *Cantabro* dengan proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-WC.



Gambar 5.21 Grafik Hubungan Kehilangan Berat dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui bahwa nilai kehilangan berat pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami kenaikan seiring dengan bertambahnya serbuk ban karet dari proporsi 0% sampai proporsi 100%. Nilai dari *Cantabro* semakin naik dikarenakan permukaan serbuk ban karet lebih halus dibandingkan dengan agregat Clereng dan juga karet menjadi lunak ketika terkena panas yang tinggi saat proses pencampuran dengan aspal sehingga semakin banyak serbuk ban karet dalam campuran AC-WC menyebabkan *disintegrasi* antar butiran agregat sehingga mudah mengalami kehilangan berat akibat abrasi.

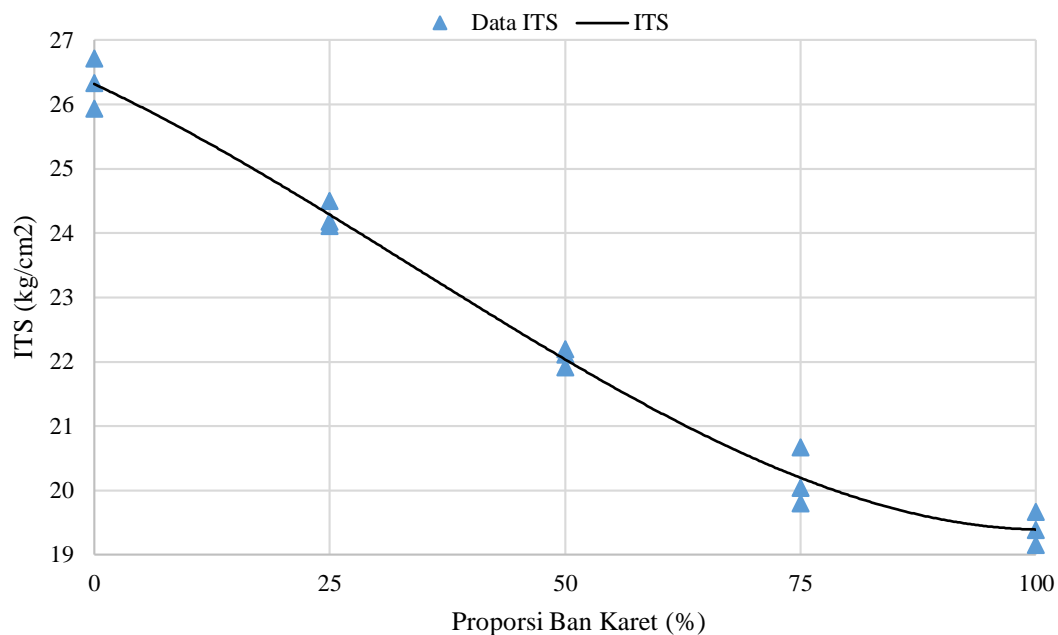
5.3.4 Hasil Pengujian dan Pembahasan *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-WC dengan Proporsi Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Adapun hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran AC-WC dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Tabel 5.19 di bawah ini, untuk tabel selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran 21.

Tabel 5.19 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Ban Karet (%)	<i>ITS</i> (kg/cm²)
0	26,710
	25,930
	26,329
25	24,497
	24,179
	24,108
50	22,197
	22,111
	21,916
75	20,043
	19,801
	20,672
100	19,385
	19,150
	19,664

Dari Tabel 5.19 di atas kemudian dibuat grafik hubungan antara proporsi serbuk ban karet terhadap *Indirect Tensile Strength* pada kadar aspal optimum. Berikut adalah Gambar 5.22 grafik hubungan antara uji *Indirect Tensile Strength* dengan proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran AC-WC.

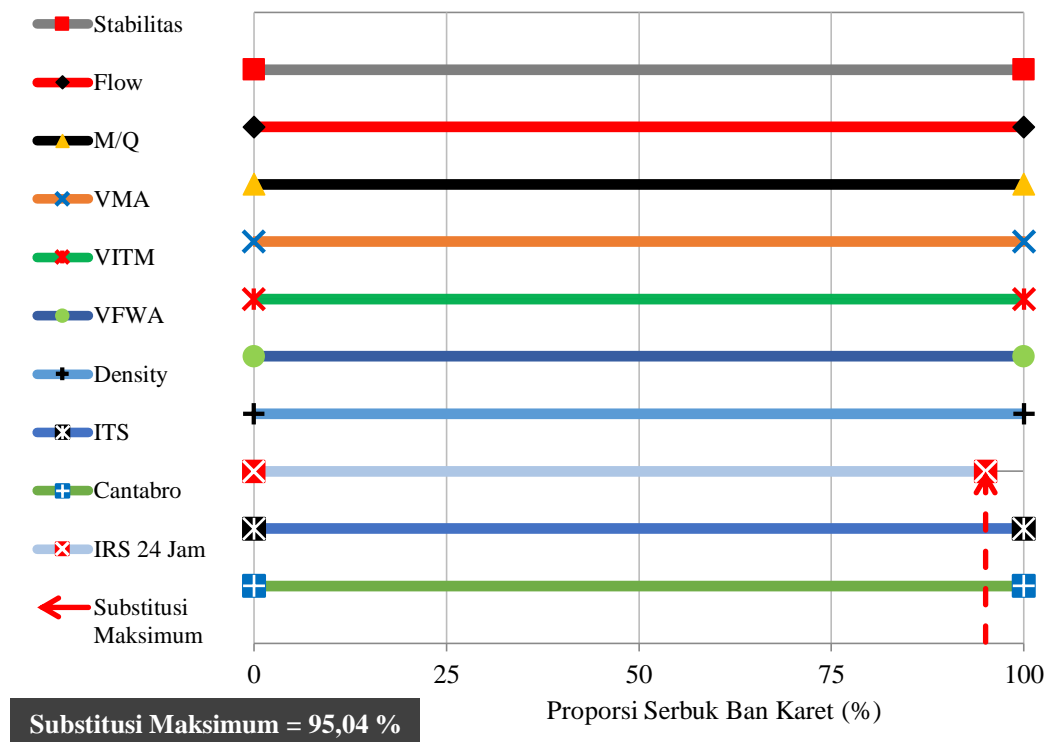


Gambar 5.22 Grafik Hubungan *Indirect Tensile Strength* dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat diketahui bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* pada campuran AC-WC dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengalami penurunan dari proporsi ban karet 0% sampai proporsi ban karet 100%. Hal ini disebabkan karena permukaan dari serbuk ban karet yang lebih halus dibandingkan dengan pasir Clereng dan juga sifat karet yang elastis, selain itu ban karet ketika terkena panas saat proses pencampuran dengan aspal menjadi lunak sehingga mengakibatkan menurunnya *interlocking* antara agregat dengan ban karet dan menyebabkan nilai *ITS* menjadi turun.

5.3.5 Persentase Substitusi Maksimum Serbuk Ban Karet terhadap Agregat Halus pada Campuran AC-WC

Setelah dilakukan serangkaian pengujian berupa pengujian *Marshall*, pengujian *Indirect Tensile Strength*, pengujian *Immersion 24 jam*, dan pengujian *Cantabro*, maka didapatkan hasil persentase maksimum serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus no.16 pada campuran AC-WC. Untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.23 Grafik Persentase Substitusi Maksimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet pada Campuran AC-WC

Berdasarkan Gambar 5.23 di atas, dapat dilihat bahwa persentase substitusi maksimum dengan proporsi serbuk ban karet pada campuran AC-WC adalah sebesar 95,04%. Nilai persentase maksimum tersebut didapat dari grafik pada pengujian *Immersion* di mana proporsi serbuk ban karet yang memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2010 hanya pada proporsi substitusi ban karet 0% sampai 75% dan bila ditarik garis tegak lurus pada grafik tersebut sesuai spesifikasi yang ditentukan didapat nilai substitusi maksimum serbuk ban karet adalah sebesar 95,04%.

Proporsi serbuk ban karet sebesar 95,04% yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010 dalam pengujian tidak mutlak digunakan sebesar nilai tersebut. Ini dikarenakan dilihat dari pengujian lain yaitu nilai stabilitas yang mengalami penurunan yang cukup jauh dari kadar ban karet 0% sebesar 1451,77 kg menjadi 1006,51 kg pada kadar ban karet 100%. Pada pengujian *Cantabro* mengalami kenaikan nilai kehilangan berat yaitu dari 0,9151% pada kadar ban karet 0%

menjadi 3,2629% pada kadar ban karet 100%. Selain itu pada uji *ITS* juga mengalami penurunan nilai yang cukup tinggi yaitu sebesar 26,710 kg/cm² pada kadar ban karet 0% menjadi 19,150 kg/cm² pada kadar ban karet 100%. Untuk itu perlu diambil nilai substitusi yang tepat agar mendapatkan nilai substitusi yang sesuai dengan kebutuhan tanpa mengesampingkan nilai dari pengujian yang lain.

Berdasarkan pertimbangan nilai dari setiap pengujian maka kadar ban karet maksimal yang disarankan untuk substitusi agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* adalah sebesar 50%. Nilai kadar tersebut berdasarkan pertimbangan dari nilai *flow* yang naik dari 2,70 mm pada kadar 0% menjadi 3,30 mm pada kadar 50% walaupun dengan nilai dari Stabilitas, *IRS*, *Cantabro*, dan *ITS* yang turun tetapi pada kadar 50% nilai dari pengujian tersebut masih cukup tinggi dan berada di atas spesifikasi Bina Marga 2010. Pada kadar ban karet 50% nilai *IRS* sebesar 92,3735%, nilai Stabilitas 1235,49 kg, nilai *Cantabro* 2,1617%, dan nilai *ITS* 22,197 kg/cm². Dari pertimbangan tersebut maka didapatkan campuran *AC-WC* yang memiliki *fleksibilitas* lebih tinggi sehingga lebih tahan terhadap retak kelelahan (*fatigue cracking*) dibandingkan tanpa ban karet tetapi tetap memiliki ketahanan terhadap pengaruh cuaca, suhu, air, beban lalu lintas, dan kehilangan berat akibat abrasi.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai pengganti agregat halus no.16 pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Semakin bertambahnya proporsi serbuk ban karet pada campuran *AC-WC* menyebabkan menurunnya nilai stabilitas, *MQ*, *VITM*, dan *VMA* dan pada nilai *Flow*, dan *VFWA* cenderung mengalami kenaikan. Penurunan stabilitas terbesar pada kadar serbuk ban karet 100% sebesar 1006,51 kg, nilai *Flow* mengalami kenaikan terbesar pada kadar serbuk ban karet 100% sebesar 3,6 mm, nilai *VITM* mengalami penurunan terbesar pada proporsi serbuk ban karet 100% sebesar 3,3%, nilai *VFWA* mengalami kenaikan terbesar pada proporsi serbuk ban karet 100% sebesar 80,39%, nilai *VMA* mengalami penurunan terbesar pada proporsi serbuk ban karet 100% sebesar 17,40%, nilai *MQ* mengalami penurunan terbesar pada proporsi serbuk ban karet 100% sebesar 284,22 kg/mm, dan nilai *Density* mengalami kenaikan terbesar pada kadar serbuk ban karet 100% sebesar 2,423 gr/cc. Dari hasil yang didapat substitusi serbuk ban karet dengan proporsi 0% sampai 100% masih masuk ke dalam persyaratan karakteristik *Marshall* yang telah ditentukan oleh Bina Marga 2010.
2. Semakin bertambah proporsi serbuk ban karet dari 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% pada campuran *AC-WC* menyebabkan nilai *IRS* mengalami penurunan, tetapi untuk proporsi ban karet 100% nilai *IRS* tidak memenuhi syarat spesifikasi Bina Marga 2010. Syarat spesifikasi *IRS* Bina Marga 2010 yaitu minimum 90%. Nilai *IRS* mengalami penurunan pada penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti campuran *AC-WC* menunjukkan bahwa campuran

tersebut kurang tahan terhadap pengaruh cuaca, suhu, air, dan beban lalu lintas.

3. Semakin bertambah serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran *AC-WC* dengan proporsi 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% mengakibatkan kenaikan nilai *Cantabro* atau mengalami kehilangan berat semakin besar. Nilai *Cantabro* mengalami kenaikan terbesar pada kadar serbuk ban karet 100% sebesar 3,2629%.
4. Nilai *Indirect Tensile Strength* pada campuran *AC-WC* yang menggunakan kadar serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus no.16 mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Dan penurunan terbesar pada proporsi 100% sebesar 19,15 kg/cm².

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet sebesar 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100% sebagai pengganti agregat halus no.16 pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course (AC-WC)* maka penulis memberikan beberapa saran untuk penelitian selanjutnya, adapun saran tersebut adalah sebagai berikut.

1. Dari hasil pengujian yang dilakukan terhadap campuran *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus no.16 disarankan menggunakan substitusi maksimum sebesar 50%.
2. Campuran dengan substitusi serbuk ban karet jika dilihat dari hasil pengujian disarankan digunakan pada lalu lintas yang ringan.
3. Perlu dilakukan penelitian dengan jenis campuran yang memiliki fungsi untuk beban lalu lintas ringan seperti *Latasir*.
4. Perlu dilakukan pengujian Permeabilitas untuk mengetahui kedekatan campuran terhadap air karena jika dilihat dari pengujian *Marshall* nilai *VITM*, *VFWA*, dan *VMA* memiliki nilai *void* yang lebih kecil jika menggunakan ban karet yang mengindikasikan campuran lebih kedap terhadap air dan udara.

DAFTAR PUSTAKA

- Ananda, T. S. 2009. Pengaruh Gradasi dan Penggunaan Serbuk Ban Bekas terhadap Kinerja Campuran Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). *Thesis*. Magister Sistem dan Teknik Jalan Raya, Institut Teknologi Bandung (tidak dipublikasikan). Direktorat Jenderal Bina Marga Departement Pekerjaan Umum Republik Indonesia. *Spesifikasi Umum*. 2010. Divisi 6.
- Fadhilah, R.F. 2018. Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus Pada Campuran Laston (AC-WC) Terhadap Kinerja Perkerasan Jalan Raya. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Lestari, S.P. dan Bahar, T. 2015. Optimasi Kinerja Aspal BNA Blend 75:25 Terhadap Campuran Aspal Beton Menggunakan Variasi Serbuk Ban Bekas. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Tadulako. Palu.
- Standar Nasional Indonesia. 2011. *Detail Cara uji Penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal*. Badan Standar Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2432-1991 Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2433-1991 Metode Pengujian Daktilitas Bahan-Bahan Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2434-1991 Metode Pengujian Titik Lembek Aspal dan Ter*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2438-1991 Metode Pengujian Kadar Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2441-1991 Metode Pengujian Berat Jenis Aspal Padat*. Badan Standarisasi Nasional.
- Standar Nasional Indonesia. 1991. *SNI 06-2456-1991 Cara Uji Penetrasi Aspal*. Badan Standarisasi Nasional.

- Sugiyanto. 2008. Kajian karakteristik campuran *hot rolled asphalt* akibat penambahan limbah serbuk ban bekas. *Tugas Akhir*. Universitas Jendral Sudirman. Purwokerto.
- Sukirman, Silvia. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova. Bandung.
- Sukirman, Silvia. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Granit. Jakarta.
- Yamali, F.R. 2018. Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar Pada Lapis Tipis Pasir (LATASIR) Terhadap Karakteristik *Marshall*. *Tugas Akhir*. (Tidak Diterbitkan). Universitas Batanghari. Jambi.

LAMPIRAN



Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 26 Agustus 2019

HASIL PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Berat	
		1	2
1	Berat piknometer kosong (gr)	11.8	12.04
2	Berat piknometer + <i>Aquadest</i> (gr)	29.21	27.68
3	Berat Air (2-1) (gr)	17.41	15.64
4	Berat piknometer + Aspal (gr)	12.47	12.26
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	0.67	0.22
6	Berat vicometer + Aspal + <i>Aquadest</i> (gr)	29.16	27.7
7	Berat Airnya saja (6-4) (gr)	16.69	15.44
8	Volume Aspal (3-7)	0.72	0.2
9	BJ Aspal (Berat/volume) (5/8)	0.93056	1.10
10	Rata-rata	1.01527778	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 2 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCl₄/TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCl₄ / TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 26 Agustus 2019

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) (2-1)	0,87	1,27
4	Berat Kertas Saring Bersih (gr)	0,61	0,62
5	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral (gr)	0,62	0,63
6	Berat Mineral (gr) (5-4)	0,01	0,01
7	Persentase Mineral (6/3 X 100%)	1,15	0,79
8	Aspal Yang Larut (100%-7)	98,85%	99,21%
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut (100%)	99,03%	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 3 Pemeriksaan Daktilitas

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (*DUCTILITY*) / RESIDUE

Material : Aspal Pertamina Pen 60 / 70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 27 Agustus 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 $\pm 28^{\circ}\text{C}$
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.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60 / 70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 28 Agustus 2019

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	281°C	293°C

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60 / 70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 27 Agustus 2019

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

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

HASIL PENGAMATAN

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	63	64		
2	64	62		
3	62	63		
4	63	64		
5	63	63		
Rata-rata	63	63,2		

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 6 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60 / 70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 28 Agustus 2019

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	25 °C	12.50
	Selesai	25 °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	113,9	113,9		
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.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 7 Pemeriksaan Kelekatan Aspal Oleh Agregat

PEMERIKSAAN KELEKATAN ASPAL OLEH AGREGAT

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 dan Agregat ukuran (1/4") dan (3/8")
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 27 Agustus 2019

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.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 8 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Clereng

PEMERIKSAAN BERAT *FILLER* CLERENG

Material : *Filler* Clereng
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 4 September 2019

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer kosong (gr)	12,04	11,84
2	Berat Piknometer + <i>Aquadest</i> (gr)	29,24	29,22
3	Berat <i>Aquadest</i> (gr)	17,2	17,38
4	Berat Piknometer + <i>Filler</i> (gr)	13,09	13,24
5	Berat <i>Filler</i> (gr)	1,05	1,4
6	Berat Piknometer + <i>Filler</i> + <i>Aquadest</i> (gr)	29,88	30,07
7	Berat <i>Aquadest</i> (gr)	16,79	16,83
8	Volume <i>Filler</i> (gr)	0,41	0,55
9	Berat Jenis <i>Filler</i>	2,561	2,545
10	Rata-rata Berat Jenis <i>Filler</i>	2,553	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 4 September 2019

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1586,22	1573,46
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1001,73	1002,11
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1577,57	1564,78
5	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) = $\frac{BK}{BJ-BA}$	2,6991	2,7387
6	Berat Jenis (<i>SSD</i>) = $\frac{BJ}{BJ-BA}$	2,7139	2,7539
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{BK-BA}$	2,7396	2,7810
8	Penyerapan Air = $\frac{BK}{BK-BA} \times 100\%$	0,5483	0,5547
10	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ Semu) / 2	2,7193	2,7599
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,7396	
12	Penyerapan Rata-rata	0,5515	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 4 September 2019

No.	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	3
1	Berat Benda Uji Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500	500	500
2	Berat <i>Piknometer</i> + Air (B)	690,87	673,53	677,17
3	Berat <i>Piknometer</i> + Air + Benda Uji (BT)	1012,86	995,46	1000,08
4	Berat Benda Uji Kering <i>Oven</i> (BK)	493,78	492,41	493,10
5	Berat Jenis (<i>Bulk</i>) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,7739	2,7653	2,7845
6	Berat Jenis (<i>SSD</i>) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,8088	2,8079	2,8234
7	Berat Jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,8743	2,8884	2,8974
8	Penyerapan Air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	1,2597	1,5414	1,3993
9	Berat Jenis Efektif = (BJ <i>Bulk</i> + BJ Semu) / 2	2,8241	2,8268	2,8409
10	Penyerapan Air Rata-rata (%)	1,4001		
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,8306		

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 3 September 2019

No	Keterangan	Benda Uji (gr)		
		1	2	
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan $CaCl_2$ selama (± 10 menit)	Mulai	13,33	13,3
		Selesai	13,43	13,45
2	Waktu Pengendapan (Benda uji setelah digojok sebanyak 90X, dan ditambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	13,50	13,50
		Selesai	14	14,05
3	<i>Clay Reading</i> (Pembacaan Lumpur) (<i>Inchi</i>)	3,9	3,6	
4	<i>Sand Reading</i> (Pembacaan Pasir)	3,6	3,3	
5	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ reading}{Clay\ reading} \times 100$	92,31%	91,67%	
6	Rata-rata <i>Sand Equivalent</i>	91,98%		

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN BERAT JENIS SERBUK BAN KARET

Material : Serbuk Ban Karet
Sumber : Tritunggal Jaya, Jalan Magelang No.44
Tanggal Uji : 4 September 2019

HASIL PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Berat	
1	Berat piknometer kosong (gr)	16.35	16.03
2	Berat piknometer + <i>Aquadest</i> (gr)	44.93	43.86
3	Berat Air (2-1) (gr)	28.58	27.83
4	Berat piknometer + Ban Karet (gr)	17.12	17.12
5	Berat Ban Karet (4-1) (gr)	0.77	1.09
6	Berat piknometer + Ban Karet + <i>Aquadest</i> (gr)	44.01	43.54
7	Berat Airnya saja (6-4) (gr)	26.89	26.42
8	Volume Ban karet (3-7) (gr)	1.69	1.41
9	Berat Jenis Ban Karet (Berat/volume) (5/8)	0.455621	0.77305
10	Berat Jenis Rata-Rata	0.6143	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 13 Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI TEST)

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tanggal Uji : 3 September 2019

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	12,5 mm 1/2 "	9,5 mm 3/8 "	-	-
4	Jumlah Benda Uji (A) (gr)		5000	4711
5	Jumlah Tertahan Di Sieve 12 (B) (gr)		4711	3752
6	Keausan = $(A-B)/A \times 100\%$ (%)		5,78	20,36
7	Rata-rata Keausan (%)		13,05	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
Gedung OS, 10th Floor
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
J. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T: 0271-899444 ext 3202, 3201
F: 0271-899336
E: fakultas.sipil@uii.ac.id
W: www.uii.ac.id

Lampiran 14 Pengujian Marshall Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 0%

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK Mencari KAO VARIASI SERBUK BAN KARET 0%

Tanggal Pengujian : 21 Oktober 2019

Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama

Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	Tempel	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5A	65.42	5.26	5	1169.45	1192.27	695.31	496.96	2.353	2.542	11.589	80.9775	7.434	19.022	60.923	7.434	53	1130.78	0.954	1078.766	2.60	414.910
5B	66.22	5.26	5	1167.88	1191.01	694.39	496.62	2.352	2.542	11.581	80.9242	7.494	19.076	60.712	7.494	55	1173.45	0.939	1101.945	2.80	393.552
5C	67.13	5.26	5	1167.22	1194.12	697.61	496.51	2.351	2.542	11.577	80.8964	7.526	19.104	60.603	7.526	52	1109.45	0.919	1019.858	2.70	377.725
								2.352					19.067	60.746	7.485				1066.856	2.70	395.396
5.5A	67.94	5.82	5.5	1164.43	1190.86	698.40	492.46	2.365	2.522	12.809	80.9384	6.252	19.062	67.199	6.252	59	1258.79	0.899	1131.761	2.80	404.200
5.5B	65.33	5.82	5.5	1153.13	1188.18	704.88	483.3	2.386	2.522	12.925	81.6721	5.403	18.328	70.522	5.403	56	1194.79	0.956	1141.769	2.80	407.775
5.5C	67.44	5.82	5.5	1158.10	1188.67	703.91	484.76	2.389	2.522	12.942	81.7771	5.281	18.223	71.020	5.281	53	1130.78	0.912	1030.802	2.90	355.449
								2.380					18.537	69.580	5.645				1101.444	2.833	389.141
6A	65.13	6.38	6	1174.63	1185.41	691.99	493.42	2.381	2.503	14.069	81.0574	4.874	18.943	74.270	4.874	52	1109.45	0.959	1064.444	2.90	367.050
6B	65.58	6.38	6	1177.43	1188.86	695.93	492.93	2.389	2.503	14.116	81.3314	4.552	18.669	75.614	4.552	49	1045.44	0.951	994.278	3.00	331.426
6C	68.15	6.38	6	1180.55	1187.92	694.92	493	2.395	2.503	14.152	81.5353	4.313	18.465	76.641	4.313	50	1066.78	0.893	953.008	3.10	307.422
								2.388					18.692	75.508	4.580				1003.910	3.000	335.299
6.5A	66.93	6.95	6.5	1174.41	1187.87	691.63	496.24	2.367	2.483	15.152	80.1531	4.695	19.847	76.342	4.695	49	1045.44	0.924	966.160	3.20	301.925
6.5B	66.96	6.95	6.5	1160.45	1178.37	693.63	484.74	2.394	2.483	15.327	81.0793	3.594	18.921	81.004	3.594	49	1045.44	0.923	965.376	3.20	301.680
6.5C	67.12	6.95	6.5	1175.29	1186.14	688.37	497.77	2.361	2.483	15.116	79.9666	4.917	20.033	75.455	4.917	48	1024.10	0.919	941.578	3.10	303.735
								2.374					19.600	77.601	4.402				957.705	3.167	302.447
7A	65.88	7.53	7	1168.53	1178.70	689.08	489.62	2.387	2.464	16.455	80.3978	3.147	19.602	83.944	3.147	44	938.76	0.945	887.424	3.30	268.916
7B	65.29	7.53	7	1180.31	1189.14	688.42	500.72	2.357	2.464	16.252	79.4081	4.340	20.592	78.926	4.340	46	981.43	0.957	938.741	3.20	293.356
7C	66.05	7.53	7	1176.67	1185.31	684.89	500.42	2.351	2.464	16.212	79.2106	4.577	20.789	77.982	4.577	46	981.43	0.942	924.633	3.40	271.951
								2.365					20.328	80.284	4.021				916.932	3.300	278.075

Mengetahui

Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 15 Pengujian Marshall Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 25%

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK Mencari KAO VARIASI SERBUK BAN KARET 25%

Tanggal Pengujian : 23 Oktober 2019
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
													VMA (%)	VFWA (%)	VTIM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5A	65.18	5.26	5	1144.21	1169.67	687.82	481.85	2.375	2.542	11.694	81.7143	6.591	18.29	63.95	6.59	46.00	981.43	0.958	940.64	2.70	348.39
5B	65.46	5.26	5	1155.63	1166.31	675.40	490.91	2.354	2.542	11.593	81.0067	7.400	18.99	61.04	7.40	48	1024.10	0.953	976.23	2.60	375.47
5C	65.39	5.26	5	1148.22	1166.33	681.76	484.57	2.370	2.542	11.670	81.5404	6.790	18.46	63.22	6.79	47	1002.77	0.955	957.27	2.70	354.54
								2.366					18.58	62.74	6.93				958.05	2.67	369.47
5.5A	65.33	5.82	5.5	1140.33	1160.62	685.42	475.2	2.400	2.522	13.000	82.1422	4.858	17.86	72.80	4.86	54	1152.12	0.956	1100.99	2.80	393.21
5.5B	66.43	5.82	5.5	1142.37	1168.93	687.82	481.11	2.374	2.522	12.863	81.2783	5.859	18.72	68.71	5.86	55	1173.45	0.935	1097.18	2.90	378.34
5.5C	65.07	5.82	5.5	1145.58	1170.49	689.60	480.89	2.382	2.522	12.905	81.544	5.551	18.46	69.92	5.55	51	1088.11	0.961	1045.40	2.80	373.36
								2.385					18.345	70.475	5.423				1081.191	2.833	381.636
6A	64.13	6.38	6	1155.89	1169.40	685.45	483.95	2.388	2.503	14.115	81.3251	4.560	18.67	75.58	4.56	48	1024.10	0.984	1007.89	2.90	347.55
6B	64.58	6.38	6	1151.05	1167.78	689.06	478.72	2.404	2.503	14.210	81.8693	3.921	18.13	78.37	3.92	46	981.43	0.973	954.93	3.10	308.04
6C	66.74	6.38	6	1152.31	1168.49	684.60	483.89	2.381	2.503	14.073	81.0832	4.844	18.92	74.39	4.84	47	1002.77	0.929	931.49	3.10	300.48
								2.391					18.574	76.117	4.442				964.771	3.033	318.690
6.5A	65.37	6.95	6.5	1152.31	1164.26	677.42	486.84	2.367	2.483	15.153	80.1632	4.683	19.84	76.39	4.68	44	938.76	0.955	896.40	3.30	271.64
6.5B	62.70	6.95	6.5	1162.76	1171.72	684.16	487.56	2.385	2.483	15.268	80.7708	3.961	19.23	79.40	3.96	45	960.10	1.020	979.22	3.10	315.88
6.5C	65.52	6.95	6.5	1154.35	1165.60	680.04	485.56	2.377	2.483	15.220	80.5169	4.263	19.48	78.12	4.26	45	960.10	0.952	914.13	3.20	285.67
								2.376					19.516	77.971	4.302				929.918	3.200	291.060
7A	62.71	7.53	7	1152.39	1160.24	678.50	481.74	2.392	2.464	16.493	80.5843	2.923	19.42	84.95	2.92	39	832.08	1.020	848.59	3.40	249.58
7B	62.49	7.53	7	1143.33	1154.02	668.41	485.61	2.354	2.464	16.233	79.3136	4.453	20.69	78.47	4.45	39	832.08	1.025	853.03	3.40	250.89
7C	62.95	7.53	7	1155.67	1166.09	680.43	485.66	2.380	2.464	16.406	80.1614	3.432	19.84	82.70	3.43	42	896.09	1.014	908.34	3.20	283.86
								2.375					19.980	82.039	3.603				869.984	3.333	261.443

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH. Moh. Hattir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0271) 898444 ext 3260, 3201
E. (0271) 895330
E. dkanan@fpp.unii.ac.id
W. fpp.unii.ac.id

Lampiran 16 Pengujian Marshall Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 50%

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK Mencari KAO VARIASI SERBUK BAN KARET 50%

Tanggal Pengujian : 25 Oktober 2019
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	Thggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5A	65.05	5.26	5	1106.10	1131.10	661.21	469.89	2.354	2.542	11.593	81.0032	7.404	18.997	61.024	7.404	45	960.10	0.961	922.974	2.600	354.990
5B	64.34	5.26	5	1109.50	1130.84	665.31	465.53	2.383	2.542	11.737	82.0132	6.250	17.987	65.255	6.250	45	960.10	0.979	940.016	2.700	348.154
5C	65.64	5.26	5	1101.74	1124.07	655.53	468.54	2.351	2.542	11.580	80.9164	7.503	19.084	60.682	7.503	43	917.43	0.950	871.498	2.900	300.517
								2.363					18.689	62.320	7.052				911.496	2.733	334.553
5.5A	64.67	5.82	5.5	1118.55	1132.77	668.42	464.35	2.409	2.522	13.049	82.456	4.495	17.544	74.381	4.495	47	1002.77	0.971	973.521	2.800	347.686
5.5B	66.56	5.82	5.5	1111.20	1123.55	658.02	465.53	2.387	2.522	12.931	81.7066	5.363	18.293	70.685	5.363	48	1024.10	0.933	955.105	2.900	329.347
5.5C	64.95	5.82	5.5	1113.00	1124.60	659.67	464.93	2.394	2.522	12.968	81.9445	5.087	18.055	71.825	5.087	48	1024.10	0.964	986.895	3.000	328.965
								2.397					17.964	72.297	4.981				971.840	2.900	335.333
6A	65.60	6.38	6	1117.74	1125.57	660.32	465.25	2.402	2.503	14.198	81.8018	4.000	18.198	78.018	4.000	47	1002.77	0.951	953.257	3.100	307.502
6B	64.85	6.38	6	1122.41	1128.05	659.13	468.92	2.394	2.503	14.146	81.5007	4.354	18.499	76.465	4.354	46	981.43	0.966	948.310	3.100	305.906
6C	65.70	6.38	6	1123.35	1134.20	665.42	468.78	2.396	2.503	14.162	81.5933	4.245	18.407	76.937	4.245	45	960.10	0.949	910.893	3.000	303.631
								2.397					18.368	77.140	4.200				937.486	3.067	305.680
6.5A	63.05	6.95	6.5	1123.73	1135.02	663.60	471.42	2.384	2.483	15.261	80.7321	4.007	19.268	79.204	4.007	44	938.76	1.011	949.401	3.200	296.688
6.5B	64.37	6.95	6.5	1124.03	1130.21	663.09	467.12	2.406	2.483	15.406	81.497	3.097	18.503	83.260	3.097	43	917.43	0.978	897.473	3.200	280.460
6.5C	63.66	6.95	6.5	1125.85	1137.83	665.70	472.13	2.385	2.483	15.267	80.7628	3.970	19.237	79.361	3.970	43	917.43	0.996	913.833	3.300	276.919
								2.392					19.003	80.608	3.692				920.236	3.233	284.689
7A	61.37	7.53	7	1129.42	1139.48	665.71	473.77	2.384	2.464	16.436	80.3066	3.257	19.693	83.461	3.257	39	832.08	1.056	879.063	3.500	251.161
7B	62.11	7.53	7	1127.86	1138.42	665.20	473.22	2.383	2.464	16.433	80.2889	3.279	19.711	83.367	3.279	38	810.75	1.035	838.990	3.400	246.762
7C	60.78	7.53	7	1126.82	1134.31	660.41	473.9	2.378	2.464	16.394	80.0998	3.506	19.900	82.380	3.506	40	853.42	1.075	917.427	3.400	269.831
								2.382					19.768	83.069	3.347				878.493	3.433	255.918

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 17 Pengujian Marshall Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 75%

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENCARI KAO VARIASI SERBUK BAN KARET 75%

Tanggal Pengujian : 28 Oktober 2019
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5A	63.79	5.26	5	1096.55	1108.62	650.48	458.14	2.393	2.542	11.787	82.3633	5.849	17.637	66.834	5.849	41	874.76	0.993	868.341	2.80	310.122
5B	64.58	5.26	5	1098.76	1110.90	649.90	461	2.383	2.542	11.738	82.0173	6.245	17.983	65.273	6.245	41	874.76	0.973	851.064	2.90	293.470
5C	64.12	5.26	5	1100.58	1111.67	649.44	462.23	2.381	2.542	11.726	81.9346	6.339	18.065	64.908	6.339	40	853.42	0.985	840.263	2.70	311.209
								2.386					17.895	65.672	6.145				853.223	2.80	304.934
5.5A	65.62	5.82	5.5	1090.22	1102.55	651.59	450.96	2.418	2.522	13.096	82.7538	4.150	17.246	75.938	4.150	45	960.10	0.950	912.393	2.80	325.855
5.5B	66.65	5.82	5.5	1086.48	1102.59	649.25	453.34	2.397	2.522	12.983	82.037	4.980	17.963	72.276	4.980	48	1024.10	0.931	953.697	3.00	317.899
5.5C	65.04	5.82	5.5	1086.43	1104.45	650.16	454.29	2.391	2.522	12.955	81.8616	5.183	18.138	71.425	5.183	46	981.43	0.962	943.730	2.90	325.424
								2.402					17.783	73.213	4.771				936.606	2.900	323.059
6A	65.29	6.38	6	1100.88	1111.36	654.47	456.89	2.410	2.503	14.239	82.042	3.719	17.958	79.293	3.719	44	938.76	0.957	897.926	3.00	299.309
6B	60.97	6.38	6	1078.25	1092.91	643.59	449.32	2.400	2.503	14.182	81.7093	4.109	18.291	77.535	4.109	41	874.76	1.069	935.260	3.30	283.412
6C	65.80	6.38	6	1099.09	1110.76	653.61	457.15	2.404	2.503	14.208	81.862	3.930	18.138	78.334	3.930	44	938.76	0.947	888.949	3.10	286.758
								2.404					18.129	78.388	3.919				907.378	3.133	289.826
6.5A	63.41	6.95	6.5	1105.24	1117.05	656.13	460.92	2.398	2.483	15.352	81.2125	3.436	18.788	81.713	3.436	41	874.76	1.002	876.797	3.40	257.881
6.5B	61.18	6.95	6.5	1107.20	1118.39	658.07	460.32	2.405	2.483	15.399	81.4625	3.138	18.537	83.070	3.138	40	853.42	1.063	906.759	3.20	283.362
6.5C	64.66	6.95	6.5	1105.03	1119.98	659.06	460.92	2.397	2.483	15.349	81.197	3.454	18.803	81.630	3.454	41	874.76	0.971	849.461	3.40	249.841
								2.400					18.709	82.138	3.343				877.672	3.333	263.695
7A	62.03	7.53	7	1101.47	1112.76	653.33	459.43	2.397	2.464	16.530	80.7637	2.707	19.236	85.930	2.707	39	832.08	1.037	862.733	3.40	253.745
7B	61.69	7.53	7	1093.36	1106.90	653.51	453.39	2.412	2.464	16.627	81.2371	2.136	18.763	88.614	2.136	38	810.75	1.046	848.415	3.60	235.671
7C	62.71	7.53	7	1089.23	1103.73	650.71	453.02	2.404	2.464	16.577	80.9963	2.426	19.004	87.232	2.426	39	832.08	1.020	848.518	3.60	235.700
								2.404					19.001	87.259	2.423				853.222	3.533	241.705

Mengetahui
& Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



**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. 3260, 3201
E. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp@uii.ac.id

Lampiran 18 Pengujian Marshall Untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 100%

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK Mencari KAO VARIASI SERBUK BAN KARET 100%

Tanggal Pengujian : 31 Oktober 2019
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T

Sampe1	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Mens		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
5A	61.67	5.26	5	1052.48	1072.10	633.42	438.68	2.399	2.542	11.815	82.5601	5.624	17.440	67.750	5.624	37	789.41	1.047	826.664	2.80	295.237
5B	62.01	5.26	5	1051.38	1073.22	635.01	438.21	2.399	2.542	11.816	82.5623	5.622	17.438	67.760	5.622	38	810.75	1.037	840.950	2.70	311.463
5C	65.45	5.26	5	1067.73	1084.69	635.57	449.12	2.377	2.542	11.708	81.8094	6.483	18.191	64.363	6.483	40	853.42	0.953	813.629	3.00	271.210
								2.392					17.689	66.624	5.910				827.081	2.83	292.637
5.5A	64.54	5.82	5.5	1057.58	1083.77	642.84	440.93	2.399	2.522	12.993	82.1024	4.904	17.898	72.598	4.904	42	896.09	0.974	872.793	2.90	300.963
5.5B	61.61	5.82	5.5	1060.34	1082.77	643.62	439.15	2.415	2.522	13.080	82.6503	4.270	17.350	75.391	4.270	39	832.08	1.049	872.822	2.90	300.973
5.5C	64.45	5.82	5.5	1059.44	1083.46	642.52	440.94	2.403	2.522	13.016	82.245	4.739	17.755	73.308	4.739	42	896.09	0.976	874.884	3.00	291.628
								2.405					17.667	73.766	4.638				873.499	2.933	297.855
6A	61.79	6.38	6	1068.27	1082.65	641.80	440.85	2.423	2.503	14.320	82.5085	3.171	17.492	81.871	3.171	40	853.42	1.043	890.491	3.00	296.830
6B	63.19	6.38	6	1069.37	1083.40	641.74	441.66	2.421	2.503	14.309	82.442	3.249	17.558	81.495	3.249	40	853.42	1.008	860.105	3.20	268.783
6C	63.89	6.38	6	1067.43	1082.05	638.91	443.14	2.409	2.503	14.235	82.0176	3.747	17.982	79.162	3.747	39	832.08	0.990	824.041	3.30	249.709
								2.418					17.677	80.843	3.389				858.212	3.167	271.774
6.5A	62.69	6.95	6.5	1065.81	1073.96	631.68	442.28	2.410	2.483	15.428	81.6159	2.956	18.384	83.921	2.956	37	789.41	1.020	805.465	3.20	251.708
6.5B	59.45	6.95	6.5	1054.47	1061.01	621.98	439.03	2.402	2.483	15.377	81.3453	3.278	18.655	82.429	3.278	35	746.74	1.117	833.863	3.30	252.686
6.5C	62.58	6.95	6.5	1063.22	1075.12	633.40	441.72	2.407	2.483	15.410	81.5208	3.069	18.479	83.391	3.069	37	789.41	1.023	807.570	3.20	252.366
								2.406					18.506	83.247	3.101				815.633	3.233	252.253
7A	62.25	7.53	7	1075.62	1090.97	643.97	447	2.406	2.464	16.591	81.0615	2.348	18.938	87.603	2.348	33	704.07	1.031	726.132	3.50	207.466
7B	60.39	7.53	7	1076.70	1090.20	642.26	447.94	2.404	2.464	16.572	80.9727	2.455	19.027	87.098	2.455	34	725.41	1.087	788.654	3.70	213.150
7C	62.78	7.53	7	1072.15	1089.07	643.41	445.66	2.406	2.464	16.587	81.043	2.370	18.957	87.497	2.370	36	768.08	1.018	781.839	3.50	223.383
								2.405					18.974	87.400	2.391				765.542	3.567	214.666

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 19 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN MARSHALL DARI HASIL KADAR ASPAL OPTIMUM DENGAN VARIASI BAN KARET

Tanggal Pengujian : 7 Februari 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel Variasi (%)	Tinggi (cm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VTM (%)	O Meas	P	Q Korrelasi	R	S	T
		(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density											Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	66.17	6.85	6.41	1177.04	1185.42	690.75	494.67	2.379	2.487	15.023	80.665	4.312	19.335	77.697	4.312	103	1524.82	0.940	1433.240	2.70	530.830
0	65.85	6.85	6.41	1178.36	1188.30	692.91	495.39	2.379	2.487	15.018	80.6381	4.344	19.362	77.563	4.344	102	1510.02	0.946	1428.385	2.70	529.031
0	66.01	6.85	6.41	1177.70	1185.36	690.33	495.03	2.379	2.487	15.020	80.6515	4.328	19.348	77.630	4.328	104	1539.63	0.943	1451.677	2.80	518.456
								2.379					19.348	77.630	4.328				1437.767	2.73	526.106
25	64.71	6.79	6.36	1149.21	1158.42	676.87	481.55	2.386	2.489	14.950	80.9468	4.104	19.053	78.462	4.104	98	1450.80	0.970	1407.038	3.00	469.013
25	63.91	6.79	6.36	1148.79	1158.06	676.13	481.93	2.384	2.489	14.932	80.8534	4.214	19.147	77.990	4.214	95	1406.39	0.990	1391.859	3.00	463.953
25	64.31	6.79	6.36	1149.00	1157.74	675.48	482.26	2.383	2.489	14.925	80.9128	4.262	19.187	77.786	4.262	96	1421.20	0.980	1392.417	3.10	449.167
								2.384					19.129	78.079	4.193				1397.105	3.033	468.711
50	64.68	6.68	6.26	1121.03	1130.80	662.23	468.57	2.392	2.492	14.751	81.2359	4.013	18.764	78.615	4.013	86	1273.15	0.970	1235.490	3.20	386.091
50	66.04	6.68	6.26	1116.34	1125.06	657.76	467.3	2.389	2.492	14.730	81.1158	4.155	18.884	78.000	4.155	86	1273.15	0.942	1199.789	3.30	363.572
50	65.36	6.68	6.26	1118.69	1128.96	661.35	467.61	2.392	2.492	14.751	81.2327	4.016	18.767	78.598	4.016	87	1287.96	0.955	1230.081	3.10	396.800
								2.391					18.805	78.404	4.061				1221.787	3.200	382.155
75	65.00	6.50	6.1	1090.90	1100.41	646.69	453.72	2.404	2.499	14.446	81.7792	3.775	18.221	79.282	3.775	76	1125.11	0.962	1082.828	3.30	328.130
75	63.25	6.50	6.1	1088.64	1095.49	644.32	451.17	2.413	2.499	14.497	82.071	3.432	17.929	80.860	3.432	77	1139.92	1.006	1147.137	3.50	327.753
75	64.13	6.50	6.1	1086.77	1094.26	643.51	450.75	2.411	2.499	14.486	82.0064	3.508	17.994	80.506	3.508	76	1125.11	0.984	1107.299	3.30	335.545
								2.409					18.048	80.216	3.571				1112.421	3.367	330.476
100	63.51	6.28	5.91	1062.95	1074.44	635.20	439.24	2.420	2.506	14.087	82.4773	3.436	17.523	80.392	3.436	68	1006.68	1.000	1006.513	3.50	287.575
100	62.18	6.28	5.91	1063.26	1076.50	637.61	438.89	2.423	2.506	14.102	82.5672	3.331	17.433	80.894	3.331	67	991.88	1.033	1024.691	3.60	284.636
100	62.84	6.28	5.91	1060.11	1072.75	635.31	437.44	2.423	2.506	14.107	82.5954	3.298	17.405	81.053	3.298	68	1006.68	1.016	1023.207	3.60	284.224
								2.422					17.453	80.780	3.355				1018.137	3.567	285.478

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 20 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* 24 Jam Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN INDEX OF RETAINED STRENGTH DARI HASIL KAO DENGAN VARIASI BAN KARET

Tanggal Pengujian : 11 Februari 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete – Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Sampel Variasi (%)	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
													VMA (%)	VFVA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (Kg/mm)
0	64.46	6.85	6.41	1176.60	1186.47	691.55	494.92	2.377	2.487	15.010	80.5941	4.396	19.406	77.345	4.396	93	1376.78	0.976	1343.855	2.90	463.398
0	64.93	6.85	6.41	1183.99	1190.92	693.77	497.15	2.382	2.487	15.036	80.7365	4.227	19.263	78.055	4.227	94	1391.59	0.964	1341.722	2.90	462.663
0	63.86	6.85	6.41	1180.30	1188.70	692.66	496.04	2.379	2.487	15.023	80.665	4.312	19.335	77.697	4.312	93	1376.78	0.991	1364.278	3.00	454.759
								2.379					19.335	77.699	4.312				1349.952	2.93	460.273
25	63.43	6.79	6.36	1146.11	1155.93	675.50	480.43	2.386	2.489	14.944	80.9166	4.139	19.083	78.309	4.139	88	1302.76	1.002	1305.043	3.00	435.014
25	63.99	6.79	6.36	1147.95	1158.14	677.32	480.82	2.387	2.489	14.956	80.9808	4.063	19.019	78.636	4.063	88	1302.76	0.988	1286.913	3.00	428.971
25	64.83	6.79	6.36	1149.37	1159.80	677.86	481.94	2.385	2.489	14.940	80.8925	4.168	19.107	78.187	4.168	90	1332.37	0.967	1287.959	3.10	415.471
								2.386					19.070	78.377	4.124				1293.305	3.033	426.485
50	61.39	6.68	6.26	1120.92	1130.30	662.28	468.02	2.395	2.492	14.767	81.3233	3.909	18.677	79.068	3.909	73	1080.70	1.056	1141.265	3.20	356.645
50	62.10	6.68	6.26	1115.21	1121.23	655.86	465.37	2.396	2.492	14.776	81.3698	3.855	18.630	79.310	3.855	72	1065.90	1.035	1103.292	3.30	334.331
50	62.09	6.68	6.26	1118.07	1126.71	659.07	467.64	2.391	2.492	14.742	81.1825	4.076	18.818	78.340	4.076	74	1095.51	1.034	1132.935	3.40	333.216
								2.394					18.708	78.906	3.947				1125.831	3.300	341.397
75	63.13	6.50	6.1	1088.22	1097.17	645.03	452.14	2.407	2.499	14.461	81.8633	3.676	18.137	79.732	3.676	66	977.07	1.009	986.191	3.40	290.056
75	62.11	6.50	6.1	1090.31	1099.75	647.23	452.52	2.409	2.499	14.476	81.9517	3.572	18.048	80.208	3.572	68	1006.68	1.035	1041.662	3.50	297.618
75	62.17	6.50	6.1	1089.27	1097.36	644.53	452.83	2.405	2.499	14.453	81.8175	3.730	18.183	79.486	3.730	66	977.07	1.033	1009.560	3.50	288.446
								2.407					18.123	79.809	3.659				1012.471	3.467	292.040
100	62.59	6.27	5.9	1066.58	1076.66	636.78	439.88	2.425	2.506	14.090	82.6473	3.262	17.353	81.201	3.262	59	873.44	1.023	893.241	3.60	248.123
100	62.47	6.27	5.9	1063.15	1074.69	635.56	439.13	2.421	2.506	14.069	82.5223	3.409	17.478	80.498	3.409	60	888.25	1.026	911.046	3.70	246.229
100	62.28	6.27	5.9	1064.87	1073.20	634.17	439.03	2.426	2.506	14.095	82.6746	3.230	17.325	81.355	3.230	60	888.25	1.030	915.265	3.70	247.369
								2.424					17.385	81.018	3.300				906.517	3.667	247.240

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020

Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 21 Pengujian *Indirect Tensile Strength* Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 3 Februari 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete - Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Variasi Serbuk Ban Karet 0%											
Sampel	Tebal (mm)			Rerata (mm)	Konversi (cm)	Angka koreksi	Meas	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)
	t1	t2	t3								
A	67.52	67.65	67.71	67.63	6.763	0.907	63	1252.768	1136.051	0.159	26.710
B	66.49	66.84	66.99	66.77	6.677	0.928	59	1173.227	1088.950	0.159	25.930
C	67.01	67.25	67.35	67.20	6.720	0.917	61	1212.997	1112.824	0.159	26.329
Rata-Rata											26.323
Variasi Serbuk Ban Karet 25%											
Sampel	Tebal (mm)			Rerata (mm)	Konversi (cm)	Angka koreksi	Meas	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)
	t1	t2	t3								
A	65.85	65.61	66.19	65.88	6.588	0.945	54	1073.801	1015.077	0.159	24.497
B	65.75	65.57	65.85	65.72	6.572	0.948	53	1053.916	999.441	0.159	24.179
C	65.81	65.59	66.02	65.81	6.581	0.947	53	1053.916	997.795	0.159	24.108
Rata-Rata											24.262
Variasi Serbuk Ban Karet 50%											
Sampel	Tebal (mm)			Rerata (mm)	Konversi (cm)	Angka koreksi	Meas	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)
	t1	t2	t3								
A	64.17	64.38	64.25	64.27	6.427	0.981	46	914.719	897.187	0.159	22.197
B	64.95	64.92	64.78	64.88	6.488	0.965	47	934.604	902.283	0.159	22.111
C	64.56	64.65	64.52	64.58	6.458	0.973	46	914.719	890.098	0.159	21.916
Rata-Rata											22.075
Variasi Serbuk Ban Karet 75%											
Sampel	Tebal (mm)			Rerata (mm)	Konversi (cm)	Angka koreksi	Meas	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)
	t1	t2	t3								
A	64.53	64.37	64.71	64.54	6.45	0.97	42	835.18	813.53	0.159	20.04
B	63.24	63	62.82	63.02	6.30	1.01	39	775.52	784.83	0.159	19.80
C	63.89	63.69	63.77	63.78	6.38	0.99	42	835.18	829.26	0.159	20.67
Rata-Rata											20.172
Variasi Serbuk Ban Karet 100%											
Sampel	Tebal (mm)			Rerata (mm)	Konversi (cm)	Angka koreksi	Meas	Stab. * Kalibrasi	Stabilitas (kg)	A0	ITS (kg/cm ²)
	t1	t2	t3								
A	62.11	62.17	62.45	62.24	6.22	1.03	37	735.75	758.87	0.159	19.39
B	61.13	61.12	61.24	61.16	6.12	1.06	35	695.98	736.64	0.159	19.15
C	62.52	62.40	62.73	62.55	6.26	1.02	38	755.64	773.58	0.159	19.66
Rata-Rata											19.400

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107



Lampiran 22 Pengujian *Cantabro* Campuran AC-11C Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN *CANTABRO* DARI HASIL KAO

Tanggal Pengujian : 4 Februari 2020
Tipe Campuran : Asphalt Concrete - Wearing Course

Dikerjakan Oleh : Iqba Budi Aditama
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah, M.T.

Variasi Ban Karet	Sampel	Berat Benda Uji (gram)		Kehilangan Berat Setelah Di Abrasi (gr)	Kehilangan Berat (%)	Rata-rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0%	A	1181.13	1169.90	11.23	0.9508	0.9328
	B	1180.14	1169.34	10.80	0.9151	
	C	1180.63	1169.62	11.01	0.9326	
25%	A	1145.48	1129.05	16.43	1.4343	1.6386
	B	1148.15	1128.06	20.09	1.7498	
	C	1146.81	1126.95	19.86	1.7318	
50%	A	1123.02	1100.49	22.53	2.0062	2.0839
	B	1121.79	1097.54	24.25	2.1617	
	C	1122.41	1099.02	23.39	2.0839	
75%	A	1093.49	1062.45	31.04	2.8386	2.7197
	B	1095.81	1066.65	29.16	2.6610	
	C	1094.65	1065.54	29.11	2.6593	
100%	A	1069.36	1036.42	32.94	3.0803	3.1067
	B	1064.93	1033.23	31.70	2.9767	
	C	1067.15	1032.33	34.82	3.2629	

Mengetahui
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T.

Yogyakarta, 26 April 2020
Peneliti

Iqba Budi Aditama
15511107