TUGAS AKHIR

PENGARUH LIMBAH BAN KARET SEBAGAI SUBSTITUSI AGREGAT HALUS TERHADAP KARAKTERISTIK DAN KINERJA CAMPURAN LASTON (*AC-WC*)

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



Taufik Akbar

22511072

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL – PROGRAM SARJANA
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2026

TUGAS AKHIR

THE EFFECT OF WASTE TIRE RUBBER AS A FINE AGGREGATE SUBSTITUTE ON THE CHARACTERISTICS AND PERFORMANCE OF ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE (AC-WC) MIXTURES

Disusun Oleh

Taufik Akbar
22511072

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

Diuji pada tanggal 27 Agustus 2026
Oleh Dewan Penguji

Pembimbing :
Dr. -Eng. Ir. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.
NIK: 145110101
Tanggal : 31 Agustus 2026

Penguji I :
Prima Juanita Romadhona, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIK: 135111103
Tanggal : 31 Agustus 2026

Penguji II :
Dr. Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.
NIK: 015110101
Tanggal : 31 Agustus 2026

Mengesahkan,

31/8-26

Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana

Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng.
NIK: 165110105

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

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

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Yang membuat pernyataan,



Taufik Akbar

(22511072)

KATA PENGANTAR

Asssalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah SWT atas segala rahmat dan kemudahan yang dilimpahkan, sehingga penulis dapat menuntaskan Tugas Akhir yang berjudul "Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik dan Kinerja Campuran Laston *AC-WC*". Tugas Akhir ini disusun sebagai salah satu syarat akademis untuk memperoleh gelar Sarjana (S1) pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

Dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini, penulis ingin menyampaikan apresiasi dan terima kasih yang tulus atas bimbingan, dukungan, serta bantuan yang telah diberikan oleh berbagai pihak. Pada kesempatan kali ini penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. Ibu Dr. -Eng. Ir. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang telah meluangkan waktu, tenaga, dan pikiran untuk memberikan bimbingan, arahan, serta masukan yang sangat berarti dalam proses penyusunan Tugas Akhir ini.
2. Ibu Prima Juanita Romadhona, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Dosen Penguji I yang telah memberikan koreksi, masukan, dan saran yang membangun demi penyempurnaan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Dr. Ir. Berlian Kushari, S.T., M.Eng., IPM., ASEAN.Eng., selaku Dosen Penguji II atas masukan dan arahan yang diberikan pada saat ujian Tugas Akhir.
4. Ibu Dinia Anggraheni, S.T., M.Eng., selaku Plt. Ketua Program Studi Teknik Sipil Program Sarjana Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.
5. Kepala Laboratorium dan Staff Laboratorium, atas ilmu, bantuan, dan dukungan yang telah diberikan selama penulis melakukan penelitian di

Laborarorium Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia.

6. Kedua orang tua saya Bapak Muhklis dan Ibu Nila Ismani atas segala do'a, nasehat, dan dukungan materil kepada saya. Serta kakak saya Abang Yogi Aditya dan Ayuk saya Bella Anggita Safitri yang sudah memberi do'a dan dukungannya selama ini.
7. Keluarga besar dan sahabat-sahabat Teknik Sipil Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia, yang senantiasa memberikan semangat, bantuan, dan kebersamaan hingga Tugas Akhir ini terselesaikan.
8. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu per satu, yang telah membantu secara langsung maupun tidak langsung dalam penyusunan Tugas Akhir ini.

Penulis menyadari bahwa Tugas Akhir ini masih jauh dari sempurna, baik dari segi isi maupun penyajian. Oleh karena itu, kritik dan saran yang bersifat membangun sangat penulis harapkan demi penyempurnaan karya ini.

Akhirnya, penulis berharap semoga Tugas Akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak, khususnya bagi pengembangan ilmu pengetahuan di bidang teknik sipil, serta dapat menjadi referensi bagi penelitian sejenis di masa mendatang.

Wassalamualaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Taufik Akbar

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL		i
HALAMAN PENGESAHAN		ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI		iii
KATA PENGANTAR		iv
DAFTAR ISI		vi
DAFTAR GAMBAR		x
DAFTAR TABEL		xii
DAFTAR LAMPIRAN		xiv
DAFTAR NOTASI		xv
ABSTRAK		xvi
ABSTRACT		xvii
BAB I	PENDAHULUAN	1
1.1	Latar Belakang	1
1.2	Rumusan masalah	3
1.3	Tujuan masalah	4
1.4	Manfaat Penelitian	4
1.5	Batasan Penelitian	5
BAB II	TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1	Penelitian Tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Bekas terhadap Kinerja Campuran *AC-WC*	7
2.2	Penelitian Tentang Penggunaan Aspal PG	8
2.3	Posisi Penelitian	9
BAB III	LANDASAN TEORI	13
3.1	Perkerasan Lentur	13

3.2 Lapis Aspal Beton (Laston) 13
3.3 Lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*) 14
3.4 Bahan Penyusun Campuran *AC-WC* 14
3.4.1 Aspal PG (*Performance Grade*) 70 15
3.4.2 Agregat Kasar 16
3.4.3 Agregat Halus 17
3.4.4 *Filler* 18
3.4.5 Limbah Ban Karet Bekas sebagai Pengganti Agregat Halus 18
3.5 Karakteristik *Marshall* Campuran AC-WC 21
3.5.1 Stabilitas (*Stability*) 21
3.5.2 Kelelehan (*Flow*) 22
3.5.3 *Marshall Quotient (MQ)* 22
3.5.4 VIM/VITM (*Void in the Mix*) 23
3.5.5 VMA (*Void in Mineral Aggregate*) 23
3.5.6 VFA/VFWA (*Void Filled with Asphalt*) 24
3.5.7 Kepadatan (*Density*) 25
3.6 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength / ITS*) 26
3.7 Pengujian *Cantabro* 27
3.8 Pengujian *Immersion Test / Index of Retained Strength* (IRS) 27
BAB IV METODE PENELITIAN 29
4.1 Metode Penelitian 29
4.2 Lokasi, Waktu, dan Sumber Data Penelitian 29
4.2.1 Sumber Data 30
4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian 30
4.3.1 Bahan Penelitian 30

4.3.2 Peralatan Penelitian 31
4.4 Variabel Penelitian dan Rencana Campuran 32
4.4.1 Gradasi Rencana Campuran *AC-WC* 32
4.4.2 Kadar Aspal Rencana 34
4.4.3 Variasi Substitusi Serbuk Ban Karet 34
4.5 Tahapan Penelitian 35
4.5.1 Pemeriksaan Material 35
4.5.2 Persiapan Bahan dan Alat 36
4.5.3 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan KAO 36
4.5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) 36
4.5.5 Pembuatan Benda Uji pada Kondisi KAO 37
4.5.6 Pengujian *Marshall* 37
4.5.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) 37
4.5.8 Pengujian Cantabro 38
4.5.9 Pengujian *Immersion Test* 38
4.6 Rencana Jumlah Benda Uji 38
4.7 Teknik Analisis Data 40
4.8 Bagan Alir Penelitian 40
BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN 43
5.1 Hasil Pengujian 43
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat 43
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG 70 44
5.1.3 Hasil Pengujian Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran *AC-WC* 45

5.1.4 Kebutuhan Agregat Campuran Aspal *AC-WC* dengan Variasi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum 50
5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 53
5.2 Analisis Hasil Pengujian 56
5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar 56
5.2.2 Karakteristik Agregat Halus 57
5.2.3 Karakteristik Aspal PG 70 58
5.2.4 Karakteristik *Marshall* Campuran *AC-WC* Untuk Mencari Nilai KAO Menggunakan Substitusi Serbuk Ban Karet 60
5.2.5 Hasil Kadar Aspal Optimum Tiap Variasi Serbuk Ban Karet 68
5.2.6 Karakteristik *Marshall*, IRS, ITS, dan CL Pada Kondisi KAO menggunakan Aspal PG 70 Dengan Substitusi Serbuk Ban Karet 69
5.2.7 Persentase Substitusi Maksimum Serbuk Ban Karet terhadap Agregat Halus pada Campuran *AC-WC* 80
5.3 Pembahasan 82
5.3.1 Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *AC-WC* 82
5.3.2 Karakteristik ITS Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Campuran *AC-WC* 82
5.3.3 Karakteristik IRS dan *Cantabro* Terhadap Derajat Keawetan Pada Campuran *AC-WC* 83
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN 90
6.1 Kesimpulan 90
6.2 Saran 91
DAFTAR PUSTAKA 92
LAMPIRAN 87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Serbuk Limbah Ban Karet	20
Gambar 4.1	Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal	32
Gambar 4.2	Bagan Alir Penelitian	41
Gambar 5. 1	Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0% pada Campuran Aspal *AC-WC*	46
Gambar 5. 2	Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 20% pada Campuran Aspal *AC-WC*	47
Gambar 5. 3	Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 40% pada Campuran Aspal *AC-W*C	48
Gambar 5. 4	Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 60% pada Campuran Aspal *AC-WC*	49
Gambar 5. 5	Grafik Hubungan Antara Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	61
Gambar 5. 6	Grafik Hubungan Antara *Flow* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	62
Gambar 5. 7	Grafik Hubungan Antara MQ dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	63
Gambar 5. 8	Grafik Hubungan Antara VITM dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	64
Gambar 5. 9	Grafik Hubungan Antara VFWA dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	65
Gambar 5. 10	Grafik Hubungan Antara VMA dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	66
Gambar 5. 11	Grafik Hubungan Antara *Density* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%	67
Gambar 5. 12	Grafik Hubungan Stabilitas dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO	70
Gambar 5. 13	Grafik Hubungan *Flow* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO	71
Gambar 5. 14	Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO	72
Gambar 5. 15	Grafik Hubungan *Void in Total Mix* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO	73
Gambar 5. 16	Grafik Hubungan *Void Filled with Asphalt* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO	74

Gambar 5. 17 Grafik Hubungan *Void in Mineral Aggregate* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO 75
Gambar 5. 18 Grafik Hubungan *Density* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO 76
Gambar 5. 19 Grafik Hubungan *Immersion* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi *KAO* 77
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan *Indirect Tensile Strength* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO 78
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kehilangan Berat dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO 79
Gambar 5. 22 Grafik Persentase Substitusi Maksimum dengan Substitusi Campuran Serbuk Ban Karet pada Campuran Aspal *AC-WC* 81

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu Tentang Pemanfaatan Limbah Ban Karet Bekas Sebagai Substitusi Agregat Halus 12

Tabel 3.1 Ketentuan Aspal PG 70 15

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar 17

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Halus 18

Tabel 3.4 Ringkasan Bahan Penyusun Campuran AC-WC Dan Perannya 20

Tabel 4.1 Bahan yang Digunakan pada Penelitian 31

Tabel 4.2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal 32

Tabel 4.3 Variasi Campuran Penelitian 33

Tabel 4.4 Jumlah Benda Uji untuk Penentuan KAO 38

Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO 38

Tabel 5. 1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar 43

Tabel 5. 2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus 44

Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik *Filler* 44

Tabel 5. 4 Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Ban Karet 44

Tabel 5. 5 Pemeriksaan Karakteristik Aspal PG 70 44

Tabel 5. 6 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 0% 45

Tabel 5. 6 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 20% 45

Tabel 5. 8 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 40% 48

Tabel 5. 9 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 60% 49

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) 50

Tabel 5. 11 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 0% 50

Tabel 5. 12 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 20% 51

Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 40% 52

Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 60% 52

Tabel 5. 15 Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall* pada Kondisi KAO dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 53
Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* pada Kondisi KAO dengan Campuran Serbuk Ban Karet 54
Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Kondisi KAO dengan Campuran Serbuk Ban Karet 54
Tabel 5. 18 Hasil Pengujian *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 55
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus 85
Tabel 5. 20 Rekapituliasi Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus 87

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG 70 88

LAMPIRAN 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG 70 89

LAMPIRAN 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal PG 70 90

LAMPIRAN 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG 70 91

LAMPIRAN 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG 70 92

LAMPIRAN 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal PG 70 dalam TCE 93

LAMPIRAN 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar 94

LAMPIRAN 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal 95

LAMPIRAN 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan *Mesin Los Angeles* 96

LAMPIRAN 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus 97

LAMPIRAN 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent* 98

LAMPIRAN 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler* Debu 99

LAMPIRAN 13 Pemeriksaan Berat Jenis Serbuk Ban Karet 100

LAMPIRAN 14 Hasil Pengujian *Marshall* (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0% 101

LAMPIRAN 15 Hasil Pengujian *Marshall* (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 20% 102

LAMPIRAN 16 Hasil Pengujian *Marshall* (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 40% 103

LAMPIRAN 16 Hasil Pengujian *Marshall* (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 60% 104

LAMPIRAN 18 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran AC-WC Variasi Serbuk 105
Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

LAMPIRAN 19 Hasil Pengujian *Index of Retained* Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet 106

DAFTAR NOTASI

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.	FTDI	= Fakultas Teknik Desain Inovasi
29.	UII	= Universitas Islam Indonesia

ABSTRAK

Pemanfaatan limbah ban karet sebagai material alternatif pada campuran perkerasan dapat menjadi salah satu upaya mengurangi limbah sekaligus mengembangkan material jalan yang lebih berkelanjutan. Penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall*, kuat tarik tidak langsung, dan derajat keawetan campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (AC-WC) yang menggunakan aspal *Performance Grade* (PG) 70.

Penelitian dilakukan secara eksperimental di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Universitas Islam Indonesia. Serbuk ban karet digunakan untuk menggantikan sebagian agregat halus tertahan saringan No.30 dengan variasi 0%, 20%, 40%, dan 60%. Kadar Aspal Optimum (KAO) ditentukan untuk setiap variasi melalui pengujian *Marshall*, kemudian campuran pada kondisi KAO diuji menggunakan *Marshall*, *Indirect Tensile Strength* (ITS), Cantabro, dan *Immersion Test/Index of Retained Strength* (IRS) dengan mengacu pada persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2025.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa menggunakan serbuk ban karet sebagai substitusi sebagian agregat halus no.30 menunjukkan bahwa proporsi serbuk ban karet maksimal dapat digunakan hingga batas maksimum 60% pada pengujian penulis. Peningkatan kadar serbuk ban karet menurunkan KAO dari 5,90% pada campuran 0% menjadi 5,67% pada campuran 60%. Nilai *Marshall* menunjukkan penurunan pada nilai stabilitas, MQ, VITM, dan VMA, sedangkan *flow, density* dan VFWA mengalami peningkatan. Hal tersebut menunjukkan durabilitas dan karakteristik pada campuran menjadi menurun seiring dengan bertambahnya substitusi serbuk ban karet. Pada nilai ITS mengalami penurunan seiring penambahan variasi serbuk ban karet. Hal tersebut menunjukkan kemampuan campuran dalam menahan tegangan tarik tidak langsung. Nilai IRS menurun dari 95,76% menjadi 93,19%. Pada nilai *Cantabro* meningkat dari 1,76% menjadi 3,62% menunjukkan derajat keawetan dan ketahanan kinerja campuran seluruh variasi hingga 60% dan masih memenuhi persyaratan yang digunakan. Dengan demikian, substitusi 60% merupakan kadar tertinggi yang diuji dan masih memenuhi seluruh parameter, tetapi belum dapat dinyatakan sebagai batas maksimum secara mutlak.

Kata kunci: *AC-WC*, agregat halus, aspal PG 70, kinerja campuran, serbuk ban karet

ABSTRACT

The use of rubber tire waste as an alternative material in pavement mixtures can be one way to reduce waste while developing more sustainable road materials. This study aims to analyze the effect of rubber tire powder as a substitute for fine aggregate on the Marshall characteristics, indirect tensile strength, and durability of Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) mixtures using Performance Grade (PG) 70 asphalt.

The study was conducted experimentally at the Highway Pavement Laboratory of the Islamic University of Indonesia. Rubber tire powder was used to partially replace the fine aggregate retained by a No. 30 sieve, with replacement rates of 0%, 20%, 40%, and 60%. The Optimum Asphalt Content (OAC) was determined for each variation through Marshall testing; subsequently, the mixtures at the OAC conditions were tested using Marshall, Indirect Tensile Strength (ITS), Cantabro, and Immersion Test/Index of Retained Strength (IRS) in accordance with the requirements of the 2025 General Specifications for Highways.

The results of the study show that using rubber tire powder as a partial substitute for No. 30 fine aggregate indicates that, in the author's tests, the proportion of rubber tire powder can be increased up to a maximum of 60%. An increase in the rubber tire powder content reduced the KAO from 5.90% in the 0% mixture to 5.67% in the 60% mixture. Marshall values showed a decrease in stability, MQ, VITM, and VMA, while flow, density, and VFWA increased. This indicates that the durability and characteristics of the mixture decline as the rubber tire powder substitution increases. The ITS value decreased as the rubber tire powder content increased. This indicates the mixture's ability to resist indirect tensile stress. The IRS value decreased from 95.76% to 93.19%. The Cantabro value increased from 1.76% to 3.62%, indicating the degree of durability and performance stability of the mixtures across all variations up to 60% and still meeting the specified requirements. Thus, a 60% substitution rate is the highest level tested and still meets all parameters, but it cannot yet be declared as an absolute maximum limit.

***Keywords**: AC-WC, fine aggregate, mix performance, PG 70 asphalt, rubber tire powder*

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan infrastruktur di Indonesia, khususnya pada sektor pembangunan jalan, mengalami peningkatan yang cukup signifikan sejalan dengan pertumbuhan ekonomi serta tingginya mobilitas masyarakat. Jalan memainkan peran penting sebagai alat transportasi yang mendukung berbagai fungsi, baik dalam bidang sosial, ekonomi, maupun dalam distribusi barang dan jasa. Karena itu, kualitas jalan sangat dipengaruhi oleh kualitas material yang digunakan serta teknologi yang digunakan dalam proses perencanaan. Kerusakan jalan yang terjadi sebelum masa pakai rencana perkerasan adalah salah satu masalah yang masih sering terjadi di Indonesia. Faktor-faktor seperti pengaruh air, beban lalu lintas, kondisi tanah dasar, proses pemadatan yang kurang efektif, dan penggunaan material konstruksi yang tidak memenuhi standar atau tidak sesuai dengan perencanaan dapat menyebabkan kondisi tersebut.

Salah satu jenis perkerasan jalan yang paling banyak digunakan saat membangun jalan adalah perkerasan lentur, juga dikenal sebagai *flexible pavement*. Perkerasan lentur ini terbuat dari campuran beraspal, yaitu campuran antara aspal dan agregat, dengan aspal berfungsi sebagai bahan pengikat antar partikel agregat. Pada lapisan permukaannya, biasanya digunakan campuran aspal panas atau *Hot Mix Asphalt* (HMA). Salah satu jenis campuran yang paling sering digunakan adalah *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*), yaitu lapisan aspal beton yang berfungsi sebagai lapisan aus. Lapisan *AC-WC* harus memiliki kualitas yang baik untuk menahan beban kendaraan, tahan terhadap deformasi, dan mencegah air masuk ke dalam struktur perkerasan karena berada di bagian atas dan berhubungan langsung dengan beban lalu lintas (Firmansyah dan Chasanah, 2018).

Dalam campuran lapis aspal beton, beberapa material utama terdiri dari aspal sebagai bahan pengikat, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Agregat halus membantu meningkatkan kekuatan dan stabilitas campuran dengan mengisi ruang

kosong di antara butiran agregat kasar. Namun, penggunaan agregat alam seperti pasir dan batu pecah terus mengalami peningkatan seiring bertambahnya kebutuhan pembangunan infrastruktur. Kondisi ini dapat mendorong eksploitasi sumber daya alam secara berlebihan, sehingga berpotensi menimbulkan berbagai permasalahan lingkungan, seperti berkurangnya ketersediaan material, terganggunya ekosistem sungai, menurunnya kualitas tanah, serta terjadinya erosi. Oleh karena itu, diperlukan bahan alternatif untuk menggantikan agregat alam yang lebih murah, mudah diperoleh, dan ramah lingkungan.

Ban bekas merupakan salah satu jenis limbah padat yang sulit terurai secara alami karena mengandung karet sintetis, karbon hitam, serta berbagai bahan kimia lain yang memiliki ketahanan tinggi terhadap proses biodegradasi. Seiring dengan meningkatnya jumlah kendaraan bermotor, volume limbah ban bekas juga terus bertambah. Pada umumnya, limbah tersebut masih sering dibuang tanpa pengolahan atau bahkan dibakar, sehingga berpotensi menimbulkan pencemaran udara maupun tanah. Meskipun demikian, ban bekas dapat dimanfaatkan kembali untuk dibuat menjadi barang berharga seperti tas, sandal, sepatu, dan lainnya. Selain digunakan sebagai bahan kerajinan, limbah ban bekas juga berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif dalam bidang konstruksi (Kusumastuti dkk., 2020). Dalam konstruksi perkerasan jalan, limbah ban bekas dapat digunakan sebagai bahan tambah sebagian agregat halus maupun agregat kasar pada campuran lapis aspal. Namun, sebelum digunakan dalam campuran, limbah ban bekas perlu diolah terlebih dahulu menjadi serbuk karet agar lebih mudah tercampur dan dapat berfungsi sebagai material substitusi agregat halus pada beton aspal.

Penelitian ini menggunakan aspal penetrasi PG 70 untuk membedakannya dari beberapa penelitian sebelumnya yang biasanya menggunakan aspal penetrasi 60/70. Pemilihan aspal dengan sistem *Performance Grade* (PG) didasarkan pada penilaian kinerja aspal terhadap kondisi temperatur layanan. Aspal PG 70 memiliki sifat yang lebih baik dalam menghadapi temperatur tinggi dan tahan terhadap deformasi, sehingga cocok untuk digunakan pada campuran lapis aspal *AC-WC* yang menerima beban lalu lintas secara langsung dan pada lapisan permukaan. Selain itu,

campuran yang menggunakan aspal pen 60/70 dinilai memiliki nilai stabilitas *Marshall* yang lebih rendah daripada campuran yang menggunakan aspal PG 70. Oleh karena itu, diharapkan bahwa kinerja mekanis dan durabilitas campuran akan ditingkatkan dengan menggunakan aspal PG 70 pada campuran lapis aspal.

Berdasarkan uraian latar belakang ini, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi sifat dan kinerja campuran lapis aspal beton atau Laston *AC-WC* dengan menggunakan ban karet bekas sebagai pengganti agregat halus. Aspal PG 70 dipilih karena memiliki potensi kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70, terutama di Indonesia karena beban lalu lintas yang tinggi dan iklim tropis. Diharapkan penelitian ini akan menemukan seberapa besar pengaruh penggunaan limbah ban karet terhadap stabilitas, durabilitas, dan kinerja campuran beton aspal. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada penggunaan ban karet bekas sebagai pengganti agregat halus dalam campuran laston *AC-WC*.

1.2 Rumusan masalah

Adapun rumusan masalah penelitian mengenai penggunaan ban karet bekas sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik dan kinerja campuran laston *AC-WC* adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah ban karet bekas sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran Lapis Aspal Beton atau *AC-WC*?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah ban karet bekas sebagai substitusi agregat halus terhadap nilai kuat tarik tidak langsung pada campuran Lapis Aspal Beton atau *AC-WC*?
3. Bagaimana pengaruh penggunaan limbah ban karet bekas sebagai pengganti agregat halus terhadap derajat keawetan pada campuran Lapis Aspal Beton (*AC-WC*)?

1.3 Tujuan masalah

Adapun tujuan penelitian dari penggunaan limbah ban karet bekas sebagai agregat halus terhadap karakteristik dan kinerja campuran laston (*AC-WC*) adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran Lapis Aspal Beton (*AC-WC*).
2. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap kuat tarik tidak langsung pada campuran Lapis Aspal Beton (*AC-WC*).
3. Menganalisis pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap derajat keawetan pada campuran Lapis Aspal Beton (*AC-WC*).

1.4 Manfaat Penelitian

Berikut ini adalah beberapa keuntungan dari penggunaan limbah ban karet bekas sebagai agregat halus dalam penelitian terhadap karakteristik dan kinerja campuran laston (*AC-WC*):

1. Memberikan pemahaman tambahan tentang kemungkinan penggunaan limbah serbuk ban karet bekas sebagai bahan pengganti agregat halus dalam campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*), khususnya untuk meningkatkan kualitas dan kekuatan lapis aspal beton.
2. Bahan pertimbangan penggunaan ban karet bekas sebagai pengganti agregat halus pada campuran lapis beton aspal.
3. Membantu dalam upaya mengurangi limbah ban karet bekas dengan menggunakannya sebagai campuran pada lapis *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*).
4. Mengurangi kerusakan lingkungan yang disebabkan oleh ban karet bekas dengan menggunakannya sebagai bahan alternatif untuk konstruksi perkerasan jalan.

1.5 Batasan Penelitian

Berikut ini adalah batasan penelitian tentang penggunaan limbah ban karet bekas sebagai agregat halus terhadap karakteristik dan kinerja campuran laston (*AC-WC*):

1. Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya di Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia. Penelitian tidak mencakup pengujian secara langsung di lapangan, tetapi hanya pengujian di laboratorium.
2. Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri atas beberapa bahan utama, yaitu sebagai berikut.
    a. Agregat kasar dan agregat halus yang digunakan diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya, Prodi Teknik Sipil UII.
    b. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal PG atau *Performance Grade* 70 yang diperoleh dari PT. Aspal Polimer Emulsindo (APE).
    c. Limbah ban karet yang digunakan berupa ban dalam sepeda motor ukuran No.30. Material tersebut diperoleh dari WAHYU JAYA MOTOR 2 yang beralamat di Jl. K.H. Muhdi, Sleman, D.I. Yogyakarta.
3. Berat keseluruhan campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*) yang digunakan pada benda uji adalah sebesar 1200 gram.
4. Pengujian dalam penelitian ini dilakukan terhadap aspal dan campuran AC-WC dengan variasi kadar serbuk ban karet sebesar 0%, 20%, 40%, dan 60% terhadap agregat halus nomor 30. Penentuan variasi kadar tersebut mengacu pada hasil penelitian sebelumnya yang telah membahas pemanfaatan serbuk ban karet sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada campuran beraspal. Aditama dan Subarka (2020) menyebutkan bahwa penggunaan serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus nomor 16 pada campuran *AC-WC* dengan aspal pen 60/70 sebaiknya tidak melebihi 50%. Sementara itu, Farza dan Hadi (2025) menjelaskan bahwa aspal PG 70 lebih disarankan

dibandingkan aspal pen 60/70 karena mampu menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik, terutama pada aspek stabilitas, kepadatan, dan ketahanan terhadap kelembapan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, variasi kadar serbuk ban karet pada penelitian ini digunakan untuk mengevaluasi pengaruhnya terhadap karakteristik campuran *AC-WC* yang menggunakan aspal PG 70.

5. Penelitian ini tidak mencakup kadar substitusi serbuk ban karet di atas 60%. Oleh karena itu, kadar 60% hanya dinyatakan sebagai kadar tertinggi yang diuji, bukan sebagai batas maksimum substitusi secara mutlak.

6. Penelitian ini tidak melakukan pengujian secara langsung terhadap penyerapan aspal, pembengkakan serbuk karet, kadar aspal efektif, serta perubahan volume dan distribusi rongga. Oleh karena itu, penjelasan mengenai penurunan KAO dan peningkatan density dibatasi berdasarkan kecenderungan hasil pengujian Marshall dan parameter volumetrik.

Setelah seluruh komponen uji dibuat, langkah berikutnya adalah melakukan berbagai pengujian untuk menentukan karakteristik campuran yang dihasilkan. Pengujian tersebut terdiri dari uji *Marshall,* uji kuat tarik tidak langsung atau *Indirect Tensile Strength* (ITS), uji *Cantabro*, serta uji *Immersion Test*.

BAB II
TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penelitian Tentang Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Bekas terhadap Kinerja Campuran *AC-WC*

Pada penelitian ini, tinjauan pustaka digunakan sebagai dasar untuk mengidentifikasi dan memetakan penelitian-penelitian terdahulu yang berkaitan dengan pemanfaatan limbah ban karet sebagai bahan substitusi agregat halus. Selain itu, tinjauan pustaka juga berfungsi untuk memperjelas arah dan fokus permasalahan penelitian, khususnya mengenai pengaruh penggunaan limbah ban karet terhadap karakteristik dan kinerja campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*). Tinjauan pustaka tersebut disusun berdasarkan dengan hasil-hasil penelitian terdahulu yang telah dilaksanakan dan akan dijadikan sebagai landasan teori ilmiah dalam mendukung pelaksanaan penelitian ini, khususnya berkaitan dengan pemanfaatan serbuk ban bekas sebagai substitusi pada campuran laston (*AC-WC*).

Aditama dan Subarka (2020) melakukan penelitian yang membahas pemanfaatan serbuk ban karet sebagai bahan pengganti sebagian agregat halus pada campuran AC-WC. Variasi kadar serbuk ban karet yang digunakan dalam penelitian tersebut yaitu 0%, 25%, 50%, 75%, dan 100%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk ban karet yang digunakan, nilai stabilitas, *Marshall Quotient* (MQ), VITM, dan VMA cenderung mengalami penurunan. Sebaliknya, nilai *flow* dan VFWA menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet dalam campuran. Selain itu, pada kadar substitusi yang tinggi, terjadi penurunan nilai IRS dan peningkatan kehilangan berat pada pengujian *Cantabro*. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet dalam jumlah yang terlalu besar dapat berdampak kurang baik terhadap durabilitas campuran. Penelitian tersebut penting sebagai dasar pemilihan variasi dalam penelitian ini, terutama karena memberi gambaran bahwa kadar substitusi tinggi perlu dibatasi dan diuji secara hati-hati.

Adilahaqi dan Kushari (2024) menempatkan limbah ban karet kendaraan sebagai pemodifikasi aspal pada campuran *AC-WC*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan karet pada kadar rendah sampai sedang dapat meningkatkan sifat mekanik tertentu, khususnya stabilitas pada kadar yang optimum, namun kehilangan berat pada uji *Cantabro* cenderung meningkat apabila kadar karet terus dinaikkan. Temuan ini menunjukkan bahwa elastisitas karet dapat memberi keuntungan pada tahap tertentu, tetapi kelebihan kadar karet dapat mengganggu keseimbangan campuran. Perbedaan utama dengan penelitian ini terletak pada posisi karet, karena penelitian ini menempatkan karet sebagai substitusi agregat halus, bukan sebagai pemodifikasi aspal.

Trisandi dan Asfiati (2023) melakukan penelitian mengenai pemanfaatan limbah ban dalam bekas sebagai bahan tambahan pada campuran *AC-WC*. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh variasi campuran yang digunakan masih memenuhi ketentuan *Marshall* sesuai Spesifikasi Bina Marga 2018. Adanya variasi kadar karet dalam campuran menyebabkan perubahan pada nilai *flow*, VIM, VFA, VMA, dan MQ. Hal tersebut menunjukkan bahwa penambahan limbah ban bekas memberikan pengaruh terhadap karakteristik *Marshall* campuran, baik dari segi volumetrik maupun mekanik, meskipun kadar variasi yang digunakan relatif kecil.

2.2 Penelitian Tentang Penggunaan Aspal PG

Widhiatmoko dan Hadi (2024) membandingkan karakteristik *Marshall* campuran *AC-WC* dengan aspal PG70 dan aspal pen 60/70 yang dicampur serbuk ban karet. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet dapat meningkatkan stabilitas sampai kadar tertentu, kemudian menurun apabila kadar terus dinaikkan. Pada penelitian tersebut, campuran dengan aspal PG70 menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi dibanding campuran dengan aspal pen 60/70. Temuan ini menjadi dasar penting bagi penelitian ini karena menunjukkan potensi PG70 untuk menghasilkan campuran yang lebih stabil pada kondisi tertentu.

Farza dan Hadi (2025) meneliti penerapan aspal PG 70 dan pen 60/70 pada campuran *HRS-WC*. Hasil kajian tersebut menunjukkan bahwa PG 70 memiliki kecenderungan kinerja mekanis dan durabilitas yang lebih baik dibanding pen 60/70 pada campuran yang diuji. Walaupun jenis campurannya bukan *AC-WC*, penelitian tersebut memperkuat pemahaman bahwa pemilihan *binder* berpengaruh terhadap mutu campuran beraspal.

Widhiatmoko dan Hadi (2025) membandingkan campuran *Superpave* dengan penambahan serbuk ban karet pada aspal pen 60/70 dan PG70 menggunakan metode pemadatan *Marshall* dan *gyratory*. Penelitian tersebut menunjukkan bahwa penggunaan PG70 dan penambahan serbuk karet berpengaruh terhadap karakteristik volumetrik, mekanis, dan durabilitas. Namun, kadar karet yang berlebihan dapat mengganggu ikatan kohesi dan adhesi campuran. Hal ini relevan dengan penelitian ini karena kadar substitusi karet perlu dibatasi agar tidak menurunkan kinerja campuran.

2.3 Posisi Penelitian

Penelitian mengenai limbah ban karet pada campuran beraspal berkembang melalui dua pendekatan utama. Pendekatan pertama menempatkan serbuk ban karet sebagai substitusi sebagian fraksi agregat halus. Pendekatan kedua menempatkan limbah ban karet sebagai bahan tambah atau pemodifikasi pada aspal. Meskipun sama-sama menggunakan material karet bekas, kedua pendekatan tersebut menghasilkan mekanisme kerja yang berbeda terhadap sifat volumetrik, sifat *Marshall*, ketahanan abrasi, kekuatan tarik tidak langsung, dan ketahanan terhadap perendaman.

Dibandingkan penelitian terdahulu, penelitian ini memiliki posisi yang lebih spesifik karena berfokus pada penggantian agregat halus pada fraksi tertahan saringan No.30 dengan limbah ban karet bekas, menggunakan campuran laston *AC-WC,* aspal PG 70, serta evaluasi kinerja yang memadukan *Marshall*, ITS, *Cantabro*, dan *Immersion*/IRS. Adapun Tabel 2.1 berikut menunjukkan perbedaan penelitian penulis dengan penelitian sebelumnya.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu Tentang Pemanfaatan Limbah Ban Karet Bekas Sebagai Substitusi Agregat Halus

No	Aspek	Penelitian Sebelumnya					
		Judul Penelitian	Jenis Campuran	Jenis Aspal	Bahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
1.	Aditama dan Subarka (2020)	Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Pengganti Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran	*AC-WC*	BNA Blend 75:25	Serbuk Ban Karet	Uji *Marshall*, uji *Immersion Test, Index of Tensile Strength* (ITS), dan *CL* dengan bahan ikat aspal penetrasi 60/70.	Pengujian *Marshall* menunjukkan nilai stabilitas, MQ, VITM, dan VMA mengalami penurunan, untuk nilai *flow* dan VFWA mengalami kenaikan. 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 ≥ 90%.
2.	Adilahaqi dan Kushari (2024)	Pengaruh Penggunaan Limbah Ban Karet Kendaraan Sebagai Pemodifikasi Aspal Terhadap Kinerja *Marshall* Pada Campuran *Ac-Wc*	*AC-WC*	Aspal Pen 60/70	Limbah Ban Karet	Mengunaakan metode *Marshall* dan *CL* dengan menambahkan serbuk ban bekas dengan kadar 0%,2%,4%,6% pada aspal.	Uji karatersitik stabilitas aspal dengan penambahan *Crumb Rubber* menunjukan hasil terbaik terdapat pada presentase 2%. Disisi lain, nilai *Cantabro loss* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran menunjukan kenaikan kehilangan berat yang signifikan dengan presentase 2% memiliki keausan yang lebih kecil dibandingkan dengan presentase yang lainya
3.	Trisandi dan Asfiati (2023)	Pengaruh Penambahan Limbah Ban Dalam Bekas Kendaraan Pada Lapisan *Asphalt Concrete Wearing Course (Ac-Wc)* Terhadap Karakteristik *Marshall*	*AC-WC*	Aspal Pen 60/70	Limbah Ban Bekas	Menggunakan metode *Marshall* dengan menambahkan limbah ban karet (1,5%, 2%, 2,5%).	Hasil pengujian *marshall* test seluruh hasilnya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Dimana penambahan paling efektif adalah pada variasi 1,5% dimana diproleh nilai *Bulk Density* sebesar 2,294 gr/cc, stabilitas = 1118 kg, *flow* = 2,95%, VIM = 4,35%, VFA = 71,11%, VMA = 15,30%, dan MQ = 365 kg/mm.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu Tentang Pemanfaatan Limbah Ban Karet Bekas Sebagai Substitusi Agregat Halus

`	Aspek	Penelitian Sebelumnya					
		Judul Penelitian	Jenis Campuran	Jenis Aspal	Bahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
4.	Widhiatmoko dan Hadi (2024)	Studi Perbandingan Karakteristik *Marshall* dan IRS antara Aspal Polimer PG70 Campur Serbuk Ban Karet Dengan Aspal PEN 60/70 Campur Serbuk Ban Karet Pada Campuran *HRS-WC* dan *SUPERPAVE*	*HRS-WC* dan *Superpave*	Aspal PG70	Serbuk Ban Karet	Menggunakan karatkeristik *Marshall*, IRS dan *variable* bebas yaitu penambahan serbuk karet dan jenis aspal.	Kadar karet optimum diperkirakan 4%. Campuran dengan PG70 menunjukkan stabilitas lebih tinggi dibanding pen 60/70
5.	Farza dan Hadi (2025)	Studi Komprasi Penerapan Aspal PG 70 dan PEN 60/70 Pada Campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC)	*HRS-WC*	Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG 70	-	MS, IRS, ITS, TSR, CL	*HRS-WC* dengan aspal PG 70 memberikan performa lebih baik pada hampir seluruh parameter. Stabilitas *Marshall* meningkat sebesar 16,41%, IRS naik 9,48%, ITS meningkat 5,26%, dan TSR bertambah 4,7%. Nilai CL juga menurun signifikan sebesar 52,27%, menandakan ketahanan abrasi yang lebih baik
6.	Widhiatmoko dan Hadi (2025)	Studi Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Pg70 Menggunakan Metode Pemadatan *Marshall* Dan *Gyratory*	*Superpave*	Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70	Serbuk Ban Karet	*Marshall, Index Retained Strenght (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR),* dan *Cantabro Loss (CL)*	Hasil penelitian didapatkan dari segi volumetrik penggunaan aspal PG 70 memiliki hasil yang lebih baik dari aspal PEN 60/70, begitu juga dari segi mekanis dimana hasil stabilitas, ITS, CL pada aspal PG-70 masih lebih baik dari pada aspal PEN 60/70, dan hasil durabilitas pada pengujian IRS didapatkan untuk aspal PG-70 memiliki ketahanan terhadap suhu ekstirm dari pada aspal PEN 60/70.

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian – Penelitian Terdahulu Tentang Pemanfaatan Limbah Ban Karet Bekas Sebagai Substitusi Agregat Halus

`	Aspek	Penelitian Sebelumnya					
		Judul Penelitian	Jenis Campuran	Jenis Aspal	Bahan	Metode Penelitian	Hasil Penelitian
7.	Akbar (2026)	Pengaruh Limbah Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Dan Kinerja Campuran Laston (*AC-WC*)	*AC-WC*	Aspal PG70	Limbah Ban Karet	Uji *Marshall*, uji *Immersion Test*, *Index Tensile Strength* (ITS), dan *Cantabro Loss* (CL) dengan bahan ikat aspal PG 70.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kadar serbuk ban karet menurunkan KAO dari 5,90% pada campuran 0% menjadi 5,67% pada campuran 60%. Nilai stabilitas, *Marshall Quotient*, ITS, dan IRS cenderung menurun, sedangkan *flow* dan kehilangan berat *Cantabro* cenderung meningkat. Nilai IRS menurun dari 95,76% menjadi 93,19%, sementara *Cantabro* meningkat dari 1,76% menjadi 3,62%. Meskipun terjadi perubahan karakteristik dan kinerja campuran, seluruh variasi hingga 60% masih memenuhi persyaratan yang digunakan. Dengan demikian, substitusi 60% merupakan kadar tertinggi yang diuji dan masih memenuhi seluruh parameter, tetapi belum dapat dinyatakan sebagai batas maksimum secara mutlak

BAB III
LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan struktur perkerasan jalan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat sehingga lapisan-lapisannya bersifat relatif elastis dan mampu menyesuaikan diri terhadap deformasi kecil yang terjadi pada lapisan di bawahnya. Beban roda yang bekerja di permukaan jalan didistribusikan dari lapisan yang lebih rendah ke lapisan dasar. Oleh karena itu, setiap lapisan perkerasan perlu berfungsi secara terpadu sebagai satu kesatuan sistem yang saling mendukung. Hal ini bertujuan agar tegangan yang diteruskan ke tanah dasar tetap berada dalam batas daya dukung yang diperbolehkan.

Kinerja perkerasan lentur dipengaruhi oleh mutu bahan, tebal lapisan, kepadatan hasil pemadatan, kondisi drainase, temperatur pelayanan, dan repetisi beban lalu lintas. Pada iklim tropis, lapisan permukaan perkerasan harus mampu menahan temperatur yang relatif tinggi, perubahan kadar air, serta beban berulang dari kendaraan. Apabila salah satu komponen penyusun campuran tidak bekerja dengan baik, maka kerusakan seperti alur, retak, *bleeding*, pelepasan butir, dan lubang dapat terjadi lebih cepat sebelum umur rencana tercapai.

3.2 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis aspal beton, juga dikenal sebagai laston merupakan campuran beraspal panas dengan material penyusun seperti *filler*, aspal, dan agregat bergradasi menerus sebagai bahan pengikat. Campuran ini diproduksi pada temperatur tertentu agar aspal mampu melapisi permukaan agregat secara merata, kemudian dihamparkan dan dipadatkan sehingga terbentuk lapisan yang padat, stabil, dan kedap air. Karena menggunakan gradasi rapat, laston umumnya mempunyai tekstur yang lebih halus dibanding campuran bergradasi terbuka dan mampu memberikan kenyamanan berkendara yang lebih baik.

Secara umum, campuran laston yang memiliki kualitas baik harus mampu memenuhi beberapa karakteristik utama, seperti stabilitas yang cukup untuk

menahan deformasi akibat beban lalu lintas, fleksibilitas dalam mengurangi potensi retak, serta durabilitas terhadap pengaruh air dan perubahan cuaca. Selain itu, campuran juga perlu memiliki ketahanan aus terhadap gesekan roda kendaraan dan tingkat kemudahan kerja (*workability*) yang baik selama proses pencampuran maupun pemadatan. Bentuk butiran, tekstur permukaan, kekuatan, dan susunan gradasi agregat penyusun memengaruhi mutu campuran laston. Jenis aspal yang digunakan juga memengaruhi mutu campuran laston.

3.3 Lapisan *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*)

Lapis aspal beton (*AC-WC*) berfungsi sebagai lapisan permukaan pada sistem perkerasan lentur yang menerima kontak langsung dan berinteraksi dengan beban roda kendaraan. Karena posisinya berada di permukaan, lapisan ini menerima pengaruh paling besar dari beban lalu lintas, gaya pengereman, gesekan ban, air hujan, radiasi matahari, dan perubahan temperatur. Dengan demikian, *AC-WC* harus mampu mempertahankan kestabilan bentuk, memberikan kenyamanan serta kekesatan permukaan, dan melindungi lapisan di bawahnya dari masuknya air.

Karakter *AC-WC* yang bergradasi rapat membuat peran agregat halus menjadi penting karena fraksi halus berpengaruh langsung terhadap pembentukan *mastic*, rongga udara campuran, kepadatan, dan tekstur permukaan. Pada penelitian ini, sebagian fraksi agregat halus diganti menggunakan limbah ban karet bekas. Perubahan pada fraksi tersebut diperkirakan akan memengaruhi keseimbangan antara kekakuan, kelenturan, daya lekat, dan ketahanan aus campuran *AC-WC*.

3.4 Bahan Penyusun Campuran *AC-WC*

Campuran *AC-WC* terdiri atas beberapa material penyusun utama, yaitu aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Pada penelitian ini, campuran tersebut diberi tambahan limbah ban karet bekas yang digunakan sebagai bahan substitusi sebagian agregat halus. Tiap-tiap bahan memiliki fungsi yang berbeda, tetapi seluruhnya harus bekerja secara terpadu agar campuran yang dihasilkan memenuhi persyaratan kekuatan, keawetan, dan stabilitas.

3.4.1 Aspal PG (*Performance Grade*) 70

Aspal adalah material hidrokarbon termoplastis yang berfungsi mengikat agregat, melapisi permukaan butir, dan memberikan sifat kedap air pada campuran. Bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal PG 70. Penyebutan PG 70 mengikuti identitas material yang direncanakan digunakan pada penelitian dan dimaksudkan untuk membedakannya dari penelitian-penelitian terdahulu yang banyak menggunakan aspal pen 60/70.

Secara konseptual, pendekatan *performance grade* berbeda dari sistem penetrasi. Sistem penetrasi mengelompokkan *binder* terutama berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25 derajat *Celsius*, sedangkan sistem *performance grade* berangkat dari kemampuan *binder* mempertahankan kinerja pada kondisi temperatur layanan tertentu. Karena itulah *binder* berbasis PG umumnya dipilih ketika peneliti ingin melihat perilaku campuran dengan pendekatan yang lebih berorientasi pada kinerja. Karakterisasi awal terhadap aspal PG 70 dalam penelitian ini dilakukan menggunakan pengujian konvensional yang tersedia di laboratorium. Pengujian tersebut meliputi berat jenis, penetrasi, titik lembek, daktilitas, titik nyala atau titik bakar, serta kelarutan. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian Farza (2025) dan Widhiatmoko (2025), yang terlebih dahulu menilai mutu awal *binder* sebelum campuran diuji lebih lanjut. Ketentuan teknis Aspal PG 70 mengacu pada standar Bina Marga disajikan pada Tabel 3.1 berikut ini.

Tabel 3.1 Ketentuan Aspal PG 70

No.	Sifat-sifat	Metode Pengujian	Tipe 1 Aspal Pen. 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG64	PG64
1.	Penetrasi pada 25 °c (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan ([1])	
2.	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis (G*/sinò) pada osilasi 10 rad/detik kPa, (°c)	SNI 06-6442-2000		64	
3.	Viskositas Kinematis 135 ^{0}C (cSt) ([3])	SNI 7729:2011	300		
		AASHTO TM 6-19		3000	
4.	Titik Lembek (°c)	SNI 2434:2011		Dilaporkan ([2])	

Lanjutan Tabel 3.1 Ketentuan Aspal PG 70

No.	Sifat-sifat	Metode Pengujian	Tipe 1 Aspal Pen. 60/70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				PG64	PG64
5.	Daktilitas pada 25 ^{0}C, (cm)	SNI 2432:2011	> 100		
6.	Titik Nyala (^{o}c)	SNI 2433:2011	> 232	230	
7a.	Kelarutan dalam *Trichloroethylene* (%)	SNI 2438:2015	> 99	> 99 (5)	
7b.	Kecuali Aspal Modifikasi dengan Asbuton	SNI 03-6835-2002			
	- Asbuton Murni			> 99	
	- Asbuton Pracampur (^{6})			90	
8.	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (^{o}c)	ASTM 1)7173-20 SNI 2434:2011		2,2	
	Pengujian Residu hasil TFOT (SNI-06-2440-1991) atau RTFOT(SN1-03-6835-2002) :				
	Penurunan Berat TFOT (%)	SNI 06-2440-1991	< 0,8		
	Perubahan Berat RTFOT (naik/turun) (%)	SNI 03-6835-2002		< 1,0	
	MSCR, pada 64^{0}e $J_{nr\text{diff}}$ $^{(7)}$, (%) $J_{nr3,2}$, (kPa^{-1})	AASHTO T350-19		75	
					0,5
11.	Penetrasi pada 25 ^{0}C (% semula)	SNI 2456:2011			
12.	Daktilitas pada 25 ^{0}C (cm)	SNI 2432:2011	50		
	Pengujian Residu hasil PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperatur 100^{0}C dan tekanan 2,1 MPa				
13.	Temperatur yang menghasilkan Ges Dinamis sinò) maksimum 6000 kPa pada osilasi 10 rad/detik (^{o}c)	SNI 06-6442-2000		31	

(Sumber: Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025)

3.4.2 Agregat Kasar

Agregat kasar merupakan kerangka utama campuran dan memainkan peran penting dalam kemampuan campuran untuk menahan beban. Agregat kasar memiliki banyak sifat yang diutamakan, termasuk kekuatan, ketahanan aus, bentuk yang tidak pipih, tekstur permukaan yang cukup kasar, kebersihan, dan kelekatan yang baik terhadap aspal. Semakin baik sifat *interlocking* antar butiran agregat kasar, semakin besar kontribusinya terhadap stabilitas campuran *AC-WC*. Ketentuan

teknis agregat kasar mengacu pada standar Bina Marga disajikan pada Tabel 3.2 di halaman berikut ini.

Tabel 3.2 Ketentuan Agregat Kasar

Sifat-sifat			Metode Pengujian	Persyaratan
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	SNI 3407:2008	Maks.12%
		magnesium sulfat		Maks.18%
Abrasi dengan mesin *Los Angeles*	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks.6%
		500 putaran		Maks.30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi Iainnya	100 putaran		Maks.8%
		500 putaran		Maks.40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			SNI 2439:2011	Min.95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar		SMA	SNI 7619:2012	100/90
		Lainnya		95/90
Partikel Pipih dan Lonjong		SMA	SNI 8287: 2016 Perbandingan I : 5	Maks.5%
		Lainnya		Maks.10%
Material lolos Ayakan No.200			SNI ASTM Cl 17: 2012	Maks.l%

(Sumber: Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025)

3.4.3 Agregat Halus

Agregat halus merupakan fraksi agregat yang berfungsi mengisi rongga di sela-sela agregat kasar dan membantu pembentukan struktur campuran yang rapat. Fraksi ini ikut menentukan *workability*, kepadatan, kebutuhan aspal, serta terbentuknya *mastic* yang berperan terhadap kohesi campuran. Pada campuran lapis aspal *AC-WC*, pengendalian agregat halus sangat penting karena perubahan kecil pada fraksi halus dapat mengubah nilai rongga, *flow*, dan stabilitas campuran.

Pada penelitian ini, limbah ban karet bekas berfungsi sebagai pengganti sebagian fraksi agregat halus pada saringan No.30. Pemilihan fraksi ini relevan karena ukuran butir tersebut berperan dalam pengisian rongga dan pembentukan *mastic*, sehingga perubahan material pada fraksi tersebut diperkirakan berpengaruh langsung terhadap karakteristik volumetrik maupun kinerja mekanis campuran.

Ketentuan teknis agregat halus mengacu pada standar Bina Marga yang dilihat pada Tabel 3.3 di halaman berikut ini.

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Halus

Sifat-sifat		Metode Pengujian	Persyaratan
Nilai Setara Pasir		SNI 034428-1997	Min. 60%
Methylene Blue Value	MB . fraksi 0/2mm	ASTM C837-09 (2019)	≤ 2
	MBF fraksi 0/0 125mm		≤ 10
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan		SNI 03-6877-2002	Min.45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat		SNI 034141-1996	Maks.l%
Agregat Lolos Ayakan No.200		SNI ASTM Cl 17: 2012	Maks.10%

(Sumber: Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025)

3.4.4 *Filler*

Filler adalah material yang lolos saringan No.200. Perannya bukan sekadar mengisi rongga yang sangat halus, tetapi juga memperkuat mortar aspal dan membantu mencapai kestabilan campuran. *Filler* yang terlalu sedikit dapat membuat mortar kurang kompak, sedangkan *filler* yang terlalu banyak dapat menjadikan campuran terlalu kaku dan sukar dikerjakan.

3.4.5 Limbah Ban Karet Bekas sebagai Pengganti Agregat Halus

Limbah ban karet bekas memiliki sifat fisik dan mekanis yang unik, seperti elastisitas tinggi, ketahanan abrasi, dan kemampuan menyerap energi. Ketika ban bekas dicacah menjadi serbuk halus (*crumb rubber*) dan digunakan sebagai pengganti sebagian agregat halus dalam campuran AC-WC, sifat-sifat tersebut akan memengaruhi karakteristik campuran.

Pengaruh fisik dan volumetrik karena densitas karet lebih rendah dibanding agregat mineral, substitusi karet menyebabkan nilai berat jenis campuran menurun. Hal ini dapat berdampak pada peningkatan nilai VIM dan perubahan VMA. Selain itu, karet memiliki daya serap aspal yang rendah, sehingga film aspal dapat menjadi lebih tebal. Dalam jumlah tertentu, kondisi ini dapat meningkatkan fleksibilitas

campuran, namun jika dosis terlalu besar justru dapat mengurangi kepadatan dan menurunkan stabilitas.

Penggunaan limbah ban karet bekas sebagai pengganti sebagian agregat halus pada campuran laston *AC-WC* menimbulkan perubahan baik pada sifat volumetrik maupun pada sifat mekanis campuran. Perubahan tersebut terjadi karena karet memiliki berat jenis, kekakuan, tekstur permukaan, dan respon elastis yang berbeda dari agregat mineral. Oleh sebab itu, pengaruh karet di dalam campuran tidak dapat dinilai hanya dari satu parameter, melainkan harus dibaca secara menyeluruh melalui karakteristik *Marshall*, ITS, *Cantabro*, dan *immersion*.

Ban kendaraan tersusun dari karet alam, karet sintetis, karbon hitam, serat, dan bahan aditif lain yang dirancang agar tahan terhadap gesekan, benturan, dan perubahan cuaca. Setelah tidak terpakai, ban bekas menjadi limbah padat yang sulit terurai secara alami. Salah satu bentuk pemanfaatannya adalah mengolah ban bekas menjadi serbuk atau butiran karet berukuran kecil untuk dimanfaatkan kembali pada bidang konstruksi jalan.

Secara fisik, limbah ban karet mempunyai berat jenis yang lebih rendah dibanding agregat mineral dan memiliki sifat elastis, lebih lunak, serta permukaan yang cenderung berbeda dari pasir atau abu batu. Sifat-sifat tersebut dapat memberikan dua pengaruh yang berbeda terhadap campuran. Pada satu sisi, karet dapat meningkatkan kelenturan dan kemampuan campuran dalam menyerap tegangan. Pada sisi lain, karena kekakuannya lebih rendah daripada agregat mineral, penambahan karet yang terlalu besar dapat menurunkan *interlocking* antarbutir dan mengurangi kemampuan campuran menahan beban.

Agar dapat berfungsi dengan baik dalam campuran beraspal, limbah ban karet yang digunakan harus bersih, bebas dari kawat, serat tekstil, tanah, dan bahan organik. Keseragaman ukuran butir juga penting agar distribusi material di dalam campuran lebih terkendali. Melalui proses pengolahan yang sesuai, limbah ban karet berpotensi dimanfaatkan sebagai material alternatif yang tidak hanya mendukung kinerja teknis campuran, tetapi juga memberikan manfaat dari aspek keberlanjutan lingkungan.

Aditama (2020) menyatakan dalam proses pencampuran metode yang digunakan pada penelitian adalah menggunakan perbandingan berat jenis antara serbuk ban bekas dengan agregat halus. Persamaan yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$\text{Berat} = \frac{Berat\ jenis\ ban\ karet}{Berat\ jenis\ agregat\ halus} \times Berat\ agregat\ dalam\ campuran \qquad (3.\ 1)$$

Adapun ringkasan bahan penyusun campuran *AC-WC* beserta perannya terhadap karakteristik dan kinerja campuran dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Ringkasan Bahan Penyusun Campuran *AC-WC* dan Perannya

Bahan	**Peran dalam campuran**	**Dampak dominan terhadap karakteristik campuran**
Aspal	Mengikat agregat, melapisi permukaan butir, dan memberi sifat kedap air.	Mempengaruhi kohesi, fleksibilitas, daya lekat, dan ketahanan terhadap air.
Agregat kasar	Membentuk kerangka utama campuran.	Sangat berpengaruh terhadap stabilitas dan ketahanan deformasi.
Agregat halus	Mengisi rongga antaragregat kasar dan membantu pembentukan *mastic*.	Mempengaruhi *workability*, *density*, nilai rongga, serta *respons flow* dan stabilitas.
Filler	Mengisi rongga mikro dan memperkuat *mastic*.	Mempengaruhi kohesi, kekakuan, dan durabilitas campuran.
Limbah ban karet	Bertindak sebagai substitusi sebagian agregat halus dengan sifat elastis dan berat jenis lebih rendah.	Dapat meningkatkan kelenturan pada kadar tertentu, tetapi berpotensi menurunkan *interlocking* dan kekakuan bila kadarnya terlalu tinggi.

Adapun foto serbuk limbah ban karet bekas dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini.



Gambar 3.1 Serbuk Limbah Ban Karet

3.5 Karakteristik *Marshall* Campuran AC-WC

Karakteristik *Marshall* digunakan untuk menilai perilaku dasar campuran beraspal melalui parameter stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient*, dan parameter volumetrik campuran. Melalui pengujian *Marshall*, dapat diketahui apakah campuran memiliki kemampuan memikul beban yang memadai, masih cukup lentur, serta mempunyai komposisi rongga yang sesuai. Pada penelitian yang menggunakan bahan substitusi seperti limbah ban karet, evaluasi *Marshall* menjadi sangat penting karena perubahan sifat fraksi halus biasanya langsung tercermin pada parameter-parameter tersebut.

3.5.1 Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan campuran aspal untuk menahan beban yang paling besar sebelum mengalami kerusakan atau perubahan bentuk plastis dalam kondisi pengujian dikenal sebagai stabilitas. Beberapa faktor, termasuk daya lekat antara aspal dan agregat, kekakuan aspal, kualitas saling mengunci antarbutir agregat (*interlocking*), dan tingkat kepadatan campuran, memengaruhi nilai stabilitas secara keseluruhan. Campuran dengan nilai stabilitas yang baik cenderung lebih tahan terhadap kerusakan permanen, terutama di bawah beban lalu lintas yang sering dan suhu pelayanan yang tinggi.

3.5.2 Kelelehan (*Flow*)

Salah satu parameter pengujian *Marshall* adalah *flow*, yang menunjukkan seberapa besar perubahan bentuk campuran aspal ketika diberi beban hingga mencapai kondisi maksimum. Kemampuan campuran untuk mengalami deformasi tanpa kerusakan langsung menjadi alasannya. Nilai *flow* yang terlalu tinggi menunjukkan bahwa campuran terlalu lunak atau plastis, sehingga lebih mudah mengalami deformasi permanen seperti terbentuknya alur pada permukaan perkerasan. Sebaliknya, nilai *flow* yang terlalu rendah menunjukkan bahwa campuran cenderung menjadi kaku, sehingga lebih rentan terhadap retak. Oleh karena itu, nilai *flow* harus berada dalam rentang persyaratan agar campuran memiliki keseimbangan kekakuan dan kelenturan.

3.5.3 *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan parameter yang diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. Nilai ini digunakan untuk menunjukkan tingkat kekakuan campuran aspal dalam menahan perubahan bentuk akibat beban yang bekerja. Campuran yang terlalu kaku dapat meningkatkan risiko retak, sedangkan campuran yang terlalu lentur lebih mudah mengalami deformasi permanen. Namun, nilai MQ yang lebih tinggi menunjukkan bahwa campuran cenderung lebih kaku, sedangkan nilai MQ yang lebih rendah menunjukkan bahwa campuran lebih lentur. Persamaan 3.1 berikut digunakan untuk menghitung nilai *Marshall Quotient* pada penelitian ini merujuk pada AASHTO : T 245 - 78.

$$MQ = \frac{S}{R} \tag{3. 2}$$

Keterangan: S = Nilai stabilitas (kg)
R = Nilai *flow* (mm)
MQ = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)

3.5.4 VIM/VITM (*Void in the Mix*)

VIM atau VITM merupakan nilai yang menunjukkan persentase rongga udara yang masih terdapat dalam campuran aspal setelah dilakukan proses pemadatan. Rongga udara tetap diperlukan dalam jumlah tertentu agar campuran tidak mudah mengalami *bleeding*. Akan tetapi, apabila nilai VITM terlalu besar, air dan udara akan lebih mudah masuk ke dalam campuran. Kondisi tersebut dapat mempercepat terjadinya oksidasi pada aspal, mengurangi ketahanan campuran terhadap air, serta meningkatkan risiko terlepasnya butiran agregat. Pada penelitian ini, nilai VITM dihitung dengan mengacu pada Persamaan 3.2 berikut yang merujuk pada AASHTO : T 245 - 78.

$$\text{VITM} = 100 - \left(100 \text{ x } \frac{g}{h} \right) \tag{3.3}$$

Untuk menghitung berat jenis maksimum teoritis dapat dihitung dengan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$\text{BJ} = \frac{100}{\frac{\%\ agregat}{BJ\ agregat} + \frac{\%\ aspal}{BJ\ aspal}} \tag{3.4}$$

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)

3.5.5 VMA (*Void in Mineral Aggregate*)

VMA atau *Void in Mineral Aggregate* merupakan parameter yang menunjukkan jumlah rongga antarbutir agregat dalam campuran aspal setelah mengalami proses pemadatan. Rongga tersebut mencakup rongga udara serta ruang yang terisi oleh aspal efektif. Besarnya nilai VMA menggambarkan ketersediaan ruang di antara partikel agregat yang dapat ditempati oleh aspal dan udara. Jika nilai VMA terlalu

kecil, lapisan aspal yang menyelimuti agregat dapat menjadi tipis, menurunkan durabilitas campuran. Sebaliknya, nilai VMA yang terlalu besar dapat meningkatkan kebutuhan aspal dan berisiko menurunkan stabilitas apabila tidak dikontrol dengan baik. Pada penelitian ini, perhitungan nilai VMA dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.4 berikut yang merujuk pada AASHTO : T 245 - 78.

$$\text{VMA} = 100 - \frac{(100-B)x\ G}{BJ\ Bulk\ Agregat} \quad (3.\ 5)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

B = Persentase aspal terhadap campuran

G = Berat isi campuran

3.5.6 VFA/VFWA (*Void Filled with Asphalt*)

Parameter yang dikenal sebagai VFA atau VFWA (*Void Filled with Asphalt*) menunjukkan persentase rongga dalam VMA yang terisi oleh aspal efektif. Dengan kata lain, VFWA menunjukkan seberapa besar ruang kosong di antara butiran agregat yang telah ditempati oleh aspal setelah campuran mengalami proses pemadatan. Nilai VFWA merupakan salah satu metrik penting untuk menilai keseimbangan kadar aspal pada campuran aspal beton.

Nilai VFWA yang terlalu rendah menunjukkan bahwa aspal efektif di dalam campuran belum mampu mengisi rongga antaragregat secara memadai dan belum menyelimuti permukaan agregat dengan baik. Kondisi tersebut dapat mengurangi kualitas ikatan antara aspal dan agregat, sehingga campuran menjadi lebih rentan terhadap kerusakan, seperti pelepasan butiran agregat dan penurunan daya tahan campuran. Sebaliknya, apabila nilai VFWA terlalu tinggi, hal ini menandakan bahwa sebagian besar rongga antaragregat telah terisi oleh aspal. Campuran dengan kondisi tersebut cenderung memiliki kadar aspal berlebih, sehingga berpotensi mengalami *bleeding* atau naiknya aspal ke permukaan perkerasan, terutama saat menerima beban lalu lintas berulang dan berada pada temperatur tinggi. Pada

penelitian ini, nilai VFWA dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.5 berikut yang merujuk pada AASHTO : T 245 - 78.

$$\text{VFWA} = 100 \text{ x } (\frac{VMA-VITM}{VMA}) \quad (3.6)$$

Keterangan:

VFWA = Rongga udara terisi aspal (%)

VMA = Rongga udara pada mineral agregat (%)

VITM = Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)

3.5.7 Kepadatan (*Density*)

Density menyatakan tingkat kerapatan campuran setelah dipadatkan. Secara umum, semakin rapat susunan partikel di dalam campuran maka semakin besar pula kemampuannya dalam menahan masuknya air dan menahan deformasi. Meskipun demikian, *density* harus dipahami bersama parameter rongga karena campuran yang sangat padat tetapi tidak memiliki rongga yang cukup dapat berpotensi mengalami *bleeding*. Oleh sebab itu, interpretasi *density* selalu dikaitkan dengan nilai VIM, VMA, dan VFA. Adapun perhitungan *density* dihitung menggunakan Persamaan 3.6 dan 3.7 berikut yang merujuk pada AASHTO : T 245 - 78.

$$\text{G} = \frac{C}{F} \quad (3.7)$$

$$\text{F} = D - \text{E} \quad (3.8)$$

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)

3.6 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength / ITS*)

Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) digunakan untuk menilai kemampuan campuran aspal menahan tegangan tarik tidak langsung. Dalam pengujian ini, benda uji silindris diberi beban tekan secara diametral sehingga di bagian tengah benda uji timbul tegangan tarik yang menyebabkan benda uji pecah. Karena banyak jenis kerusakan perkerasan diawali oleh tegangan tarik, nilai ITS dapat digunakan sebagai indikator ketahanan campuran terhadap retak, terutama retak lelah dan retak akibat pengaruh suhu.

Semakin tinggi nilai ITS, maka semakin baik kemampuan campuran dalam menahan gaya tarik yang bekerja. Pada campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (*AC-WC*) dengan penggunaan limbah ban karet sebagai bahan substitusi, nilai ITS dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti kualitas ikatan antara aspal dan agregat, susunan struktur internal campuran, serta sifat elastis dari partikel karet. Pada kadar tertentu, keberadaan partikel karet dapat membantu meredam tegangan yang terjadi pada campuran. Namun, apabila kadar karet yang digunakan terlalu tinggi, kemampuan saling mengunci antar agregat dapat menurun sehingga berpotensi mengurangi nilai ITS. Perhitungan nilai kuat tarik tidak langsung pada penelitian ini mengacu pada Persamaan 3.8 berikut yang merujuk pada SNI 6753: 2015.

$$\text{ST} = \frac{2 \times Pmax}{\pi \times d \times h} \qquad (3.\ 9)$$

Keterangan:

St = Nilai kuat tarik secara tidak langsung (kg/cm2)
Pmax = Beban maksimum (kg)
h = Tinggi benda uji (cm)
d = Diameter benda uji (cm)

3.7 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* digunakan untuk mengetahui persentase kehilangan berat pada campuran aspal akibat proses abrasi dan tumbukan ketika benda uji diputar di dalam mesin *Los Angeles* tanpa bola baja. Pengujian ini bertujuan untuk menilai kemampuan campuran dalam mempertahankan ikatan antarbutir agregat agar tidak mudah mengalami pelepasan butiran atau *raveling*. Semakin rendah nilai kehilangan berat yang dihasilkan, maka semakin baik ikatan antar material penyusun campuran serta semakin tinggi ketahanannya terhadap keausan.

Pada campuran yang menggunakan limbah ban karet sebagai pengganti agregat halus, pengujian *Cantabro* menjadi penting karena perubahan sifat permukaan butir dan perubahan komposisi *mastic* dapat memengaruhi kohesi campuran. Apabila kadar karet terlalu tinggi, ikatan antar partikel dapat melemah sehingga kehilangan berat setelah pengujian meningkat. Perhitungan nilai kehilangan berat pada pengujian *Cantabro* dilakukan dengan menggunakan Persamaan 3.9 berikut yang merujuk pada AASHTO T401-22.

$$\text{CALi} = \frac{(mi\ 1 - mi\ 2}{mi\ 1} \text{x } 100 \qquad (3.\ 10)$$

Keterangan:

CALi = *Cantabro Abrasion Loss* (%)

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

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

3.8 Pengujian *Immersion Test / Index of Retained Strength* (IRS)

Immersion Test atau uji rendaman *Marshall* digunakan untuk menilai durabilitas campuran terhadap pengaruh air dan suhu. Prinsip pengujian ini adalah membandingkan stabilitas benda uji pada kondisi standar dengan stabilitas benda uji setelah direndam dalam air pada temperatur tertentu selama waktu yang lebih lama. Melalui perbandingan tersebut dapat diketahui seberapa besar kemampuan campuran mempertahankan kekuatannya setelah terkena pengaruh air.

Parameter yang umum digunakan untuk menggambarkan hasil pengujian ini adalah *Index of Retained Strength* (IRS) atau *retained stability*. Nilai IRS yang tinggi menunjukkan bahwa campuran masih mampu mempertahankan sebagian besar kekuatannya setelah perendaman, sehingga campuran dinilai lebih awet dan lebih tahan terhadap kerusakan akibat air. Sebaliknya, nilai IRS yang rendah mengindikasikan campuran rentan terhadap pelepasan ikatan aspal-agregat dan penurunan stabilitas setelah terkena air. Berdasarkan ketentuan Bina Marga, nilai minimum yang disyaratkan untuk *Immersion Test* adalah sebesar 90%. Nilai tersebut diperoleh dari hasil perbandingan stabilitas pada dua kondisi perendaman, yang selanjutnya dihitung menggunakan Persamaan 3.10 berikut yang merujuk pada SNI 6753: 2015.

$$\textit{Index of Retained Strength} = \frac{S2}{S1} \times 100 \qquad (3.\ 11)$$

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)

BAB IV
METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian eksperimen kuantitatif di laboratorium. Eksperimen dilakukan dengan memberikan perlakuan berupa variasi kadar substitusi serbuk limbah ban karet terhadap fraksi agregat halus tertahan saringan No.30 sebesar 0%, 20%, 40%, dan 60% kemudian mengamati perubahan karakteristik volumetrik, mekanik, dan durabilitas campuran *AC-WC*. Pengujian dilakukan dengan variasi kadar karet tersebut telah dipertimbangkan penulis dengan melihat dan mengkaji ulang penelitian-penelitian terdahulu yang dimana disarankan untuk mensubstitusi kadar serbuk ban karet maksimum sebesar 50%.

Pendekatan eksperimental dipilih karena pengaruh bahan substitusi terhadap campuran beraspal hanya dapat dievaluasi secara terukur melalui pembuatan benda uji, pemadatan, pengondisian, dan pengujian laboratorium. Hasil yang diperoleh diharapkan dapat menunjukkan kecenderungan perubahan setiap parameter, sekaligus membantu menetapkan kadar substitusi yang paling layak untuk digunakan pada campuran *AC-WC*.

Rancangan penelitian ini dilaksanakan dalam dua tahapan utama. Tahap pertama dilakukan untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada masing-masing variasi kadar serbuk ban karet yang digunakan dalam campuran. Tahap kedua adalah pengujian campuran pada kondisi KAO melalui *Marshall*, ITS, *Cantabro*, dan *immersion*/IRS. Dengan rancangan seperti ini, perbandingan antarvariasi dilakukan pada kondisi kadar aspal yang sudah paling sesuai untuk masing-masing campuran.

4.2 Lokasi, Waktu, dan Sumber Data Penelitian

Penelitian direncanakan dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia. Pemilihan lokasi tersebut didasarkan pada ketersediaan material, peralatan pencampuran dan pemadatan *Marshall*, alat pengujian ITS, mesin *Los*

Angeles untuk *Cantabro*, serta bak perendam *waterbath* yang dibutuhkan dalam seluruh rangkaian penelitian.

Pelaksanaan penelitian mencakup beberapa tahapan, mulai dari persiapan bahan, pemeriksaan karakteristik material, perancangan campuran, pembuatan benda uji, hingga pengujian campuran pada kondisi kadar aspal optimum, dan analisis data. Jadwal rinci pelaksanaan mengikuti *time schedule* Tugas Akhir dan ketersediaan fasilitas laboratorium.

4.2.1 Sumber Data

Penelitian direncanakan dilaksanakan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya, Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia. Waktu penelitian mencakup tahap persiapan bahan, pengujian sifat material, pembuatan benda uji, pelaksanaan pengujian, pengolahan data, serta penyusunan hasil penelitian. Data yang digunakan terdiri atas data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh dari hasil pengujian agregat, *filler*, aspal PG 70, serbuk limbah ban karet, serta hasil pengujian campuran AC-WC. Data sekunder diperoleh dari standar, spesifikasi, buku, jurnal, skripsi, dan tesis yang relevan dengan topik penelitian.

4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

4.3.1 Bahan Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini meliputi agregat kasar, agregat halus, *filler*, aspal PG 70, serta limbah ban karet bekas. Agregat kasar, agregat halus, dan *filler* diperoleh dari Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Desain Inovasi, Universitas Islam Indonesia. Sementara itu, jenis aspal yang digunakan pada penelitian ini adalah aspal keras PG 70. Limbah ban karet bekas diperoleh dari wilayah Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta, kemudian dibersihkan, dicacah, dan diayak sehingga diperoleh fraksi serbuk karet yang setara dengan fraksi agregat halus yang akan digantikan.

Pada penelitian ini, serbuk ban karet tidak digunakan sebagai bahan tambah pada aspal, melainkan sebagai bahan substitusi sebagian fraksi agregat halus tertahan

saringan No.30. Dengan demikian, perubahan yang diamati terutama diarahkan pada pergeseran perilaku campuran akibat perubahan komposisi fraksi halus, bukan akibat modifikasi sifat pengikat aspal. Adapun ringkasan bahan yang digunakan dalam penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut ini.

Tabel 4.1 Bahan yang Digunakan pada Penelitian

Bahan	Sumber	Peran dalam penelitian	Keterangan
Aspal PG 70	Laboratorium Jalan Raya FTDI UII / sumber pengadaan laboratorium	Bahan pengikat utama campuran *AC-WC*	Penamaan PG 70 mengikuti material yang tersedia dan direncanakan digunakan pada penelitian ini.
Agregat kasar	Laboratorium Jalan Raya FTDI UII	Membentuk kerangka utama campuran	Digunakan setelah lolos pengujian karakteristik material.
Agregat halus	Laboratorium Jalan Raya FTDI UII	Membentuk mortar dan mengisi rongga	Fraksi tertahan saringan No.30 menjadi objek substitusi.
Filler	Laboratorium Jalan Raya FTDI UII	Mengisi rongga mikro dan memperkuat *mastic*	Dipakai sesuai gradasi rencana campuran.
Serbuk limbah ban karet bekas	Sleman, Daerah Istimewa Yogyakarta	Bahan pengganti sebagian fraksi agregat halus No.30	Dibersihkan, dikeringkan, dan disaring agar ukuran butir sesuai rencana penelitian.

(Sumber: Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025)

4.3.2 Peralatan Penelitian

Peralatan utama yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari seperangkat ayakan untuk analisis saringan, oven, timbangan digital, piknometer, alat uji berat jenis agregat, serta alat pengujian penetrasi dan sifat fisik aspal. Selain itu, digunakan pula bak perendam (*waterbath*), cetakan *Marshall*, *Marshall compactor*, alat tekan *Marshall*, perangkat uji ITS, mesin *Los Angeles* tanpa bola baja untuk pengujian *Cantabro*, termometer, alat pemanas, wadah pencampur, dan beberapa alat bantu lainnya yang mendukung proses penelitian. Peralatan tersebut dipilih karena mewakili seluruh tahapan pengujian material dan pengujian performa campuran pada penelitian ini.

4.4 Variabel Penelitian dan Rencana Campuran

Variabel bebas pada penelitian ini adalah kadar substitusi serbuk limbah ban karet sebagai pengganti agregat halus tertahan saringan No.30, yaitu 0%, 20%, 40%, dan 60%. Variabel terikat meliputi stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), VITM, VFWA, VMA, *density*, nilai ITS, nilai *Cantabro*, serta nilai IRS. Adapun variabel yang dikendalikan meliputi jenis aspal, sumber agregat, *filler*, gradasi target campuran *AC-WC*, energi pemadatan, kondisi perendaman, temperatur pengujian, dan prosedur pembuatan benda uji.

4.4.1 Gradasi Rencana Campuran *AC-WC*

Campuran yang digunakan dalam penelitian ini merupakan campuran *AC-WC* dengan gradasi rapat. Penyusunan gradasi gabungan dilakukan dengan mengacu pada batas gradasi *AC-WC* berdasarkan Spesifikasi Umum Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025. Untuk keperluan proposal, gradasi rencana diambil mendekati titik tengah amplop agar proses *trial blend* lebih mudah dilakukan dan perubahan akibat substitusi serbuk karet dapat diamati dengan lebih jelas. Fraksi agregat yang diganti hanya fraksi tertahan saringan No.30, sedangkan fraksi lainnya dipertahankan tetap. Susunan gradasi pada agregat yang direncanakan untuk digunakan dalam campuran lapis aspal beton (*AC-WC*) dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut.

Tabel 4. 2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

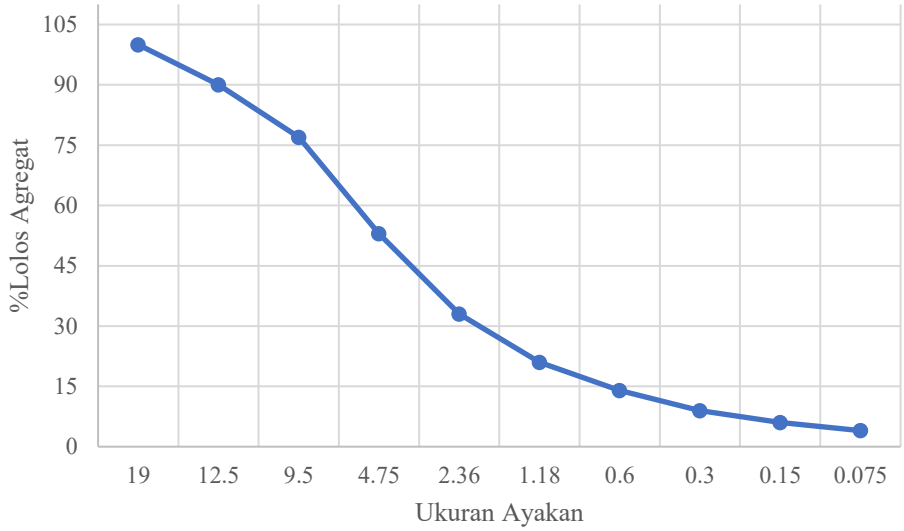
Ukuran Ayakan		**% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat**							
		***Stone Matrix Asphalt* (SMA)**			**Lataston (HRS)**		**Laston (AC)**		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½”	37,5								100
1”	25			100				100	90-100
¾”	19		100	90-100	100	100	100	90-100	81-92
½”	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	67-82
⅜”	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	59-75
No.4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	41-59
No.8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	28-45

Lanjutan Tabel 4. 2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang Lolos terhadap Total Agregat							
		Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
ASTM	(mm)	Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
No.16	1,18	14-21					21-40	18-38	18-34
No.30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	11-25
No.50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-18
No. 100	0,150						6-15	5-13	4-12
No.200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10		4-9	4-8	

(Sumber: Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025)

Adapun berikut merupakan Gambar 4.1 berupa grafik yang dihasilkan melalui data yang direkap dari Tabel gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal.



Gambar 4.1 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal

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

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

Keterangan:

Pb = 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.

Pb = 0,035 (%CA) + 0,045 (%FA) + 0,18 (%*filler*) + Konstanta

= 0,035 (39) + 0,045 (54,5) + 0,18 (6,5) + 1

= 5,99% dibulatkan menjadi 6%

4.4.2 Kadar Aspal Rencana

Rentang kadar aspal untuk penentuan kadar aspal optimum (KAO) direncanakan sebesar 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0% dari berat total campuran. Rentang tersebut dipilih dengan mengadaptasi penelitian Aditama (2020) dan Adilahaqi (2024) yang sama-sama meneliti campuran lapis aspal (*AC-WC*) dengan aspal pen 70. Berat total campuran awal untuk tiap benda uji ditetapkan sebesar 1200 gram sesuai batasan penelitian. Pada tahap trial, tinggi benda uji *Marshall* tetap dikontrol agar berada dalam rentang standar; apabila tinggi benda uji berada di luar toleransi, massa campuran dapat disesuaikan secara terbatas tanpa mengubah proporsi campurannya. Komposisi tiap fraksi agregat mengikuti gradasi rencana campuran. Pada setiap kadar aspal, fraksi agregat halus tertahan saringan No.30 kemudian disubstitusi dengan serbuk ban karet sesuai variasi yang ditetapkan.

4.4.3 Variasi Substitusi Serbuk Ban Karet

Substitusi dilakukan pada fraksi agregat halus tertahan saringan No.30 karena fraksi ini berkontribusi langsung pada pembentukan *mastic* dan kestabilan struktur butiran halus dalam campuran *AC-WC*. Persentase penggantian dinyatakan terhadap berat fraksi No.30 pada campuran. Dalam perhitungan komposisi akhir, perbedaan berat jenis antara serbuk karet dan agregat halus tetap diperhatikan agar penggantian fraksi tetap proporsional. Adapun variasi campuran substitusi serbuk ban karet dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut ini.

Tabel 4.3 Variasi Campuran Penelitian

Kode Campuran	Variasi Karet	Deskripsi Campuran
K0	0%	Campuran *AC-WC* tanpa substitusi serbuk ban karet pada fraksi No.30
K20	20%	Campuran *AC-WC* dengan substitusi 20% serbuk ban karet pada fraksi No.30
K40	40%	Campuran *AC-WC* dengan substitusi 40% serbuk ban karet pada fraksi No.30
K60	60%	Campuran *AC-WC* dengan substitusi 60% serbuk ban karet pada fraksi No.30

4.5 Tahapan Penelitian

4.5.1 Pemeriksaan Material

Sebelum proses pembuatan campuran dilakukan, seluruh material penyusun terlebih dahulu diperiksa untuk memastikan bahwa sifat dan karakteristiknya telah memenuhi persyaratan yang ditentukan. Adapun pemeriksaan material yang dilakukan meliputi beberapa pengujian sebagai berikut:

1. Pemeriksaan agregat kasar dan agregat halus mencakup pemeriksaan saringan, pemeriksaan berat jenis dan penyerapan, dan pemeriksaan pasir setara khusus untuk fraksi agregat halus;
2. Pengujian dilakukan pada agregat kasar untuk menentukan tingkat keausan agregat dengan mesin *Los Angeles* dan kemampuan agregat untuk melekat terhadap aspal;
3. Pemeriksaan terhadap *filler* dilakukan secara visual dan/atau melalui pengujian tertentu untuk memastikan bahwa material tersebut lolos saringan No. 200;
4. Pengujian aspal PG 70 mencakup penetrasi, berat jenis, daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar, dan kelarutan; dan
5. Pemeriksaan serbuk limbah ban karet dilakukan untuk mengetahui tingkat kebersihan material, distribusi ukuran butir, serta berat jenisnya.

Hasil pengujian material menjadi dasar untuk memastikan bahwa perubahan perilaku campuran yang terjadi benar-benar disebabkan oleh variasi substitusi karet, bukan karena mutu bahan yang tidak memenuhi persyaratan.

4.5.2 Persiapan Bahan dan Alat

Agregat dipisahkan ke dalam fraksi-fraksi saringan sesuai gradasi rencana, kemudian dikeringkan sampai mencapai kondisi yang sesuai untuk pencampuran. Serbuk ban karet dibersihkan dari kotoran yang melekat, dikeringkan, lalu disaring agar sesuai dengan fraksi yang ditetapkan. Aspal dipanaskan sampai temperatur pencampuran yang sesuai untuk PG 70. Cetakan *Marshall*, alat penumbuk, dan peralatan bantu lainnya disiapkan sebelum proses pencampuran dimulai.

Pada tahap ini juga dilakukan penimbangan awal seluruh bahan untuk setiap benda uji sesuai kadar aspal rencana dan variasi substitusi karet. Persiapan yang cermat diperlukan agar proses pencampuran dan pemadatan dapat berlangsung seragam pada seluruh sampel.

4.5.3 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan KAO

Pembuatan benda uji penentuan KAO dilakukan pada setiap variasi kadar karet dan kadar aspal rencana. Fraksi agregat ditimbang sesuai gradasi target, kemudian fraksi No.30 diganti dengan serbuk ban karet sesuai proporsi campuran. Setelah itu bahan dicampur sampai homogen dengan aspal panas.

Campuran yang telah homogen dimasukkan ke dalam cetakan *Marshall* berdiameter nominal 101,6 mm dan dipadatkan dengan energi *Marshall* standar, yaitu 75 tumbukan pada setiap sisi benda uji. Setelah pemadatan dilakukan, benda uji akan dibiarkan dingin, dikeluarkan dari cetakan, diberi identitas sampel, dan disimpan pada suhu ruang sebelum dilakukan pengujian.

4.5.4 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Setiap variasi substitusi karet memiliki kebutuhan aspal yang berbeda, sehingga kadar aspal optimum ditentukan secara terpisah untuk K0, K20, K40, dan K60. Penentuan KAO dilakukan berdasarkan hasil pengujian *Marshall* terhadap lima kadar aspal rencana, yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, dan 7,0%.

Nilai stabilitas, *flow*, VITM, VFWA, VMA, MQ, dan *density* dari tiap kadar aspal diplot dalam bentuk grafik, kemudian dibandingkan dengan persyaratan *AC-WC*. KAO dipilih sebagai kadar aspal yang masih memenuhi spesifikasi dan memberikan keseimbangan terbaik antara stabilitas, kelenturan, rongga udara, dan kepadatan campuran.

4.5.5 Pembuatan Benda Uji pada Kondisi KAO

Setelah KAO untuk setiap variasi ditetapkan, dibuat benda uji baru pada kondisi kadar aspal optimum tersebut. Benda uji pada tahap ini digunakan untuk pengujian *Marshall* pada kondisi KAO, pengujian ITS, pengujian *Cantabro*, dan pengujian *Immersion*/IRS. Prosedur pencampuran dan pemadatan dibuat sama untuk seluruh variasi agar hasil yang diperoleh dapat diperbandingkan secara adil.

4.5.6 Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* dilakukan pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) untuk mengukur nilai stabilitas dan *flow* benda uji. Ini juga dilakukan untuk menghitung parameter volumetrik campuran. Sebelum pengujian dimulai, benda uji dibersihkan dan ditimbang dalam air dan kondisi kering, jenuh-kering permukaan, atau *Saturated Surface Dry* (SSD). Tujuan dari penghitungan ini adalah untuk mendapatkan nilai *density* campuran. Setelah itu, benda uji direndam dalam air mandi pada suhu 60 ± 1°C selama sekitar tiga puluh hingga empat puluh menit. Setelah itu, benda uji diuji menggunakan alat *Marshall* sampai mencapai beban maksimumnya.

Selanjutnya, nilai stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), VITM, VFWA, VMA, dan *density* dihitung berdasarkan data pengujian *Marshall*. Nilai dari masing-masing parameter tersebut selanjutnya dibandingkan dengan spesifikasi campuran AC-WC untuk mengetahui apakah setiap variasi penggunaan serbuk ban karet telah memenuhi persyaratan yang ditetapkan.

4.5.7 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Pengujian ITS dilakukan dengan benda uji yang telah dibuat pada kondisi KAO. Benda uji diletakkan pada alat uji ITS dan diberikan beban tekan diametral sampai benda uji mengalami keruntuhan. Beban maksimum yang tercatat digunakan untuk

menghitung kuat tarik tidak langsung campuran. Pengujian ITS digunakan untuk menggambarkan kemampuan campuran dalam menahan tegangan tarik tidak langsung dan potensi ketahanannya terhadap retak. Semakin tinggi nilai ITS, semakin baik kemampuan campuran dalam menahan kerusakan akibat tegangan tarik.

4.5.8 Pengujian Cantabro

Pengujian Cantabro dilakukan untuk menentukan ketahanan campuran terhadap abrasi dan kemungkinan pelepasan butiran agregat. Pengujian dimulai dengan menimbang benda uji untuk mengetahui berat awalnya. Kemudian, setelah dimasukkan ke dalam mesin *Los Angeles* tidak menggunakan bola baja, benda uji diputar sebanyak 300 putaran dengan kecepatan 30–33 rpm. Setelah pengujian selesai, benda uji ditimbang kembali untuk mengetahui berapa banyak berat yang hilang. Persentase kehilangan berat hasil uji *Cantabro* menunjukkan ketahanan kohesi campuran. Nilai *Cantabro* yang lebih kecil menunjukkan bahwa ikatan antarbutir dan lapisan *mastic* dalam campuran lebih baik.

4.5.9 Pengujian *Immersion Test*

Pengujian *Immersion* dilakukan untuk mengetahui tingkat durabilitas campuran terhadap pengaruh perendaman air dan temperatur. Pada penelitian ini, nilai *Immersion Test* ditentukan dengan membandingkan stabilitas *Marshall* pada benda uji yang direndam selama 30 menit pada suhu 60 ± 1°C dengan stabilitas benda uji lain yang direndam selama 24 jam pada suhu yang sama. Nilai *immersion test* dihitung dari perbandingan stabilitas rata-rata setelah perendaman 24 jam terhadap stabilitas rata-rata *Marshall* standar, kemudian dinyatakan dalam persen. Campuran dengan nilai IRS yang lebih tinggi menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan akibat air.

4.6 Rencana Jumlah Benda Uji

Pada penelitian ini, jumlah benda uji direncanakan melalui dua tahapan. Tahap pertama dilakukan untuk membuat benda uji yang digunakan dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) pada masing-masing variasi kadar serbuk ban karet.

Setelah nilai KAO diperoleh, tahap kedua dilanjutkan dengan pembuatan benda uji pada kondisi KAO untuk mengevaluasi performa campuran. Setiap variasi campuran dibuat sebanyak tiga benda uji, sehingga hasil pengujian yang diperoleh dapat dirata-ratakan dan lebih mewakili kondisi campuran. Rincian jumlah benda uji yang digunakan untuk tahap penentuan KAO dan pengujian pada kondisi KAO disajikan pada Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 berikut.

Tabel 4.4 Jumlah Benda Uji untuk Penentuan KAO

Variasi Karet	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7,0%	Jumlah
K0	3	3	3	3	3	15
K20	3	3	3	3	3	15
K40	3	3	3	3	3	15
K60	3	3	3	3	3	15
Total	12	12	12	12	12	60

Tabel 4.5 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO

Jenis Pengujian	K0	K20	K40	K60	Jumlah
Marshall	3	3	3	3	12
ITS	3	3	3	3	12
Cantabro	3	3	3	3	12
Immersion / IRS	3	3	3	3	12
Total	12	12	12	12	48

Berdasarkan perencanaan tersebut, total 108 benda uji digunakan dalam penelitian. Terdiri dari 48 benda uji untuk pengujian campuran pada kondisi kadar aspal optimum (KAO) dan 60 benda uji lainnya untuk tahap penentuan kadar aspal optimum (KAO).

4.7 Teknik Analisis Data

Analisis data dilakukan secara deskriptif-komparatif. Nilai hasil pengujian dari tiga benda uji untuk setiap kombinasi campuran dirata-ratakan, kemudian disajikan dalam bentuk tabel dan grafik agar kecenderungan perubahan tiap parameter dapat terlihat dengan jelas.

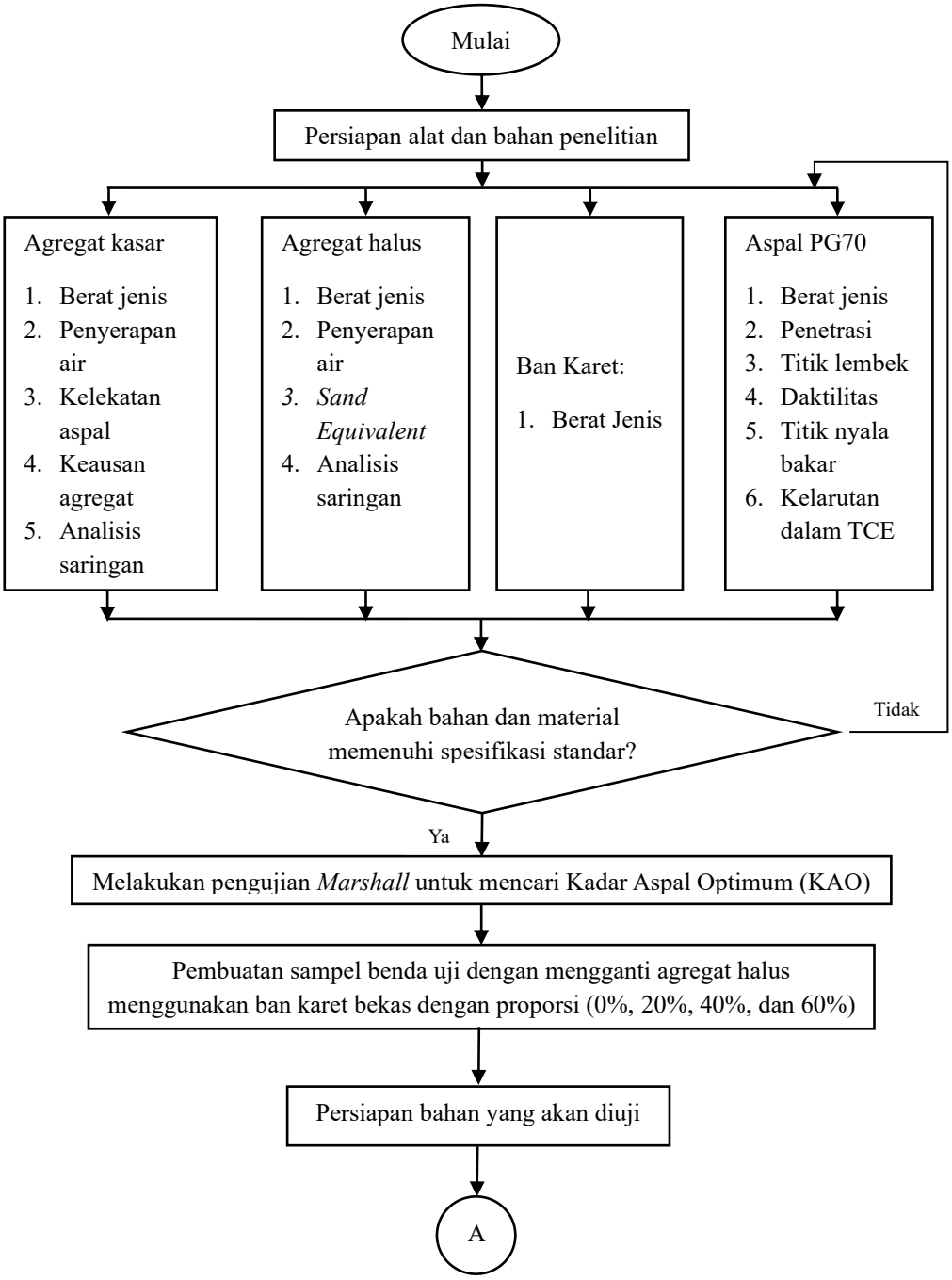
Analisis data dimulai dengan mengevaluasi hasil pemeriksaan material untuk memastikan bahwa seluruh bahan penyusun campuran telah memenuhi persyaratan yang berlaku. Setelah itu, pada masing-masing variasi kadar serbuk ban karet disusun grafik hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, yang meliputi stabilitas, *flow*, VITM, VFWA, VMA, MQ, serta *density*. Hasil dari grafik tersebut kemudian digunakan sebagai dasar dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) untuk setiap variasi campuran.

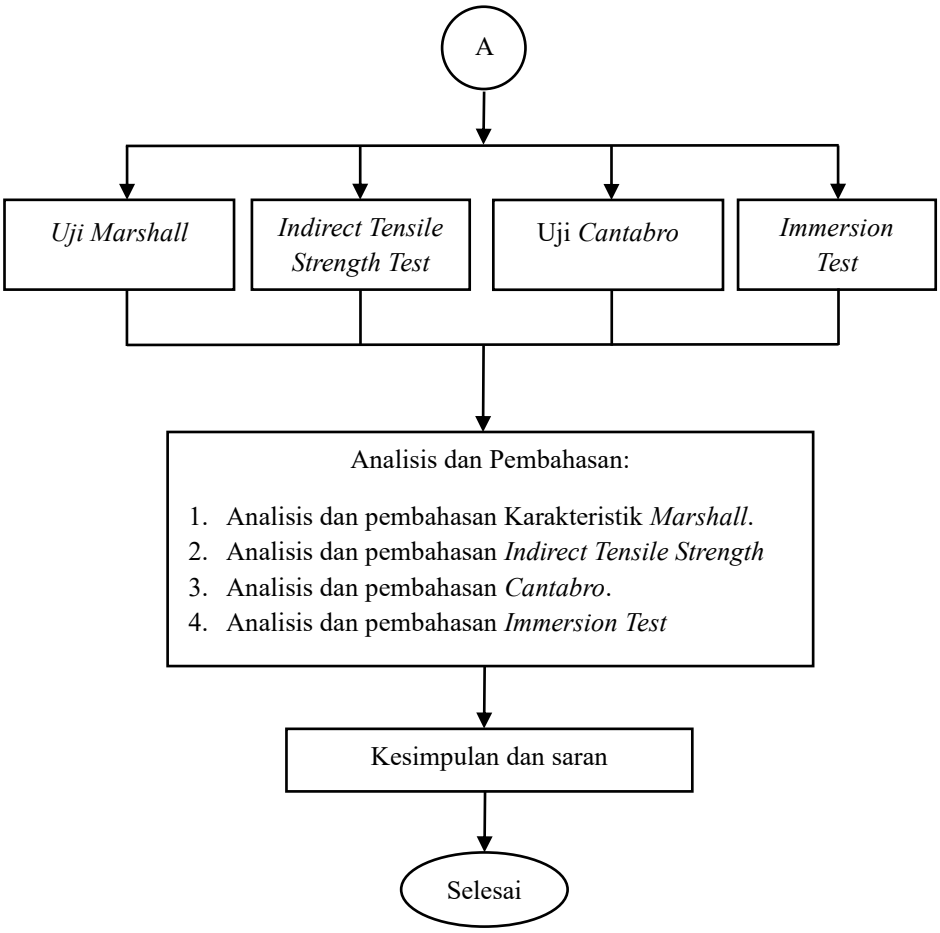
Setelah KAO diperoleh, nilai *Marshall*, ITS, *Cantabro,* dan IRS pada kondisi KAO dibandingkan antarvariasi substitusi karet. Analisis akhir diarahkan untuk menjawab tiga pertanyaan penelitian, yaitu pengaruh substitusi terhadap karakteristik *Marshall*, terhadap kuat tarik tidak langsung, dan terhadap derajat keawetan campuran.

Kadar substitusi yang dianggap paling baik adalah variasi yang tetap memenuhi persyaratan campuran AC-WC serta memberikan kombinasi kinerja yang paling seimbang, yaitu stabilitas memadai, *flow* tidak berlebihan, nilai ITS relatif tinggi, *Cantabro* rendah, dan IRS tinggi.

4.8 Bagan Alir Penelitian

Berikut adalah bagan alir penelitian pengaruh limbah ban karet bekas sebagai agregat halus terhadap karakteristik dan kinerja campuran laston (*AC-WC*) ditunjukkan pada Gambar 4.2 halaman selanjutnya berikut ini.


Mulai
Persiapan alat dan bahan penelitian
Agregat kasar
1. Berat jenis
2. Penyerapan air
3. Kelekatan aspal
4. Keausan agregat
5. Analisis saringan
Agregat halus
1. Berat jenis
2. Penyerapan air
3. Sand Equivalent
4. Analisis saringan
Ban Karet:
1. Berat Jenis
Aspal PG70
1. Berat jenis
2. Penetrasi
3. Titik lembek
4. Daktilitas
5. Titik nyala bakar
6. Kelarutan dalam TCE
Apakah bahan dan material memenuhi spesifikasi standar?
Tidak
Ya
Melakukan pengujian Marshall untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO)
Pembuatan sampel benda uji dengan mengganti agregat halus menggunakan ban karet bekas dengan proporsi (0%, 20%, 40%, dan 60%)
Persiapan bahan yang akan diuji
A



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V
HASIL DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Pengujian

Pemeriksaan bahan dilakukan untuk memastikan bahwa perubahan kinerja campuran terutama berasal dari perlakuan substitusi serbuk ban karet, bukan dari material dasar yang tidak memenuhi persyaratan. Pemeriksaan mencakup agregat kasar, agregat halus, *filler*, serbuk ban karet, dan aspal PG 70. Acuan evaluasi mengikuti metode pengujian dan persyaratan yang telah ditetapkan pada bab sebelumnya. Berikut adalah hasil dari pengujian.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan untuk pembuatan benda uji berasal dan dibuat di Laboratorium Jalan Raya FTDI, UII, Yogyakarta. Sebelum digunakan dalam campuran *AC-WC*, material tersebut diperiksa untuk memastikan kemampuannya membentuk kerangka campuran yang kuat, stabil, dan tahan terhadap proses pencampuran, pemadatan, serta pembebanan. Data-data tersebut telah memenuhi syarat spesifikasi dari Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025. Adapun hasil pengujian karakteristik agregat yang digunakan dalam pembuatan benda uji dapat dilihat pada Tabel 5.1 hingga 5.4 sebagai berikut.

Tabel 5. 1 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,50	2,607	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	Maks. 3	1,789	Memenuhi
3	Kelekatan Aspal oleh Agregat (%)	Min. 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agegat dengan Mesin *Los Angeles*	Maks. 30	11,57	Memenuhi

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025

Tabel 5. 2 Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2,50	2,53	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	Maks. 3	2,04%	Memenuhi
3	Nilai Setara Pasir (%)	Min. 60	92,54	Memenuhi

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025

Tabel 5. 3 Hasil Pemeriksaan Karakteristik *Filler*

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	Maks. 3	2,55	Memenuhi

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025

Tabel 5. 4 Pemeriksaan Karakteristik Serbuk Ban Karet

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	-	1,09	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG 70

Aspal PG 70 berfungsi sebagai bahan pengikat yang menyelimuti agregat, membentuk mastik bersama *filler*, dan meneruskan tegangan di antara partikel campuran. Pemeriksaan karakteristik dilakukan untuk memastikan bahwa aspal mempunyai konsistensi, kelenturan, ketahanan temperatur, kemurnian, dan kestabilan penyimpanan yang memadai. Hasil pengujian yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5. 5 Pemeriksaan Karakteristik Aspal PG 70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	-	1,05	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	Dilaporkan[1]	50,1	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	62,5	Memenuhi
4	Titik Nyala (˚C)	≥ 230	318	Memenuhi
5	Titik Bakar (˚C)	≥ 232	326	Memenuhi

Lanjutan Tabel 5. 5 Pemeriksaan Karakteristik Aspal PG 70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
6	Titik Lembek (˚C)	Dilaporkan[2]	76	Memenuhi
7	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,13	Memenuhi
1. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan pada Pasal 6.3.2.6).a). Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan penetrasi aspal adalah ± 4 (0,1 mm) dari nilai penetrasi yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras. 2. Pengujian semua sifat-sifat harus dilaksanakan sebagaimana yang disyaratkan pada Pasal 6.3.2.6).a). Sedangkan untuk pengendalian mutu di lapangan, ketentuan titik lembek diterima adalah tidak boleh berbeda lebih dari 1°C dari nilai titik lembek yang dilaporkan pada saat pengujian semua sifat-sifat aspal keras.				

Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025

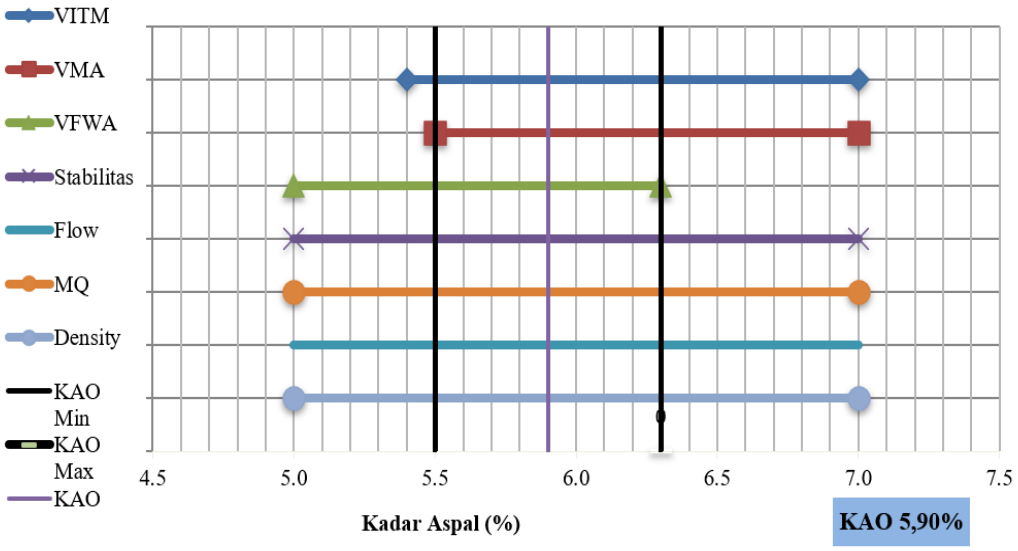
5.1.3 Hasil Pengujian Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran *AC-WC*

Pengujian untuk menentukan kadar aspal optimum dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTDI, UII, Yogyakarta. Data yang dihasilkan dari pengujian *Marshall* untuk penentuan kadar aspal optimum adalah stabilitas (*Stability*), kelelehan (*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 5.6 sampai Tabel 5.9 sebagai berikut.. Adapun hasil pengujian menentukan kadar aspal optimum campuran *AC-WC* dapat dilihat pada Gambar 5.1 hingga 5.4 dan Tabel 5.6 hingga 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 6 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 0%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
5	954	2,35	405,96	5,35	67,28	14,31	2,31
5,5	1.039	2,61	398,08	4,94	70,96	14,99	2,30
6	1.149	3,06	375,49	4,74	73,44	15,84	2,29
6,5	1.047	3,10	337,74	4,37	76,41	16,54	2,29
7	963	3,15	305,71	3,89	79,64	17,14	2,28
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3-5	>65-75	>15	>2

Berikut merupakan hasil grafik dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan campuran serbuk ban karet 0% pada pengujian aspal *AC-WC*. Hasil grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 sebagai berikut.



Gambar 5. 1 Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0% pada Campuran Aspal *AC-WC*

Berikut merupakan tabel hasil pengujian *Marshall* dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 20% pada campuran aspal *AC-WC*. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO dapat dilihat pada Tabel 5.7 sebagai berikut.

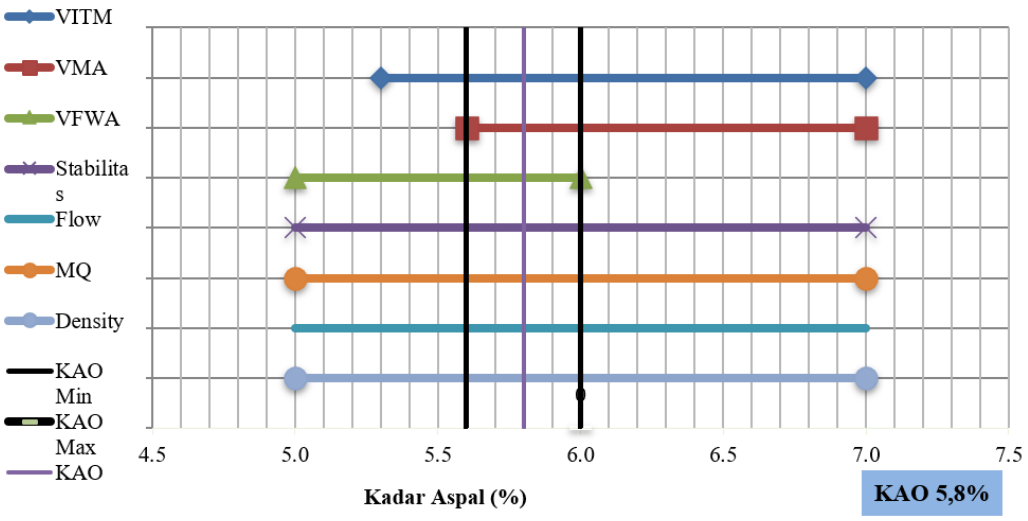
Tabel 5. 7 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 20%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
5	916	2,40	381,67	5,23	67,81	14,20	2,31
5,5	1.009	2,69	375,09	4,85	71,36	14,91	2,31
6	1.093	3,10	352,58	4,36	75,11	15,51	2,30

Lanjutan Tabel 5. 7 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 20%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
6,5	1.027	3,20	320,94	4,12	77,50	16,32	2,29
7	934	3,25	287,38	3,55	81,14	16,84	2,29
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3-5	>65-75	>15	>2

Berikut merupakan hasil grafik dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan campuran serbuk ban karet 20% pada pengujian aspal *AC-WC*. Hasil grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.2 sebagai berikut.



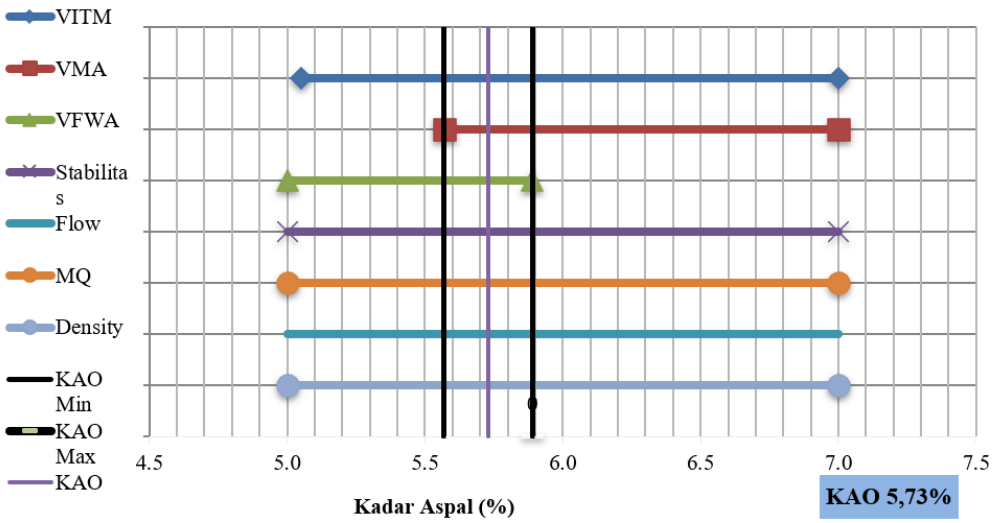
Gambar 5. 2 Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 20% pada Campuran Aspal *AC-WC*

Berikut merupakan tabel hasil pengujian *Marshall* dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 40% pada campuran aspal *AC-WC*. Tabel hasil pengujian *Marshall* untuk menentukan KAO dapat dilihat pada Tabel 5.8 sebagai berikut.

Tabel 5. 8 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 40%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
5	889	2,45	362,86	5,10	68,38	14,09	2,32
5,5	978	2,75	355,64	4,81	71,53	14,88	2,31
6	1.045	3,20	326,56	4,24	75,65	15,40	2,30
6,5	999	3,28	304,57	3,91	78,44	16,14	2,30
7	902	3,35	269,25	3,47	81,50	16,77	2,29
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3-5	>65-75	>15	>2

Berikut merupakan hasil grafik dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan campuran serbuk ban karet 40% pada pengujian aspal *AC-WC*. Hasil grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.3 sebagai berikut.



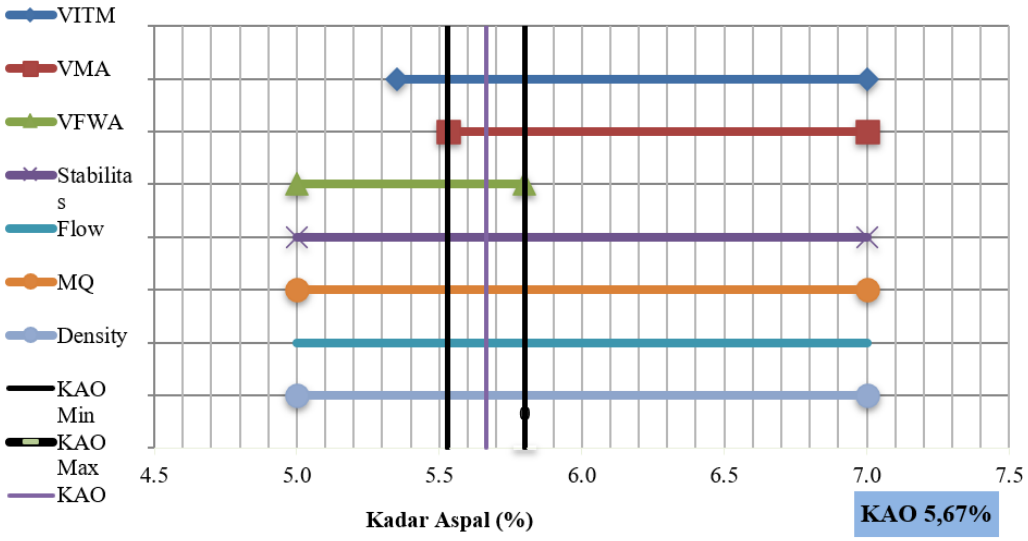
Gambar 5. 3 Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 40% pada Campuran Aspal *AC-WC*

Berikut merupakan tabel hasil pengujian *Marshall* dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan menggunakan proporsi serbuk ban karet 60% pada campuran aspal *AC-WC*. Tabel hasil pengujian Marshall untuk menentukan KAO dapat dilihat pada Tabel 5.9 sebagai berikut.

Tabel 5. 9 Hasil Rata-Rata Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan KAO pada Campuran Serbuk Ban Karet 60%

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
5	866	2,52	343,65	5,14	68,21	14,13	2,31
5,5	933	2,86	326,22	4,85	71,36	14,91	2,31
6	991	3,28	302,13	3,99	76,80	15,18	2,31
6,5	949	3,40	279,12	3,49	80,37	15,78	2,31
7	882	3,44	256,40	3,13	83,05	16,48	2,30
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3-5	>65-75	>15	>2

Berikut merupakan hasil grafik dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) dengan campuran serbuk ban karet 60% pada pengujian aspal *AC-WC*. Hasil grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.4 sebagai berikut.



Gambar 5. 4 Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 60% pada Campuran Aspal *AC-WC*

Menurut hasil perhitungan dan grafik Gambar 5.1 hingga 5.4 nilai kadar aspal optimum pada setiap campuran serbuk ban karet dari 0%, 20%, 40%, dan 60% didapatkan rekap nilai KAO seperti Tabel 5.10 berikut ini.

Tabel 5. 10 Rekapitulasi Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Proporsi Serbuk Ban Karet (%)	Kadar Aspal Optimum (%)
0	5,90
20	5,80
40	5,73
60	5,67

5.1.4 Kebutuhan Agregat Campuran Aspal *AC-WC* dengan Variasi Serbuk Ban Karet pada Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan hasil perhitungan komposisi campuran pada kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO), kebutuhan material berupa agregat dan serbuk ban karet untuk campuran *AC-WC* dapat diketahui sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.11 hingga Tabel 5.14.

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	Ideal			
3/4"	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	100	90	95	56,46	0,00	56,46
3/8"	90	77	83,5	129,86	0,00	129,86
No.4	69	53	61	254,07	0,00	254,07
No.8	53	33	43	203,26	0,00	203,26
No.16	40	21	30,5	141,15	0,00	141,15
No.30	30	14	22	95,98	0,00	95,98
No.50	22	9	15,5	73,40	0,00	73,40
No.100	15	6	10,5	56,46	0,00	56,46
No.200	9	4	6,5	45,17	0,00	45,17

Lanjutan 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	Ideal			
Pan				73,40	0,00	73,40
Jumlah				112,20	0,00	1129,20

Tabel 5. 12 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 20%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)			Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min	Ideal			
3/4"	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	100	90	95	56,52	0,00	56,52
3/8"	90	77	83,5	130,00	0,00	130,00
No.4	69	53	61	254,34	0,00	254,34
No.8	53	33	43	203,47	0,00	203,47
No.16	40	21	30,5	141,30	0,00	141,30
No.30	30	14	22	76,87	8,08	84,95
No.50	22	9	15,5	73,48	0,00	73,48
No.100	15	6	10,5	56,52	0,00	56,52
No.200	9	4	6,5	45,22	0,00	45,22
Pan				73,48	0,00	73,48
Jumlah				1111,18	8,08	1119,27

Tabel 5. 13 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 40%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)			Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min	Ideal			
3/4"	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	100	90	95	56,56	0,00	56,56
3/8"	90	77	83,5	130,09	0,00	130,09
No.4	69	53	61	254,53	0,00	254,53
No.8	53	33	43	203,62	0,00	203,62
No.16	40	21	30,5	141,41	0,00	141,41
No.30	30	14	22	57,69	16,18	73,87
No.50	22	9	15,5	73,53	0,00	73,53
No.100	15	6	10,5	56,56	0,00	56,56
No.200	9	4	6,5	45,25	0,00	45,25
Pan				73,53	0,00	73,53
Jumlah				1092,78	31,48	1108,95

Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 60%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)			Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min	Ideal			
3/4"	100	100	100	0,00	0,00	0,00
1/2"	100	90	95	56,60	0,00	56,60
3/8"	90	77	83,5	130,18	0,00	130,18
No.4	69	53	61	254,69	0,00	254,69
No.8	53	33	43	203,75	0,00	203,75
No.16	40	21	30,5	141,50	0,00	141,50

Tabel 5. 14 Kebutuhan Agregat pada KAO dengan Proporsi Ban Karet 60%

Nomor Saringan	Lolos Saringan (%)			Berat Agregat Tertahan (gr)	Berat Tertahan Ban Karet (gr)	Total Berat Tertahan (gr)
	Max	Min	Ideal			
No.30	30	14	22	38,49	24,28	62,77
No.50	22	9	15,5	73,58	0,00	73,58
No.100	15	6	10,5	56,60	0,00	56,60
No.200	9	4	6,5	45,28	0,00	45,28
Pan				73,58	0,00	73,58
Jumlah				1074,23	24,28	1098,51

5.1.5 Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum Dengan Variasi Serbuk Ban Karet

Pengujian kinerja campuran aspal *AC-WC* dengan variasi proporsi serbuk ban karet pada masing-masing nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) dilakukan melalui beberapa metode pengujian, yaitu *Marshall*, *Indirect Tensile Strength* (ITS), *Immersion*, dan *Cantabro*. Hasil dari seluruh pengujian tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.15 hingga Tabel 5.18.

Tabel 5. 15 Hasil Rata-Rata Pengujian *Marshall* pada Kondisi KAO dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Serbuk Ban Karet (%)	Stabilitas (Kg)	*Flow* (mm)	MQ (Kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	*Density* (gr/cc)
0	1.137	3,10	366,77	4,95	72,23	15,82	2,29
20	1.068	3,25	328,62	4,83	72,43	15,51	2,30
40	995	3,40	292,65	4,76	72,52	15,30	2,30
60	940	3,50	268,57	4,55	73,24	14,99	2,31
Spesifikasi	800	>2-4	>250	>3-5	65-75	>15	>2

Tabel 5. 16 Hasil Pengujian *Index of Retained Strength* pada Kondisi KAO dengan Campuran Serbuk Ban Karet

Proporsi Serbuk Ban Karet %	Stabilitas 0,5 Jam (Kg)	Stabilitas 24 Jam (Kg)	Nilai IRS (%)
0	1081,66	1039,19	96,07
	1184,67	1133,34	95,67
	1146,04	1095,02	95,55
	Rata-Rata		95,76
20	1030,15	969,82	94,14
	1107,41	1051,10	94,92
	1068,78	1014,22	94,89
	Rata-Rata		94,65
40	965,76	899,34	93,12
	991,52	934,06	94,20
	1030,15	972,91	94,44
	Rata-Rata		93,92
60	914,26	851,28	93,11
	965,76	902,45	93,44
	940,01	874,30	93,01
	Rata-Rata		93,19

Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Kondisi KAO dengan Campuran Serbuk Ban Karet

Proporsi Ban Karet (%)	ITS (kg/cm2)
0	10,72
	11,39
	9,78
20	10,19
	10,83
	8,89

Lanjutan Tabel 5. 17 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Kondisi KAO dengan Campuran Serbuk Ban Karet

Proporsi Ban Karet (%)	ITS (kg/cm2)
40	9,40
	8,97
	8,89
60	8,69
	9,12
	8,36

Tabel 5. 18 Hasil Pengujian *Cantabro* pada Kadar Aspal Optimum dengan Proporsi Serbuk Ban Karet

Proporsi Serbuk Ban Karet %	Sampel Benda Uji	Berat Benda Uji (gr)		Kehilangan Berat (gr)	Kehilangan Berat (%)
		mi	mi2		
0	1	1178,61	1156,86	21,75	1,85
	2	1175,56	1155,39	20,17	1,72
	3	1180,74	1159,40	21,34	1,81
20	1	1170,49	1143,49	27,00	2,31
	2	1169,33	1141,84	27,49	2,35
	3	1171,51	1145,01	26,50	2,26
40	1	1168,15	1133,03	35,12	3,01
	2	1170,19	1137,80	32,39	2,77
	3	1165,35	1126,28	39,07	3,35
60	1	1158,37	1115,02	43,35	3,74
	2	1162,56	1123,24	39,32	3,38
	3	1161,50	1118,24	43,26	3,72

5.2 Analisis Hasil Pengujian

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, karakteristik agregat kasar dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

   Berat jenis menyatakan perbandingan massa agregat terhadap massa air pada volume dan temperatur yang setara. Nilai berat jenis *bulk* digunakan untuk merepresentasikan volume agregat beserta pori yang dapat ditembus air, sedangkan berat jenis SSD menggambarkan agregat ketika pori permeabel telah terisi air tetapi permukaannya tidak lagi basah. Data yang diperoleh menunjukkan berat jenis sebesar 2,607.

2. Penyerapan Air oleh Agregat Kasar

   Penyerapan air menggambarkan kemampuan pori agregat menerima cairan. Hasil pengujian didapatkan sebesar 1,789% berada di bawah batas maksimum 3%, sehingga agregat kasar dikategorikan mempunyai penyerapan yang terkendali. Nilai yang rendah mengindikasikan bahwa jumlah pori terbuka tidak berlebihan dan sebagian besar aspal dapat berfungsi sebagai film efektif, bukan terserap ke dalam agregat.

3. Keausan Agregat Dengan Mesin *Los Angeles*

   Pengujian *Los Angeles* mengukur ketahanan agregat terhadap kombinasi tumbukan, gesekan, dan pengikisan. Nilai keausan yang diperoleh berdasarkan pengujian adalah sebesar 11,57% berada di bawah batas maksimum 30%. Hasil tersebut menunjukkan bahwa agregat kasar mempunyai ketahanan mekanis yang memadai untuk mempertahankan bentuk dan ukuran butir selama penanganan, pencampuran di dalam alat, pemadatan, serta pembebanan awal.

4. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

   Pengujian kelekatan menilai persentase permukaan agregat yang tetap terselimuti aspal setelah perlakuan pengujian. Hasil yang didapatkan melalui pengujian sebesar 98% sehingga memenuhi batas minimum yaitu sebesar

95% dan menunjukkan bahwa aspal mampu membentuk lapisan yang relatif merata pada permukaan agregat kasar. Kelekatan yang baik diperlukan agar tegangan dapat diteruskan melalui mastik dan kerangka agregat tanpa mudah membentuk bidang lemah.

Berdasarkan seluruh parameter yang telah didapatkan, agregat kasar dinilai mampu menjalankan fungsi sebagai kerangka utama campuran *AC-WC*. Berat jenisnya mendukung perhitungan volumetrik, penyerapan berada pada tingkat terkendali, ketahanan abrasi memadai, dan kelekatan terhadap aspal memenuhi kriteria.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, karakteristik agregat halus dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat jenis agregat halus

   Data yang diperoleh menunjukkan berat jenis agregat halus sebesar 2,53. Nilai ini menggambarkan massa material pada volume tertentu dengan memperhitungkan pori permeabel dan digunakan untuk menghitung komposisi agregat gabungan.

2. Penyerapan air oleh agregat halus

   Nilai penyerapan air oleh agregat halus didapatkan sebesar 2,04% berada di bawah batas maksimum 3%. Hasil ini menunjukkan bahwa pori agregat halus masih berada pada tingkat yang dapat diterima dan tidak diperkirakan menyerap aspal secara berlebihan. Penyerapan yang terkendali membantu menjaga agar selimut aspal pada permukaan butir tetap cukup untuk membentuk ikatan dan durabilitas campuran.

3. *Sand equivalent*

   Pengujian *sand equivalent* digunakan untuk memperkirakan perbandingan fraksi pasir bersih terhadap bahan sangat halus yang menyerupai lempung. Nilai yang diperoleh sebesar 92,54% melampaui batas minimum 60%, sehingga agregat halus dinilai cukup bersih. Nilai yang tinggi menunjukkan kandungan debu, lumpur, atau partikel lempung berada dalam jumlah terbatas dan tidak mendominasi fraksi halus.

4. *Filler*

   Berat jenis *filler* diperoleh sebesar 2,55 digunakan dalam perhitungan berat jenis agregat gabungan dan parameter volumetrik. Nilai tersebut berdekatan dengan berat jenis agregat halus, sehingga *filler* masih merepresentasikan material mineral yang relatif berat dibandingkan serbuk ban. Data yang diperoleh telah sesuai dan memenuhi syarat dari Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025 yaitu maksimal 3.

5. Serbuk ban karet

   Serbuk ban karet yang menggantikan sebagian agregat halus mempunyai berat jenis sebesar 1,09. Ukuran partikel dikendalikan supaya serbuk ban menempati fraksi yang setara dengan agregat tertahan saringan no.30. Walaupun berada dalam rentang ukuran yang sama, serbuk ban tetap mempunyai kekakuan, tekstur, dan respons pemadatan yang berbeda dari material agregat halus. Serbuk ban karet diperoleh dari WAHYU JAYA MOTOR 2 yang beralamat di Jl. K.H. Muhdi, Sleman, D.I. Yogyakarta dengan semua rangkaian pengujiannya dilakukan di Laboratorium Jalan Raya FTDI, UII, Yogyakarta.

5.2.3 Karakteristik Aspal PG 70

Berdasarkan pengujian yang telah dilakukan, karakteristik aspal PG 70 dapat dilihat sebagai berikut.

1. Berat jenis aspal

   Berat jenis menunjukkan perbandingan massa aspal terhadap massa air pada volume dan temperatur tertentu. Nilai pengujian yang diperoleh yaitu sebesar 1,05. Parameter ini digunakan untuk mengubah besaran massa menjadi volume aspal dan diperlukan dalam perhitungan berat jenis maksimum teoritis, VITM, VMA, serta VFWA.

2. Penetrasi aspal

   Nilai penetrasi didapatkan sebesar 50,1 mm menggambarkan tingkat konsistensi aspal pada temperatur pengujian. Nilai yang relatif rendah menunjukkan aspal lebih keras dibandingkan pola umum aspal penetrasi

60/70. Kekakuan tersebut dapat membantu campuran mempertahankan stabilitas pada temperatur tinggi.

3. Daktilitas

   Nilai daktilitas diperoleh sebesar 62,5 cm menunjukkan bahwa aspal masih mampu memanjang sebelum putus. Kemampuan tersebut diperlukan agar aspal dapat mengikuti regangan kecil, perubahan temperatur, dan pergerakan antarpartikel tanpa langsung membentuk retak. Kombinasi penetrasi yang relatif rendah dengan daktilitas yang tetap memenuhi kriteria menunjukkan keseimbangan antara kekakuan dan kemampuan deformasi.

4. Titik lembek

   Data titik lembek yang diperoleh sebesar 76°C menunjukkan temperatur ketika aspal mulai kehilangan kekakuan secara nyata dalam kondisi pengujian. Nilai yang lebih tinggi memberikan indikasi ketahanan lebih baik terhadap pelunakan pada temperatur pelayanan tinggi.

5. Titik nyala dan titik bakar

   Pada pengujian titik nyala didapatkan angka sebesar 318°C menunjukkan temperatur ketika uap aspal mulai dapat menyala sesaat, sedangkan titik bakar sebesar 326°C menunjukkan temperatur ketika nyala dapat bertahan. Kedua nilai memberikan batas keselamatan terhadap temperatur pemanasan. Temperatur pencampuran dan pemadatan harus berada cukup jauh di bawah titik nyala agar risiko kebakaran, penguapan berlebihan, dan kerusakan sifat aspal dapat dihindari.

6. Kelarutan dalam TCE

   Nilai kelarutan dalam TCE diangka 99,13% memenuhi batas minimum 99%. Persentase yang tinggi menunjukkan bahwa bagian bahan pengikat yang larut sangat dominan dan kandungan mineral atau pengotor tidak larut relatif kecil. Kemurnian ini mendukung pembentukan aspal yang seragam serta mengurangi kemungkinan partikel asing mengganggu ikatan dengan agregat dan serbuk ban karet.

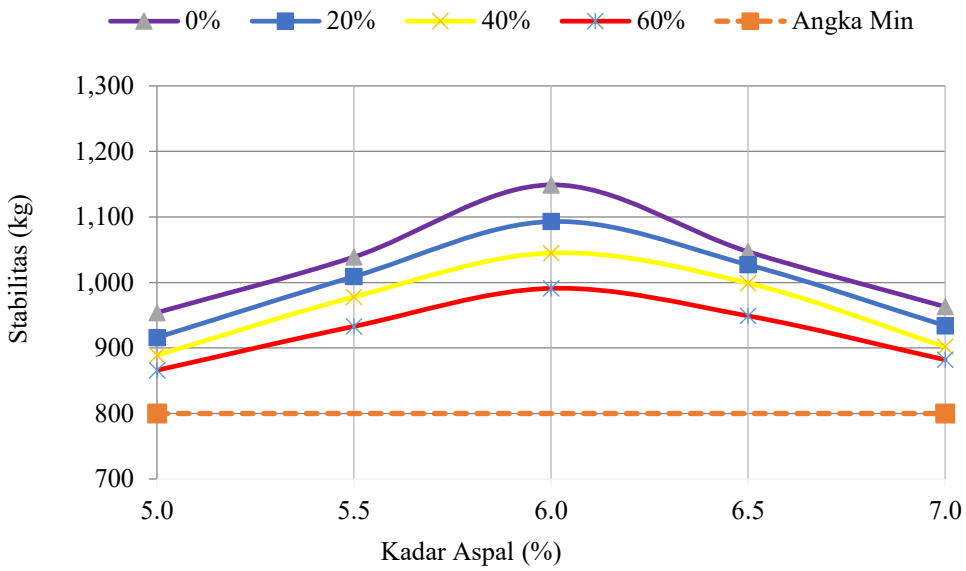
5.2.4 Karakteristik *Marshall* Campuran *AC-WC* Untuk Mencari Nilai KAO Menggunakan Substitusi Serbuk Ban Karet

Kadar aspal optimum ditentukan untuk setiap variasi campuran karena penambahan karet mengubah volume padatan, luas permukaan efektif, dan kebutuhan aspal. Pengujian awal menggunakan kadar aspal 5,0%; 5,5%; 6,0%; 6,5%; dan 7,0%. Dalam penelitian ini, KAO ditetapkan dari rentang kadar aspal yang memenuhi stabilitas, *Flow, Marshall Quotient, Density, VITM, VMA, dan VFWA*, kemudian dipilih nilai yang memberikan keseimbangan paling rasional bagi setiap variasi karet. Berikut merupakan pembahasan untuk hasil uji campuran aspal *AC-WC* dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) dengan pencampuran serbuk ban karet sebagai substitusi sebagian agregat halus. Hasil dari seluruh pengujian tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.5 hingga Tabel 5.11 sebagai berikut.

1. Stabilitas (*Stability*)

   Stabilitas *Marshall* menunjukkan kemampuan maksimum benda uji menahan beban sebelum terjadi keruntuhan pada kondisi pengujian. Nilai ini menggambarkan kontribusi penguncian antar agregat, gesekan internal, dan kohesi. Pada kadar aspal yang terlalu rendah, selimut aspal belum cukup merata untuk mengikat partikel sehingga pemindahan tegangan tidak berlangsung optimal. Ketika kadar aspal ditambah, ikatan dan pelumasan yang terbentuk membantu agregat mencapai susunan yang lebih rapat dan stabilitas meningkat sampai mendekati titik puncak.

   Dalam penentuan KAO, stabilitas tidak hanya diperiksa terhadap batas minimum. Jarak nilai terhadap batas tersebut juga penting sebagai cadangan kinerja. Campuran yang sekadar memenuhi batas pada kondisi laboratorium mempunyai risiko lebih besar mengalami penurunan kinerja apabila pemadatan, temperatur, atau distribusi bahan di lapangan tidak seragam. Karena itu, kadar aspal di sekitar puncak stabilitas lebih diutamakan selama parameter volumetrik dan *flow* tetap berada dalam rentang yang disyaratkan. Berikut adalah gambar 5.5 yang merupakan grafik hasil nilai stabilitas untuk mencari kadar aspal optimum aspal *AC-WC*.



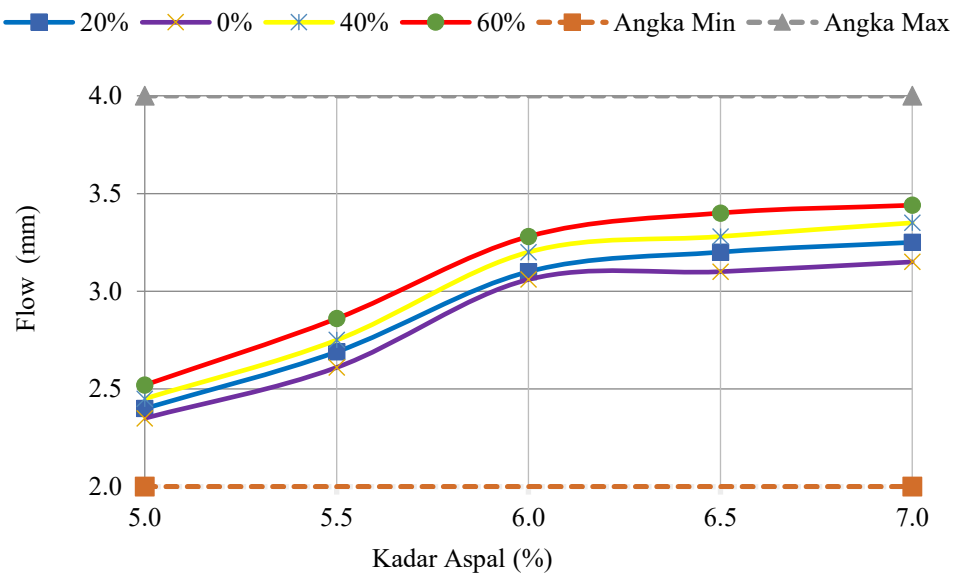
Gambar 5. 5 Grafik Hubungan Antara Stabilitas dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan hasil data grafik pada Gambar 5.1 di atas menunjukkan bahwa nilai stabilitas meningkat pada tahap awal penambahan aspal dan mencapai nilai tinggi di sekitar kadar 6,0%, kemudian menurun ketika kadar aspal terus ditambah. Hasil tersebut juga meningkat seiring dengan meningkatnya proporsi serbuk ban karet sampai tahap optimum kadar aspal, kemudian terjadi penurunan dikarenakan fungsi dari serbuk karet telah menjadi pelicin agregat yang membuat nilai stabilititas tersebut menurun. Nilai stabilitas seluruh titik pengujian tetap berada di atas 800 kg, sehingga parameter ini bukan pengendali utama batas KAO pada data yang tersedia.

2. Kelelehan (*Flow*)

Flow merupakan besarnya deformasi benda uji pada saat beban maksimum tercapai. Nilai yang terlalu rendah mengindikasikan campuran cenderung kaku dan berpotensi tidak mampu mengikuti regangan tanpa retak, sedangkan nilai yang terlalu tinggi menunjukkan campuran terlalu plastis dan lebih rentan terhadap perubahan bentuk permanen. Dengan demikian, *flow* harus ditempatkan pada rentang yang memungkinkan campuran memiliki kelenturan, namun tetap cukup stabil menerima beban lalu lintas. Berikut

adalah gambar 5.6 yang merupakan grafik hasil nilai *flow* untuk mencari kadar aspal optimum aspal *AC-WC.*

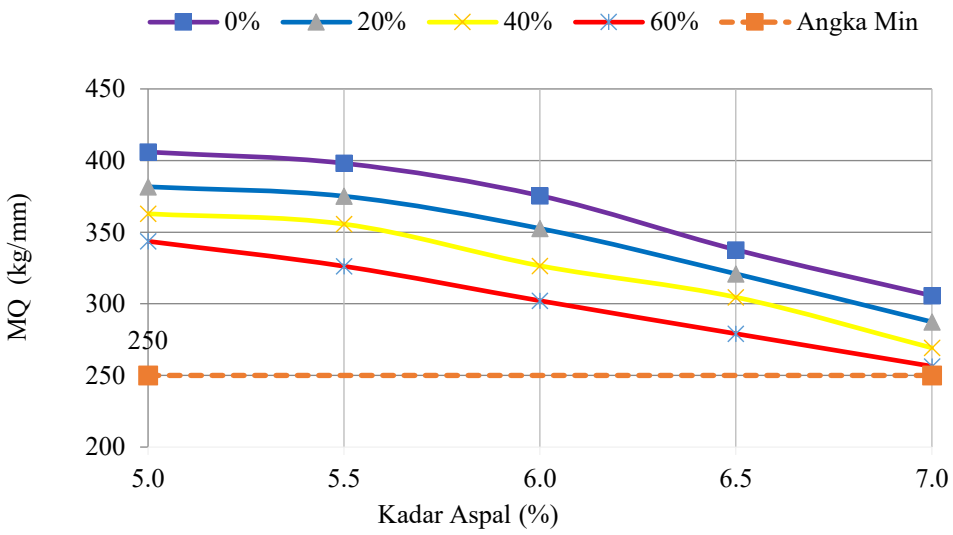


Gambar 5. 6 Grafik Hubungan Antara *Flow* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan hasil data grafik pada Gambar 5.2 di atas dapat dilihat nilai *flow* pada campuran aspal *AC-WC* dengan proporsi serbuk ban karet 0%, 20%, 40%, dan 60% semakin meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari kadar aspal 5% sampai kadar aspal 7%. Nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar aspal dan juga cenderung lebih tinggi ketika proporsi karet meningkat sehingga memungkinkan pergeseran relatif antar campuran. Kenaikan *flow* tidak selalu berarti campuran menjadi lebih buruk. Pada substitusi rendah, penambahan kelenturan dapat membantu meredam konsentrasi tegangan pada lapis aus. Akan tetapi, manfaat tersebut harus dikaji bersama stabilitas dan MQ. Apabila *flow* meningkat sementara stabilitas turun cukup besar, kelenturan yang terbentuk telah diikuti oleh kehilangan kekakuan struktural. Keadaan semacam ini menjadi alasan kadar aspal dan kadar karet tidak dapat ditetapkan secara terpisah.

3. *Marshall Quotient* (MQ)

Marshall Quotient diperoleh dari perbandingan stabilitas terhadap *flow* dan digunakan untuk menggambarkan kekakuan empiris campuran. Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran mampu menahan beban besar dengan deformasi relatif kecil. Namun, nilai yang sangat tinggi juga perlu dinilai secara hati-hati karena dapat mengindikasikan campuran terlalu kaku. Sebaliknya, MQ yang rendah menunjukkan respons yang lebih lunak dan berpotensi meningkatkan deformasi ketika menerima beban berulang. Hasil data grafik dari *Marshall Quotient* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut ini.

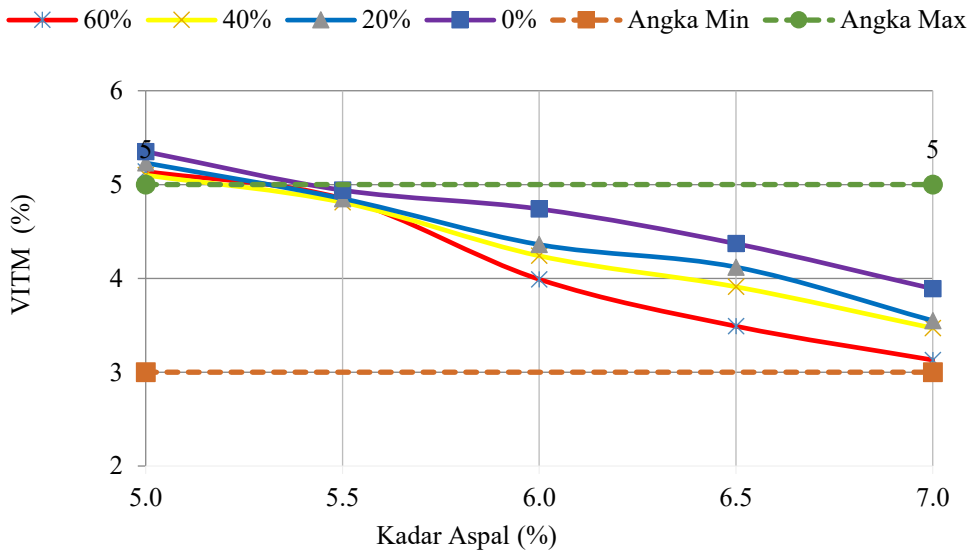


Gambar 5. 7 Grafik Hubungan Antara MQ dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan hasil data grafik di atas didapatkan bahwa pada kadar aspal rendah, kenaikan stabilitas dapat menaikkan MQ. Setelah kadar aspal melewati kondisi seimbang, stabilitas mulai turun sementara *flow* terus meningkat sehingga MQ menurun lebih cepat. Penambahan serbuk ban karet dengan proporsi 0%, 20%, 40%, dan 60% memperkuat arah penurunan tersebut karena karet mengurangi kekakuan sekaligus meningkatkan kemampuan deformasi. Oleh sebab itu, kurva MQ membantu menunjukkan titik ketika manfaat fleksibilitas mulai disertai kehilangan kekakuan yang besar.

4. *Void In Total Mix* (VITM)

VITM menyatakan persentase rongga udara yang masih tersisa di dalam campuran setelah pemadatan. Rongga dibutuhkan untuk memberi ruang bagi pemuaian aspal dan pemadatan lanjutan selama pelayanan. Namun, rongga yang berlebihan memudahkan air dan udara masuk ke dalam campuran, mempercepat oksidasi *binder*, serta meningkatkan peluang terjadinya pengelupasan. Sebaliknya, VITM yang terlalu rendah dapat menyebabkan aspal tidak mempunyai ruang yang cukup ketika temperatur meningkat dan memicu *bleeding*. Hasil data grafik dari *Void In Total Mix* dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



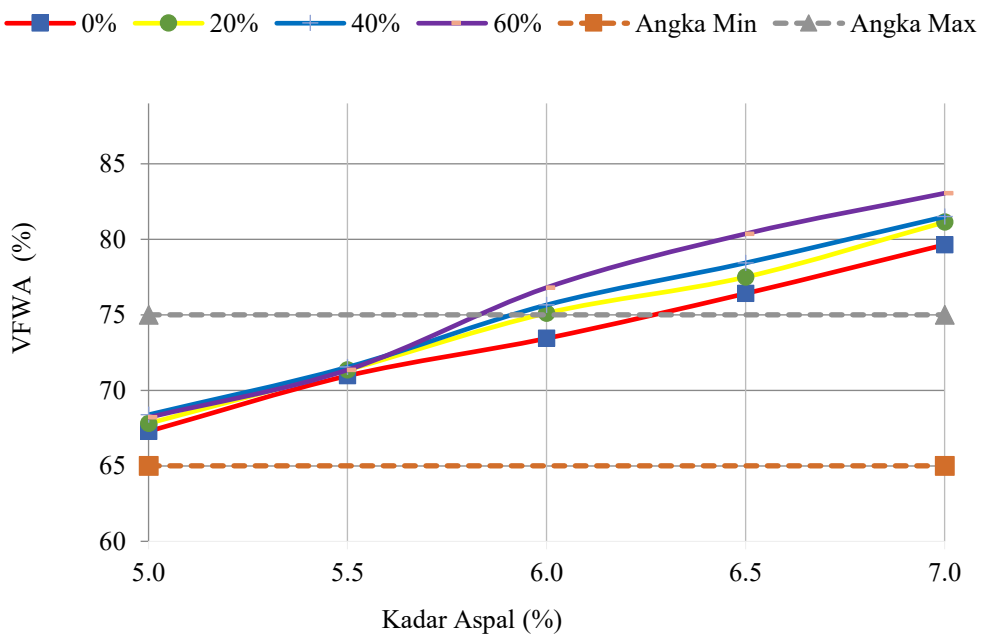
Gambar 5. 8 Grafik Hubungan Antara VITM dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan hasil data grafik diatas menunjukkan bahwa nilai VITM menurun ketika kadar aspal bertambah yaitu pada angka 5% sampai 7% dan proporsi serbuk ban karet 0%, 20%, 40%, dan 60%. Tambahan aspal mengisi sebagian ruang antarbutir dan membantu proses pemadatan sehingga volume udara berkurang. Campuran dengan proporsi kadar karet lebih besar mempunyai VITM yang relatif lebih tinggi pada kadar aspal yang sama. Hal ini dipengaruhi oleh berat jenis karet yang rendah, perubahan susunan butir,

dan kemungkinan pemulihan bentuk partikel setelah beban pemadatan dilepaskan. Rentang kadar aspal yang menghasilkan VITM sesuai persyaratan menjadi salah satu pengendali utama KAO. Hasil dari pengujian VITM untuk mencari kadar aspal optimum ini menghasilkan data yang sebagian tidak memenuhi syarat spesifikasi Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025, yaitu pada rentang 3% sampai 5%. Proporsi kadar aspal yang memenuhi pada uji VITM ini dimulai diangka 5,05% sampai 7%.

5. *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

VFWA menunjukkan bagian rongga antarbutir agregat yang telah terisi oleh aspal efektif. Parameter ini berkaitan langsung dengan kecukupan film aspal untuk menyelimuti dan mengikat partikel. Nilai yang rendah menunjukkan rongga mineral belum cukup terisi, sehingga campuran cenderung kering dan lebih mudah kehilangan butir. Nilai yang terlalu tinggi perlu diwaspadai karena dapat berhubungan dengan kadar aspal berlebih dan ruang udara yang terlalu kecil. Hasil data grafik dari *Void Filled With Asphalt* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut ini.

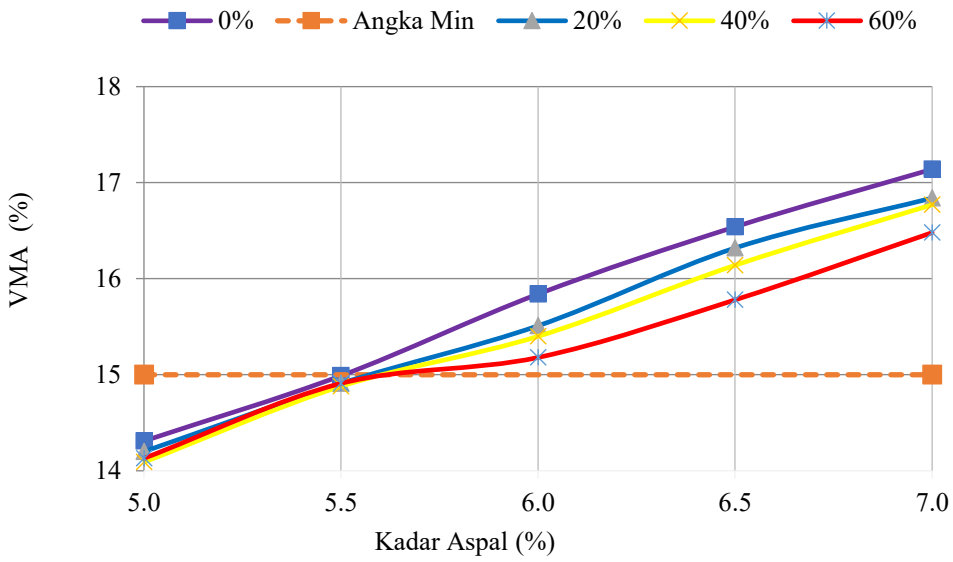


Gambar 5. 9 Grafik Hubungan Antara VFWA dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.5 sebelumnya didapatkan hasil, yaitu meningkat ketika kadar aspal bertambah dari 5% sampai 7% serta beriringan dengan meningkatnya proporsi serbuk ban karet dari 0%, 20%, 40%, dan 60%. Hubungan tersebut logis karena sebagian rongga yang sebelumnya berisi udara secara bertahap ditempati oleh aspal dan serbuk ban karet. Namun, pada pengujian ada beberapa data yang tidak memenuhi syarat spesifikasi Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025, yaitu batas 65 sampai 75. Proporsi kadar aspal terus memenuhi sampai dibatas 6.3% sudah melewati batas dari syarat yang telah ditentukan diawal.

6. *Void in Mineral Agregate* (VMA)

VMA merupakan volume rongga di antara butir agregat pada campuran yang telah dipadatkan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif. Nilai VMA menggambarkan ruang yang tersedia untuk menampung selimut aspal. VMA yang terlalu rendah dapat menghasilkan selimut aspal tipis dan mengurangi durabilitas, sedangkan nilai yang terlalu tinggi dapat meningkatkan kebutuhan aspal dan menurunkan efisiensi campuran. Hasil data grafik dari *Void in Mineral Agregate* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut ini.

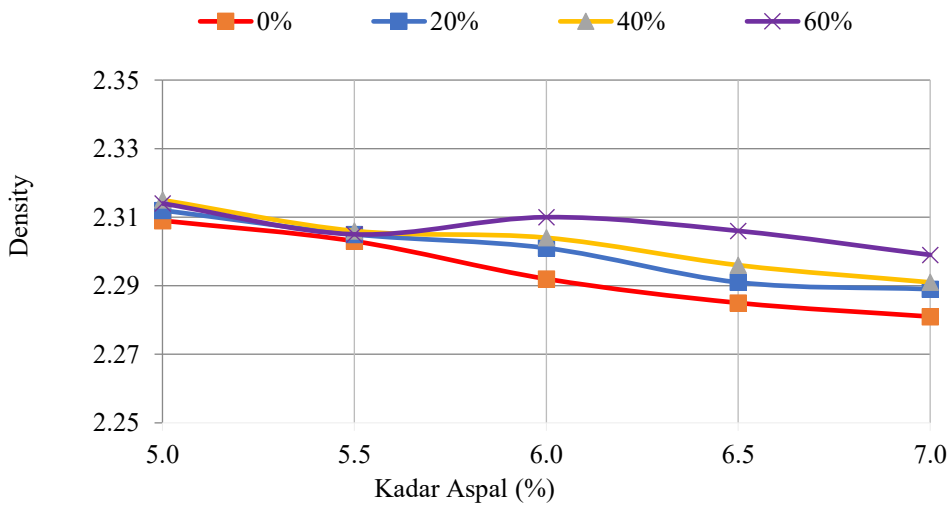


Gambar 5. 10 Grafik Hubungan Antara VMA dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.6 pada halaman sebelumnya menunjukkan bahwasanya penambahan karet cenderung meningkatkan VMA secara terbatas. Partikel karet tidak membentuk susunan kontak yang sama dengan agregat mineral dan dapat mengalami *rebound* setelah pemadatan, sehingga struktur internal menjadi sedikit lebih terbuka. Seluruh nilai VMA pada rentang KAO harus berada di atas batas minimum agar tersedia ruang yang cukup bagi *binder*. Namun, pada pengujian tidak semua data memenuhi syarat spesifikasi Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga No. 07/SE/Db/2025, yaitu batas minimun diangka 15. Proporsi kadar aspal yang memenuhi pada uji VITM ini dimulai pada kadar aspal 5,5%.

7. Kepadatan (*Density*)

Density atau kepadatan menunjukkan massa campuran per satuan volume setelah pemadatan. Nilai ini dipengaruhi oleh berat jenis bahan, susunan butiran, kadar aspal, dan efektivitas energi pemadatan. Kepadatan biasanya meningkat pada tahap awal penambahan aspal karena *binder* membantu butiran bergerak menuju konfigurasi yang lebih rapat. Setelah ruang antarbutir tidak lagi dapat diperkecil secara berarti, penambahan aspal dapat menyebabkan nilai kepadatan mendatar atau turun. Hasil data grafik dari *Density* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut ini.



Gambar 5. 11 Grafik Hubungan Antara *Density* dengan Kadar Aspal pada Proporsi Serbuk Ban Karet 0%, 20%, 40%, dan 60%

Berdasarkan data grafik pada Gambar 5.7 sebelumnya didapatkan hasil, yaitu, nilai density pada variasi serbuk ban karet 0%, 20%, dan 40% secara umum cenderung menurun seiring dengan bertambahnya kadar aspal dari 5,0% sampai 7,0%. Pada variasi 60%, density mengalami sedikit peningkatan dari kadar aspal 5,5% menuju 6,0%, kemudian kembali menurun. Density tidak hanya dipengaruhi oleh berat jenis material, tetapi juga oleh kadar aspal, susunan butiran, jumlah rongga, volume benda uji, dan hasil pemadatan. Meskipun berat jenis serbuk ban karet sebesar 1,09 lebih rendah daripada agregat halus sebesar 2,53, penambahan serbuk karet tidak selalu menghasilkan density yang lebih rendah. Hal tersebut dimungkinkan apabila perubahan susunan butiran dan berkurangnya volume rongga menghasilkan volume benda uji yang lebih kecil. Namun, mekanisme tersebut belum diuji secara langsung sehingga pola density pada Gambar 5.11 hanya digunakan sebagai salah satu dasar dalam menentukan KAO pada setiap variasi campuran.

5.2.5 Hasil Kadar Aspal Optimum Tiap Variasi Serbuk Ban Karet

Berdasarkan hasil pengujian Marshall, diperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada variasi serbuk ban karet 0%, 20%, 40%, dan 60% masing-masing sebesar 5,90%, 5,80%, 5,73%, dan 5,67%. Hasil tersebut menunjukkan kecenderungan penurunan KAO seiring dengan bertambahnya proporsi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus tertahan saringan No.30. Penurunan KAO dari 5,90% menjadi 5,67% adalah sebesar 0,23 poin persentase.

KAO ditentukan berdasarkan keseimbangan karakteristik Marshall dan parameter volumetrik pada setiap variasi campuran. Penurunan KAO terjadi bersamaan dengan penurunan VITM dari 4,95% menjadi 4,55% dan VMA dari 15,82% menjadi sekitar 15,00%. Sementara itu, VFWA meningkat dari 72,23% menjadi 73,24% dan density meningkat dari 2,290 g/cm³ menjadi 2,307 g/cm³. Perubahan tersebut menunjukkan bahwa bertambahnya serbuk ban karet diikuti oleh berkurangnya volume rongga sehingga rentang kadar aspal yang memenuhi kriteria Marshall bergeser ke arah kadar aspal yang lebih rendah.

Perbedaan berat jenis serbuk ban karet dan agregat halus juga memengaruhi komposisi campuran. Serbuk ban karet memiliki berat jenis sebesar 1,09, sedangkan agregat halus sebesar 2,53. Massa serbuk ban karet dihitung menggunakan koreksi perbandingan berat jenis agar penggantian material mendekati kesetaraan volume. Perubahan komposisi massa, susunan butiran, dan volume benda uji diduga ikut memengaruhi hasil KAO. Namun, penurunan KAO tidak dapat langsung dikaitkan dengan peningkatan interlocking karena serbuk karet tidak mempunyai kekakuan dan susunan kontak yang sama dengan agregat mineral.

Pada proses pencampuran kering, serbuk karet juga dapat menyerap sebagian fraksi aromatik aspal, mengalami pembengkakan, dan meningkatkan luas permukaan yang harus diselimuti aspal. Kondisi tersebut secara teoritis dapat meningkatkan kebutuhan aspal efektif. Karena penelitian ini tidak menguji penyerapan aspal, pembengkakan serbuk karet, dan kadar aspal efektif secara langsung, penyebab penurunan KAO belum dapat disimpulkan secara pasti.

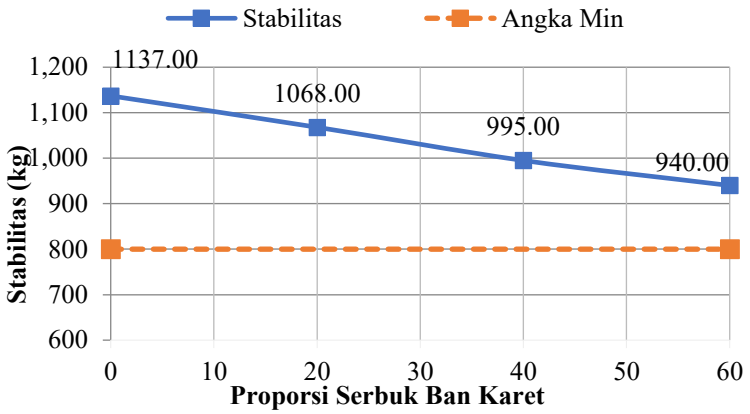
Penurunan KAO juga tidak langsung menunjukkan peningkatan efisiensi atau kinerja campuran. Pada kondisi KAO, peningkatan serbuk ban karet justru diikuti oleh penurunan stabilitas dan Marshall Quotient serta peningkatan flow. Oleh karena itu, penurunan KAO dari 5,90% menjadi 5,67% dalam penelitian ini dinyatakan sebagai kecenderungan empiris berdasarkan hasil pengujian Marshall dan perubahan parameter volumetrik, bukan sebagai bukti langsung bahwa serbuk ban karet mengurangi kebutuhan aspal efektif.

5.2.6 Karakteristik *Marshall*, IRS, ITS, dan CL Pada Kondisi KAO menggunakan Aspal PG 70 Dengan Substitusi Serbuk Ban Karet

1. Hasil Pengujian dan Pembahasan Uji *Marshall* Aspal *AC-WC* dengan Campuran Serbuk Ban Karet Pada Kondisi Kadar Aspal Optimum (KAO)

   Adapun hasil pengujian *Marshall* campuran *AC-WC* dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.12 hingga 5.18 sebagai berikut.

a. Stabilitas

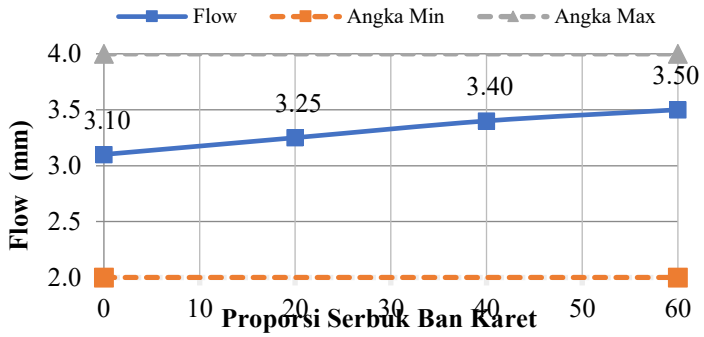


Gambar 5. 12 Grafik Hubungan Stabilitas dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan Gambar 5.12 didapatkan nilai stabilitas menurun secara bertahap dari 1.137,0 kg pada variasi campuran serbuk ban karet 0% menjadi 940,0 kg pada variasi 60%. Keseluruhan variasi masih berada di atas nilai stabilitas minimum 800 kg. Dengan demikian, substitusi karet sampai variasi tertinggi yang diuji belum menyebabkan kegagalan terhadap persyaratan stabilitas, walaupun margin terhadap batas minimum semakin kecil. Penurunan pada nilai stabilitas terjadi dikarenakan sifat serbuk ban karet yang elastis menyebabkan campuran tidak kaku serta memudahkan adanya perubahan bentuk. Selain itu, penurunan stabilitas juga menunjukkan bahwa bertambahnya fraksi karet mengurangi kekakuan kerangka campuran. Agregat mineral memiliki kemampuan saling mengunci dan meneruskan beban yang lebih tinggi, sedangkan serbuk karet bersifat lebih elastis dan mudah mengalami deformasi. Ketika sebagian kontak agregat digantikan oleh karet, transfer beban antarpelat agregat menjadi kurang efektif sehingga beban maksimum yang dapat ditahan benda uji menurun. Hasil ini sejalan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian tersebut, nilai stabilitas juga menurun seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet dari 0% sampai 100%.

Penurunan tersebut dijelaskan karena sifat ban karet yang elastis menyebabkan campuran menjadi kurang kaku dan *interlocking* antaragregat menjadi tidak sebaik campuran tanpa karet.

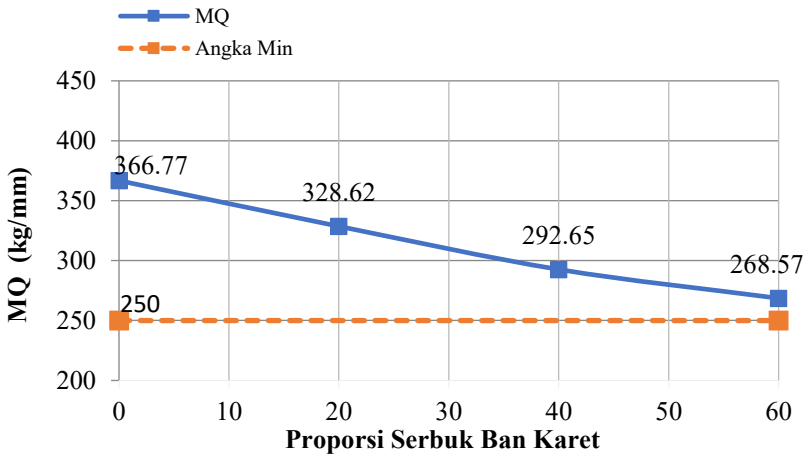
b. *Flow* (Kelelehan)



Gambar 5. 13 Grafik Hubungan *Flow* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan gambar 5.13 didapatkan hasil yang menunjukkan bahwa nilai *flow* meningkat dari 3,10 mm pada variasi campuran serbuk ban karet 0% menjadi 3,50 mm pada variasi 60%. Seluruh nilai masih berada di dalam rentang 2-4 mm yang disyaratkan. Kenaikan nilai *flow* berarti campuran mampu mengalami deformasi yang lebih besar sebelum mencapai beban maksimum. Perubahan tersebut berkaitan dengan sifat elastis serbuk ban karet. Peningkatan proporsi karet membuat campuran menjadi lebih lentur sehingga deformasi pada saat pembebanan *Marshall* bertambah. Kondisi ini tidak selalu berarti kinerja memburuk karena *flow* yang terlalu kecil juga dapat menunjukkan campuran terlalu kaku, tetapi kenaikan *flow* perlu dibaca bersama penurunan stabilitas agar campuran tidak menjadi terlalu mudah berubah bentuk. Hasil tersebut sama dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020), yaitu nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya serbuk ban karet. Pada penelitian tersebut, kenaikan *flow* dikaitkan dengan sifat elastis karet yang membuat campuran lebih mudah mengalami deformasi saat menerima beban.

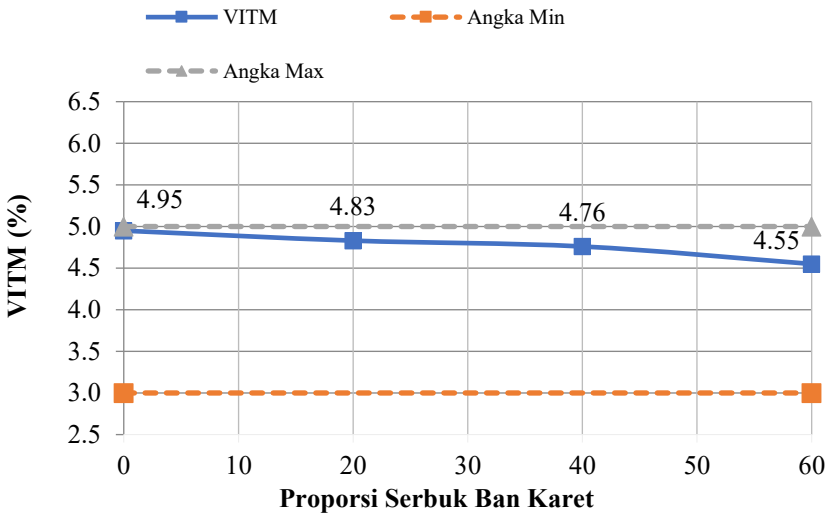
c. *Marshall Quotient*



Gambar 5. 14 Grafik Hubungan *Marshall Quotient* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan nilai *Marshall Quotient* pada Gambar 5.14 diketahui bahwa adanya penurunan nilai dari 366,77 kg/mm menjadi 268,57 kg/mm dari variasi serbuk ban karet proporsi 0% ke 60%. Nilai MQ merupakan hasil perbandingan stabilitas terhadap *flow*, sehingga penurunan stabilitas yang terjadi bersamaan dengan kenaikan *flow* secara langsung menghasilkan MQ yang semakin kecil. MQ yang menurun menunjukkan bahwa kekakuan empiris campuran berkurang dan campuran menjadi lebih mudah berdeformasi. Arah ini selaras dengan perubahan stabilitas dan *flow*, sehingga ketiga parameter memberikan interpretasi yang konsisten. Meskipun demikian, Spesifikasi Umum 2025 tidak mencantumkan batas minimum MQ sebagai kriteria penerimaan *AC-WC*. Hasil ini sejalan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020) yang juga menunjukkan penurunan nilai MQ seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Pada penelitian tersebut, penurunan MQ menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih plastis dan mudah mengalami deformasi akibat sifat elastis dari ban karet.

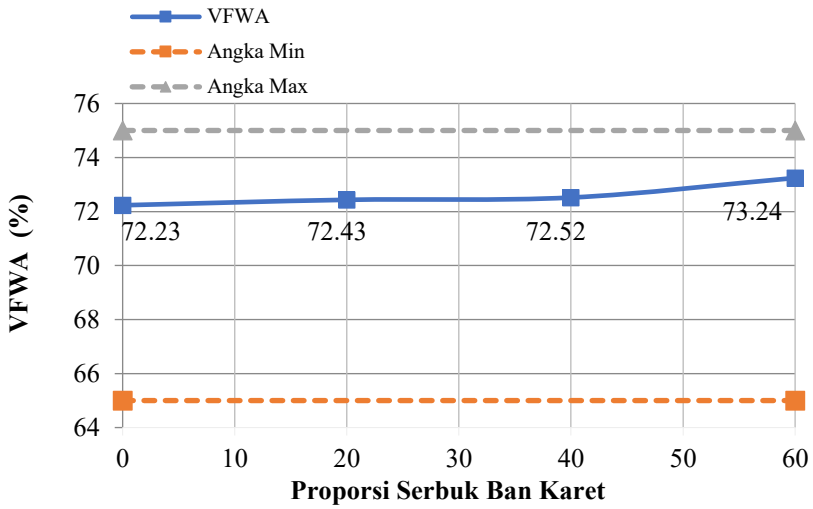
d. *Void in Total Mix* (VITM)



Gambar 5. 15 Grafik Hubungan *Void in Total Mix* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai VITM turun dari 4,95% pada variasi serbuk ban karet proporsi 0% menjadi 4,55% pada variasi 60%. Seluruh nilai masih berada dalam rentang 3-5%. Penurunan ini menunjukkan bahwa volume rongga udara di dalam campuran setelah pemadatan menjadi sedikit lebih kecil ketika proporsi serbuk ban karet ditingkatkan. Perubahan VITM tidak hanya ditentukan oleh berat jenis karet, tetapi juga oleh KAO masing-masing variasi, susunan butiran, dan kemampuan campuran mencapai konfigurasi yang lebih rapat saat dipadatkan. Menurut data penelitian, penurunan VITM berjalan bersamaan dengan kenaikan *density* sehingga keduanya menunjukkan kecenderungan pemadatan yang lebih rapat pada kondisi KAO. Pola tersebut sama dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian tersebut, nilai VITM juga menurun seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet dari 0% sampai 100%. Penurunan VITM pada penelitian Aditama dijelaskan karena campuran menjadi semakin rapat dan rongga udara semakin terisi.

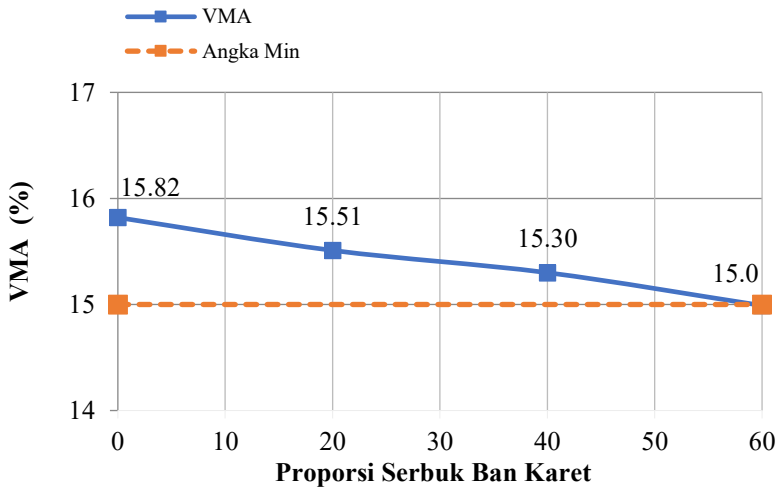
e. *Void Filled with Asphalt* (VFWA)



Gambar 5. 16 Grafik Hubungan *Void Filled with Asphalt* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Nilai VFWA pada Gambar 5.16 meningkat secara bertahap dari 72,23% menjadi 73,24%. Kenaikannya relatif kecil, yaitu sekitar 1,40%, dan seluruh variasi tetap berada pada rentang 65-75% yang digunakan untuk *AC-WC* dengan 75 tumbukan per bidang. Hal ini menunjukkan bahwa proporsi rongga dalam agregat yang terisi aspal bertambah sedikit seiring meningkatnya kadar substitusi. Kenaikan nilai VFWA berkaitan dengan turunnya VITM dan berubahnya VMA pada kondisi KAO. Ketika bagian rongga udara berkurang, fraksi rongga dalam struktur agregat yang terisi aspal menjadi relatif lebih besar. Oleh karena itu, perubahan VFWA pada pengujian merupakan konsekuensi dari perubahan sistem volumetrik secara keseluruhan, bukan hanya akibat bertambah atau berkurangnya kadar aspal. Hasil ini sama dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian tersebut, VFWA meningkat seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus dapat membuat rongga dalam campuran lebih banyak terisi aspal, sehingga campuran menjadi lebih kedap terhadap udara.

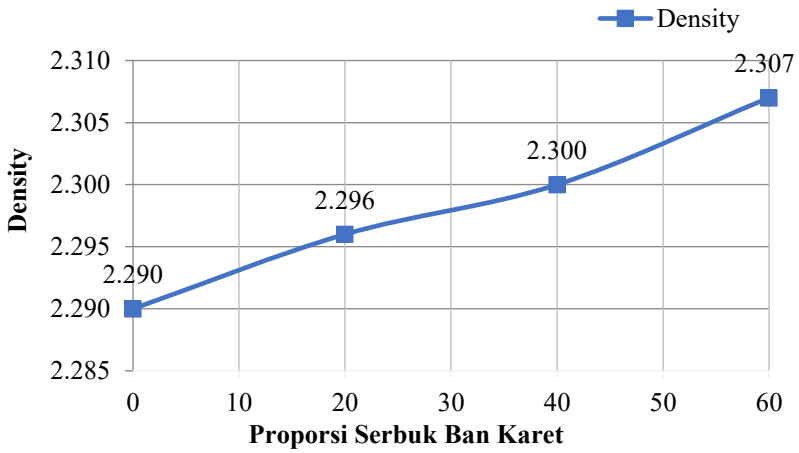
f. *Void in Mineral Aggregate* (VMA)



Gambar 5. 17 Grafik Hubungan *Void in Mineral Aggregate* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan gambar 5.17 di atas menunjukkan bahwa nilai VMA menurun dari 15,82% pada variasi serbuk ban karet proporsi 0% menjadi 14,99% pada variasi 60%. Penurunan VMA menunjukkan ruang di antara butiran agregat dalam campuran padat menjadi semakin kecil. Pada pengujian ini, kondisi tersebut konsisten dengan penurunan VITM dan kenaikan *density*. Namun, nilai VMA tidak boleh terlalu rendah karena campuran tetap memerlukan ruang yang cukup untuk menampung aspal efektif dan mempertahankan ketebalan film aspal yang memadai. Selain itu, permukaan pada agregat halus yang lebih besar dibandingkan dengan serbuk ban karet membuat aspal yang mengisi rongga dan pori antar agregat lebih banyak jika dibandingkan dengan serbuk ban karet. Diketahui bahwa campuran serbuk ban karet jauh lebih kedap terhadap air dan udara. Kecenderungan ini sama dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian Aditama, nilai VMA juga menurun seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Penurunan tersebut menunjukkan bahwa campuran menjadi lebih rapat dan rongga antaragregat semakin kecil.

g. *Density* (Kepadatan)



Gambar 5. 18 Grafik Hubungan *Density* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

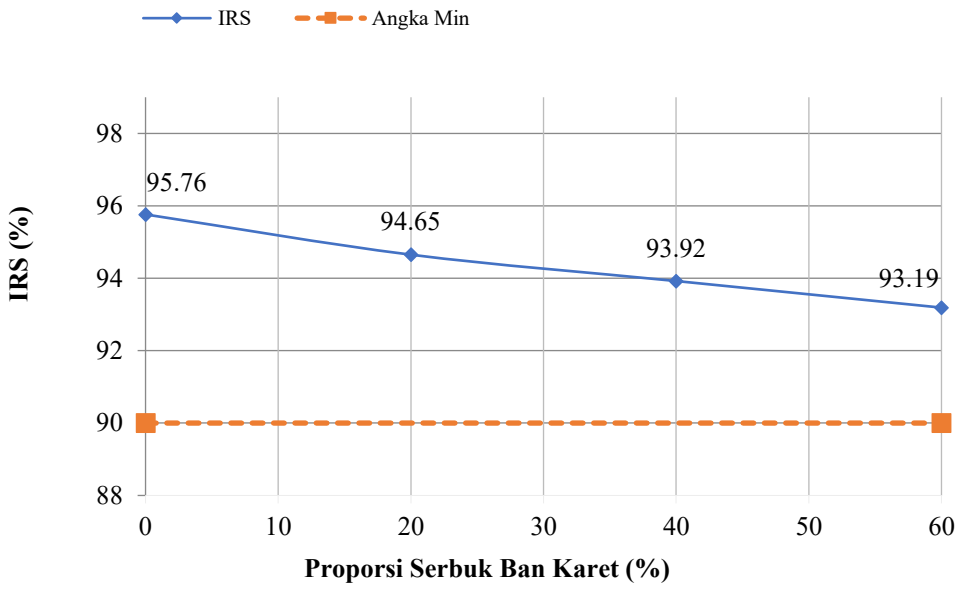
Berdasarkan Grafik 5.18 di atas diketahui bahwa, nilai density pada kondisi KAO meningkat dari 2,290 g/cm³ pada variasi serbuk ban karet 0% menjadi 2,307 g/cm³ pada variasi 60%. Kenaikan sebesar 0,017 g/cm³ tersebut perlu ditafsirkan secara hati-hati karena berat jenis serbuk ban karet sebesar 1,09 jauh lebih rendah daripada agregat halus sebesar 2,53. Peningkatan density tidak berarti bahwa serbuk ban karet membuat material campuran menjadi lebih berat, tetapi diduga berkaitan dengan berkurangnya volume rongga. Dugaan tersebut didukung oleh penurunan VITM dari 4,95% menjadi 4,55% dan VMA dari 15,82% menjadi sekitar 15,00%.

Selain itu, setiap variasi menggunakan KAO yang berbeda sehingga perubahan density merupakan hasil gabungan dari proporsi serbuk karet, kadar aspal, susunan butiran, volume benda uji, dan hasil pemadatan. Karena peningkatan density relatif kecil, hanya menggunakan tiga benda uji, dan perubahan volume rongga tidak diperiksa secara langsung, mekanismenya belum dapat dipastikan. Dengan demikian, penambahan serbuk ban karet sampai 60% hanya dapat dinyatakan menunjukkan kecenderungan meningkatkan density pada kondisi KAO dan tidak

langsung menunjukkan bahwa keseluruhan kinerja campuran menjadi lebih baik.

2. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Immersion Test* Campuran Aspal *AC-WC* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Adapun hasil pengujian *Immersion Test* campuran *AC-WC* dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.19 sebagai berikut.



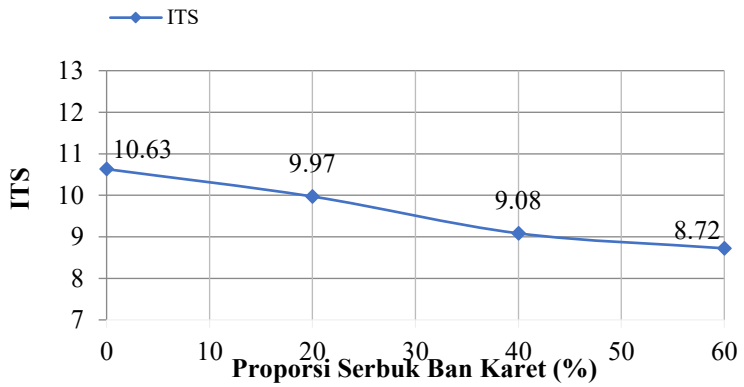
Gambar 5. 19 Grafik Hubungan *Immersion* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan Tabel 5.16 dan Gambar 5.19 sebelumnya, nilai IRS rata-rata menurun dari 95,76% menjadi 93,19% dari variasi serbuk ban karet 0% ke 60%. Hasil data menunjukkan bahwa peningkatan kadar serbuk ban karet secara bertahap mengurangi kemampuan campuran mempertahankan stabilitas setelah perendaman. Meskipun demikian, seluruh variasi masih berada di atas batas minimum 90%. Penurunan IRS mengindikasikan bahwa kualitas ikatan pada antarmuka aspal, agregat mineral, dan partikel karet menjadi lebih sensitif terhadap air ketika proporsi karet diperbesar. Hasil tersebut juga menunjukkan bahwa penurunan nilai VITM tidak

otomatis meningkatkan ketahanan terhadap air karena durabilitas dipengaruhi pula oleh adhesi dan kohesi bahan penyusun campuran. Hasil tersebut sejalan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian tersebut, nilai IRS juga menurun seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Bahkan pada kadar 100%, nilai IRS tidak memenuhi spesifikasi minimum 90%. Hal ini menunjukkan bahwa kadar karet yang terlalu tinggi dapat menurunkan durabilitas campuran terhadap pengaruh air, suhu, dan perendaman.

3. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Indirect Tensile Strength* Campuran Aspal *AC-WC* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Adapun hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* campuran *AC-WC* dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.20 sebagai berikut.



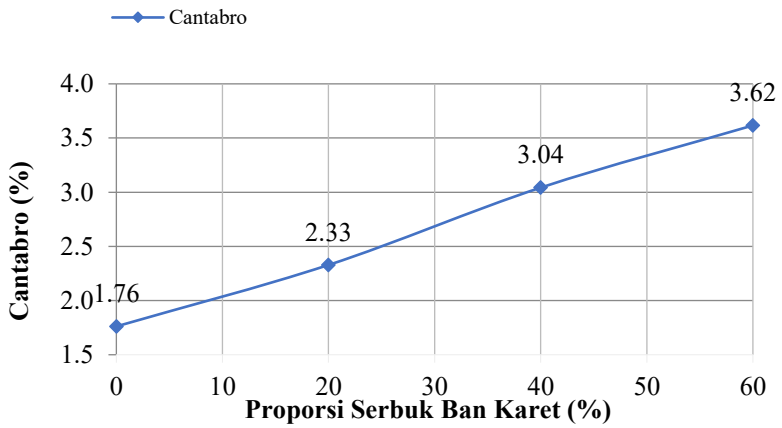
Gambar 5. 20 Grafik Hubungan *Indirect Tensile Strength* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Nilai ITS rata-rata pada Gambar 5.20 di atas menunjukkan penurunan yang konsisten, yaitu dari 10,63 kg/cm2 menjadi 8,72 kg/cm2 dari proporsi 0% ke 60%. Dengan demikian, semakin besar fraksi agregat halus yang diganti serbuk ban karet, semakin rendah tegangan tarik tidak langsung yang dapat ditahan benda uji pada kondisi pengujian. Kecenderungan tersebut dapat dikaitkan dengan berkurangnya kontak kaku antarpelat agregat dan meningkatnya bagian material elastis di dalam kerangka campuran. Partikel karet dapat mengalami deformasi lebih besar dibandingkan agregat mineral

sehingga transfer tegangan tarik melalui kerangka campuran menjadi kurang efektif. Penurunan ITS juga searah dengan penurunan stabilitas *Marshall*, sehingga kedua pengujian menunjukkan pelemahan kapasitas mekanis ketika kadar substitusi dinaikkan. Hasil ini sejalan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian mereka, nilai ITS juga menurun dari proporsi serbuk ban karet 0% sampai 100%. Penurunan tersebut dikaitkan dengan permukaan serbuk ban karet yang lebih halus dibandingkan agregat mineral serta sifat karet yang elastis. Ketika karet terkena panas saat pencampuran, karet dapat menjadi lebih lunak sehingga *interlocking* antara agregat dan karet menurun.

4. Hasil Pengujian dan Pembahasan *Cantabro* Campuran Aspal *AC-WC* dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

   Adapun hasil pengujian *Cantabro* campuran *AC-WC* dengan proporsi ban karet pada kadar aspal optimum dapat dilihat pada Gambar 5.21 sebagai berikut.



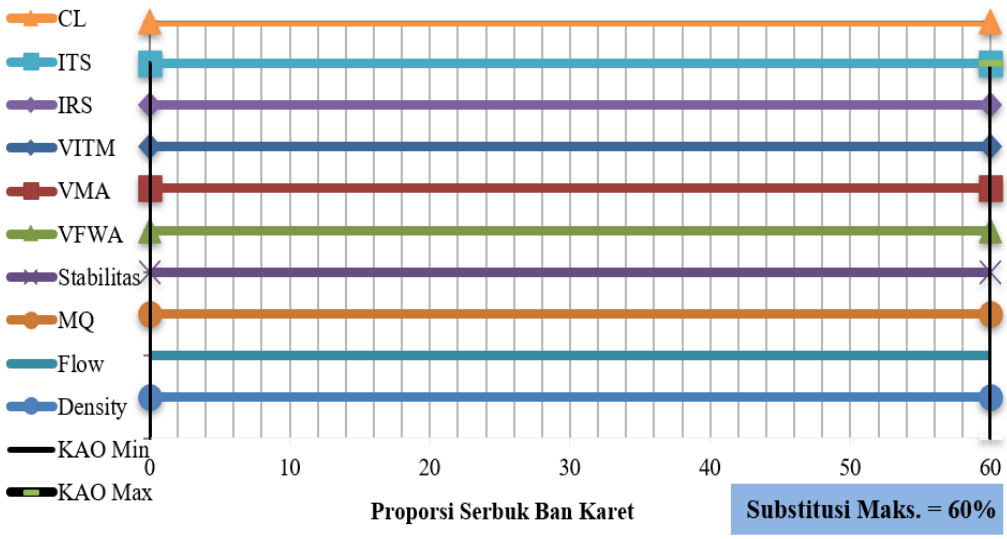
Gambar 5. 21 Grafik Hubungan Kehilangan Berat dengan Campuran Serbuk Ban Karet pada Kondisi KAO

Berdasarkan Tabel 5.18 dan Gambar 5.21 sebelumnya, kehilangan berat rata-rata meningkat dari 1,76% menjadi 3,62% dari variasi serbuk ban karet 0% ke 60%. Nilai pada proporsi 60% lebih dari dua kali nilai campuran tanpa karet yang dimana pola ini menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap pelepasan butir menurun ketika proporsi serbuk ban karet diperbesar.

Kenaikan nilai *Cantabro* berkaitan dengan berkurangnya penguncian dan kontak kaku antarpelat agregat setelah sebagian agregat mineral diganti oleh material yang lebih elastis. Ketika benda uji menerima tumbukan berulang di dalam mesin, bagian campuran yang memiliki ikatan antarbutir lebih lemah lebih mudah terlepas. Kecenderungan ini konsisten dengan penurunan stabilitas dan ITS sehingga ketiga hasil tersebut saling mendukung dalam menunjukkan penurunan kekuatan internal pada kadar substitusi yang lebih tinggi. Hasil tersebut sama dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020). Pada penelitian Aditama tersebut, nilai *Cantabro* juga meningkat seiring bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Kenaikan kehilangan berat tersebut terjadi karena semakin banyak serbuk ban karet dalam campuran dapat mengurangi kekuatan ikatan antarbutir agregat, sehingga campuran lebih mudah mengalami kehilangan berat saat menerima abrasi.

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

Setelah seluruh rangkaian pengujian selesai dilakukan, yang meliputi pengujian *Marshall, Indirect Tensile Strength* (ITS), *Immersion* selama 24 jam, serta pengujian *Cantabro***,** diperoleh hasil yang dapat digunakan untuk menentukan persentase maksimum penggunaan serbuk ban karet sebagai bahan substitusi agregat halus no.30 pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*)**.** Penentuan persentase maksimum tersebut dilakukan dengan mempertimbangkan hasil dari masing-masing parameter pengujian, sehingga dapat diketahui kadar serbuk ban karet yang masih mampu memenuhi karakteristik dan persyaratan campuran *AC-WC*. Rekapitulasi hasil pengujian serta penentuan persentase maksimum penggunaan serbuk ban karet tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.22 sebagai berikut.



Gambar 5. 22 Grafik Persentase Substitusi Maksimum dengan Substitusi Campuran Serbuk Ban Karet pada Campuran Aspal *AC-WC*

Berdasarkan Gambar 5.22, penggunaan serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*) dengan kadar 0% sampai 60% masih memenuhi seluruh parameter pengujian. Parameter tersebut meliputi karakteristik *Marshall*, yaitu stabilitas, *flow*, *Marshall Quotient* (MQ), VITM, VMA, VFWA, dan *density*, serta pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS), *Index of Retained Strength* (IRS) melalui perendaman 24 jam, dan *Cantabro*. Rangkaian pengujian tersebut digunakan untuk menilai kemampuan campuran dari aspek kekuatan, kelenturan, kondisi rongga, ketahanan terhadap air, kuat tarik, serta ketahanan terhadap abrasi.

Berdasarkan keseluruhan hasil, tidak terdapat parameter pengujian yang menjadi faktor pembatas pada variasi serbuk ban karet 0% sampai 60%. Oleh karena itu, seluruh variasi serbuk ban karet dari 0% sampai 60% masih memenuhi parameter yang digunakan. Namun, kadar 60% hanya merupakan kadar tertinggi yang diuji dalam penelitian ini. Oleh karena penelitian tidak mencakup variasi di atas 60%, hasil tersebut belum dapat digunakan untuk menentukan batas maksimum substitusi serbuk ban karet secara mutlak.

5.3 Pembahasan

5.3.1 Karakteristik *Marshall* Pada Campuran *AC-WC*

Ditinjau dari karakteristik *Marshall*, seluruh variasi kadar serbuk ban karet sampai 60% masih menunjukkan nilai yang memenuhi persyaratan. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa campuran masih memiliki kemampuan yang memadai dalam menerima beban, mengalami deformasi secara terkendali, serta mempertahankan kondisi rongga dan kepadatan yang sesuai. Hal ini penting karena *AC-WC* merupakan lapisan permukaan yang menerima beban lalu lintas secara langsung sehingga membutuhkan stabilitas yang cukup dan kemampuan melindungi lapisan di bawahnya dari pengaruh air. Jika dibandingkan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020), kondisi ini memiliki pola yang sama. Pada penelitian Aditama dan Subarka (2020), seluruh variasi 0% sampai 100% masih memenuhi persyaratan *Marshall*, tetapi stabilitas, MQ, VITM, dan VMA menurun, sedangkan *flow* dan VFWA meningkat. Penelitian Aditama tetap tidak langsung merekomendasikan kadar tertinggi karena penurunan beberapa parameter perlu dipertimbangkan.

Berdasarkan seluruh parameter *Marshall* tersebut, tujuan penelitian telah tercapai dikarenakan penggunaan serbuk ban karet terbukti memberikan pengaruh terhadap karakteristik *Marshall* campuran *AC-WC*. Pengaruh tersebut terlihat dari penurunan stabilitas, MQ, VITM, dan VMA, serta peningkatan *flow*, VFWA, dan *density*. Meskipun terjadi perubahan nilai pada setiap parameter, campuran masih menunjukkan karakteristik yang dapat diterima dalam batas pengujian yang digunakan.

5.3.2 Karakteristik ITS Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung Pada Campuran *AC-WC*

Pada pengujian ITS dan *Immersion* 24 jam, seluruh variasi serbuk ban karet juga masih memenuhi kriteria yang digunakan. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tetap memiliki kemampuan dalam menahan tegangan tarik tidak langsung serta mampu mempertahankan kekuatannya setelah mengalami perendaman. Jika dibandingkan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020), kecenderungan ini sama. Penelitian tersebut juga menunjukkan bahwa nilai ITS menurun seiring

bertambahnya proporsi serbuk ban karet. Pada kadar 50%, penelitian tersebut masih merekomendasikan penggunaan serbuk ban karet karena nilai ITS dan parameter lain masih dianggap cukup baik. Namun, pada kadar yang lebih tinggi, penurunan ITS menjadi pertimbangan penting dalam membatasi kadar serbuk ban karet.

Meskipun nilai ITS menurun, seluruh variasi sampai kadar 60% masih dapat digunakan dalam lingkup penelitian. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan serbuk ban karet memang memengaruhi kuat tarik tidak langsung campuran, tetapi penurunannya belum menyebabkan campuran tidak layak berdasarkan parameter yang digunakan dalam penelitian. Dengan demikian, tujuan kedua penelitian telah terpenuhi dikarenakan pengujian ITS mampu menunjukkan arah pengaruh serbuk ban karet terhadap kekuatan tarik tidak langsung campuran *AC-WC.*

5.3.3 Karakteristik IRS dan *Cantabro* Terhadap Derajat Keawetan Pada Campuran *AC-WC*

Dari sisi IRS, kadar 60% pada penelitian ini masih memenuhi batas minimum karena nilai IRS sebesar 93,19%, lebih besar dari batas 90%. Namun, nilai IRS menurun dari 95,76% pada variasi 0% menjadi 93,19% pada variasi 60%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk ban karet, ketahanan campuran terhadap perendaman semakin menurun. Jika dibandingkan dengan penelitian Aditama dan Subarka (2020), hasil penelitian ini masih lebih aman dalam rentang variasi yang diuji karena seluruh kadar sampai 60% masih memenuhi batas IRS. Pada penelitian Aditama dan Subarka (2020), nilai IRS menurun dan pada kadar 100% tidak memenuhi batas minimum 90%. Oleh karena itu, penelitian tersebut tidak merekomendasikan kadar yang terlalu tinggi meskipun hasil grafik menunjukkan substitusi maksimum 95,04%.

Demikian pula pada pengujian *Cantabro*, nilai yang diperoleh sampai kadar 60% masih berada dalam batas persyaratan, sehingga campuran masih memiliki ketahanan yang memadai terhadap pelepasan butiran akibat abrasi. Jika dibandingkan dengan penelitian Iqba, pola ini juga sama. Penelitian Aditama dan Subarka (2020) menunjukkan bahwa nilai *Cantabro* meningkat seiring

bertambahnya serbuk ban karet. Bahkan dalam pertimbangan kadar maksimum, penelitian tersebut memilih kadar 50% karena pada kadar tersebut nilai *Cantabro* masih berada pada kondisi yang lebih aman dibandingkan kadar yang lebih tinggi.

Berdasarkan hasil uji IRS dan *Cantabro*, tujuan penelitian ketiga telah terpenuhi karena kedua pengujian tersebut menunjukkan pengaruh penggunaan serbuk ban karet terhadap derajat keawetan campuran. Nilai IRS yang masih berada di atas batas minimum menunjukkan bahwa campuran tetap memiliki ketahanan terhadap perendaman. Sementara itu, nilai *Cantabro* yang meningkat menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk ban karet, ketahanan terhadap abrasi cenderung menurun. Dengan kata lain, campuran masih memenuhi persyaratan dalam rentang kadar yang diuji, tetapi kadar serbuk ban karet yang semakin tinggi tetap memberikan konsekuensi terhadap durabilitas campuran.

Adapun rekapitulasi hasil pengujian campuran aspal *AC-WC* dengan variasi serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.22 berikut ini.

Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus

Tinjauan	Parameter	Substitusi Serbuk Ban Karet (%)				Keterangan
		0	20	40	60	
Karakteristik *Marshall*	Stabilitas (kg)	1.137	1.068	995	940	Semakin tinggi kadar serbuk ban karet, nilai stabilitas menurun. Namun seluruh variasi masih memenuhi batas minimum stabilitas, sehingga campuran masih mampu menahan beban.
	Flow (mm)	3,10	3,25	3,40	3,50	Nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Hal ini menunjukkan campuran menjadi lebih lentur, tetapi masih berada dalam batas persyaratan.
	Marshall Quotient	366,77	328,62	292,65	268,57	Nilai MQ menurun karena stabilitas menurun dan flow meningkat. Hal ini menunjukkan kekakuan campuran berkurang, tetapi deformasi masih terkendali.
	VITM (%)	4,95	4,83	4,76	4,55	Nilai VITM menurun, menunjukkan rongga udara dalam campuran semakin kecil. Seluruh variasi masih berada pada rentang persyaratan

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus

Tinjauan	Parameter	Substitusi Serbuk Ban Karet (%)				Keterangan
		0	20	40	60	
Karakteristik *Marshall*	VFWA (%)	72,23	72,43	72,52	73,24	Nilai VFWA meningkat, menunjukkan rongga antaragregat yang terisi aspal semakin besar. Campuran menjadi lebih rapat dan masih memenuhi persyaratan
	VMA (%)	15,82	15,51	15,30	15	Nilai VMA menurun seiring bertambahnya serbuk ban karet. Pada variasi 60%, nilai VMA berada sangat dekat dengan batas minimum sehingga perlu diperhatikan
	Density (gr/cm^3)	2,290	2,299	2,301	2,307	Nilai *density* meningkat, menunjukkan campuran semakin padat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet

Lanjutan Tabel 5. 19 Rekapitulasi Hasil Pengujian Campuran Aspal *AC-WC* Dengan Variasi Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus

Tinjauan	Parameter	Substitusi Serbuk Ban Karet (%)				Keterangan
		0	20	40	60	
Kuat Tarik Tidak Langsung	ITS (kg/cm²)	10,63	9,97	9,08	8,72	Semakin tinggi kadar serbuk ban karet, nilai ITS menurun. Hal ini menunjukkan kemampuan campuran dalam menahan tegangan tarik tidak langsung semakin berkurang.
Derajat Keawetan	IRS (%)	95,76	94,65	93,92	93,19	Nilai IRS menurun, tetapi seluruh variasi masih berada di atas batas minimum 90%. Campuran masih memiliki ketahanan terhadap perendaman. Sehingga berpengaruh terhadap derajat keawetan campuran *AC-WC*
	Cantabro (%)	1,76	2,33	3,04	3,62	Nilai Cantabro meningkat, menunjukkan ketahanan campuran terhadap abrasi dan pelepasan butiran menurun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Namun, tetap berada pada batas syarat yang ditentukan.

Tabel 5. 20 Rekapituliasi Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus

No	Keterangan	Pengaruh Substitusi Serbuk Ban Karet Pada Campuran *AC-WC*
1	Karakteristik Marshall	Penggunaan serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus memberikan pengaruh terhadap karakteristik Marshall campuran AC-WC. Semakin tinggi kadar substitusi dari 0% sampai 60%, nilai stabilitas, MQ, VITM, dan VMA cenderung menurun, sedangkan nilai *flow*, VFWA, dan *density* cenderung meningkat. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet membuat campuran menjadi lebih lentur dan cenderung lebih rapat, tetapi diikuti dengan penurunan kekakuan serta kemampuan campuran dalam menahan beban. Nilai stabilitas menurun dari 1.137 kg menjadi 940 kg, sedangkan *flow* meningkat dari 3,10 mm menjadi 3,50 mm.
2	Kuat Tarik Tidak Langsung	Substitusi serbuk ban karet memberikan pengaruh berupa penurunan kuat tarik tidak langsung campuran AC-WC. Nilai ITS rata-rata menurun dari 10,63 kg/cm² pada kadar 0% menjadi 8,72 kg/cm² pada kadar 60%. Hal ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk ban karet, kemampuan campuran dalam menahan tegangan tarik tidak langsung semakin berkurang. Penurunan tersebut berkaitan dengan bertambahnya material yang bersifat elastis sehingga kontak dan penguncian antaragregat mineral menjadi berkurang

Lanjutan Tabel 5. 20 Rekapituliasi Pengaruh Penggunaan Serbuk Ban Karet Sebagai Substitusi Agregat Halus

No	Keterangan	Pengaruh Substitusi Serbuk Ban Karet Pada Campuran *AC-WC*
3	Derajat Keawetan	Penggunaan serbuk ban karet juga memberikan pengaruh terhadap derajat keawetan campuran AC-WC, yang ditunjukkan melalui pengujian IRS dan Cantabro. Nilai IRS menurun dari 95,76% menjadi 93,19%, tetapi seluruh variasi masih berada di atas batas minimum 90%, sehingga campuran masih memiliki ketahanan terhadap perendaman. Sementara itu, nilai kehilangan berat Cantabro meningkat dari 1,76% menjadi 3,62%, yang menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap abrasi dan pelepasan butiran semakin menurun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet.

BAB VI
KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis terhadap penggunaan limbah serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus No.30 pada campuran *Asphalt Concrete-Wearing Course* (*AC-WC*) dengan variasi 0%, 20%, 40%, dan 60% menggunakan aspal PG 70, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Penggunaan serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus berpengaruh terhadap karakteristik *Marshall* campuran *AC-WC*. Nilai stabilitas dan *Marshall Quotient* cenderung menurun, sedangkan nilai *flow* meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Nilai VITM dan VMA mengalami penurunan, sementara VFWA dan density cenderung meningkat. Meskipun terjadi perubahan tersebut, campuran sampai variasi 60% masih menunjukkan karakteristik *Marshall* yang dapat diterima dan memenuhi syarat Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025.
2. Penggunaan serbuk ban karet sebagai substitusi agregat halus berpengaruh terhadap nilai kuat tarik tidak langsung campuran AC-WC. Nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) menurun dari 10,63 kg/cm² pada variasi 0% menjadi 8,72 kg/cm² pada variasi 60%. Penurunan ini menunjukkan bahwa semakin besar kadar serbuk ban karet, kemampuan campuran dalam menahan tegangan tarik tidak langsung semakin berkurang.
3. Penggunaan serbuk ban karet juga berpengaruh terhadap derajat keawetan campuran *AC-WC*. Nilai *Index of Retained Strength* (IRS) menurun dari 95,76% menjadi 93,19%, tetapi seluruh variasi masih berada di atas batas minimum 90%. Sementara itu, nilai kehilangan berat *Cantabro* meningkat dari 1,76% menjadi 3,62%, yang menunjukkan bahwa ketahanan kinerja campuran terhadap abrasi cenderung menurun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Seluruh hasil uji IRS dan Cantabro masih memenuhi syarat Surat Edaran Direktur Jenderal Bina Marga Nomor 07/SE/Db/2025.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang dilakukan, maka beberapa saran yang dapat penulis berikan sebagai berikut.

1. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji pengaruh temperatur pencampuran dan pemadatan terhadap campuran *AC-WC* yang menggunakan serbuk ban karet, karena sifat karet dapat berubah ketika menerima temperatur yang berbeda.
2. Serbuk ban karet yang digunakan sebaiknya memiliki kondisi dan kualitas yang seragam, terutama dari segi kebersihan, kadar air, dan sumber limbah ban, agar hasil pengujian tidak dipengaruhi oleh perbedaan kondisi material.
3. Penelitian selanjutnya dapat mengkaji urutan penambahan dan lama waktu pencampuran serbuk ban karet untuk mengetahui metode pencampuran yang dapat menghasilkan penyebaran serbuk ban karet secara lebih merata di dalam campuran *AC-WC*.
4. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan sumber limbah ban yang berbeda, misalnya ban dalam dan ban luar, untuk mengetahui apakah jenis bahan karet memberikan pengaruh yang berbeda terhadap hasil pengujian campuran *AC-WC.*
5. Penelitian selanjutnya dapat meninjau aspek lingkungan dari penggunaan serbuk ban karet dalam campuran *AC-WC*, sehingga pemanfaatannya tidak hanya dinilai dari karakteristik dan kinerja campuran, tetapi juga dari manfaatnya dalam mengurangi limbah ban.
6. Penelitian selanjutnya disarankan menguji variasi serbuk ban karet di atas 60% dengan interval yang lebih rapat untuk menentukan batas maksimum substitusi. Pengujian terhadap penyerapan aspal, pembengkakan serbuk karet, serta perubahan volume dan distribusi rongga juga diperlukan untuk memperkuat penjelasan mengenai penurunan KAO dan peningkatan density.

DAFTAR PUSTAKA

Adilahaqi, R. H., & Kushari, B. (2024). *Pengaruh penggunaan limbah ban karet kendaraan sebagai pemodifikasi aspal terhadap kinerja Marshall pada campuran AC-WC. Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.

Aditama, I. B., & Subarka. (2020). *Pengaruh penggunaan serbuk ban karet sebagai pengganti agregat halus terhadap karakteristik campuran asphalt concrete wearing course (AC-WC). Tugas Akhir.* Universitas Islam Indonesia.

Apteda, P. E., Royyan, M., Yuwanto, H. A. P., Romadhon, M. H. S., & Putri, A. M. (2023). Perbandingan karakteristik Marshall pada aspal modifikasi polimer PG70 dengan aspal minyak Pen 60/70 pada proyek preservasi jalan Sidoarjo–Malang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik, 2*(1), 23–31. https://doi.org/10.55606/jurritek.v5i1

Azhari, D. (2018). *Analisis pengaruh penggunaan crumb rubber sebagai bahan penambah aspal dengan filler abu cangkang sawit untuk campuran asphalt concrete-binder course (AC-BC). Tugas Akhir.* Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Direktorat Jenderal Bina Marga. (2025). Spesifikasi umum Bina Marga 2025 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan. Kementerian Pekerjaan Umum.

Faritzie, H. A., Umari, Z. F., & Panjaitan, R. (2021). Analisis kadar optimum serbuk karet ban dalam bekas pada campuran aspal. *TAPAK: Teknologi Aplikasi Konstruksi, 11*(1), 29. https://doi.org/10.24127/tp.v11i1.1784

Farza, G. H., & Hadi, M. A. (2025). *Studi komparasi penerapan aspal PG70 dan Pen 60/70 pada campuran hot rolled sheet-wearing course (HRS-WC). Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.

Ferbiansyah, R., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Analisis durabilitas campuran AC-WC menggunakan asphalt buton Pen 60/70 dan asphalt PG76 perbandingan 40:60. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil*, 16–17. https://doi.org/10.62603/konteks.v1i3.48

Firmansyah, D., & Chasanah, F. (2018). *Pengaruh penambahan limbah ban karet sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC dengan filler gypsum*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.

Ikhwandito, Y., Indriani, A. M., & Gunaedy, U. (2023). Analisis perkerasan aspal buton Pen 60/70 dan PG76 (30:70) terhadap karakteristik Marshall. *Prosiding Seminar Nasional Teknik Sipil, 17*, 9–24. https://doi.org/10.62603/konteks.v1i3.47

Indriyati, E. W. (2017). Kajian perbandingan penggunaan aspal modifikasi asbuton dan asphalt rubber (AR) untuk infrastruktur jalan. *Jurnal Teknik Sipil, 14*(2), 94–100. https://doi.org/10.24002/jts.v14i2.1527

Kusumastuti, D. R., Supriyadi, Ukiman, & Hadi, T. (2020). Go green menginovasi tikar/kloso dari bahan limbah ban bekas dengan menambah ketebalan bilah-bilah karet (2 mm dan 3 mm) guna perbaikan tanah dan meningkatkan daya dukung tanah jalan raya. *Prosiding Seminar Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Polines, 3*, 231–246. *https://jurnal.polines.ac.id/index.php/Sentrikom/article/view/2756*

Lusyana, Mukhlis, Suardi, E., Fitri, R., & Sagita, D. C. (2022). Perbandingan karakteristik campuran asphalt concrete-wearing course (AC-WC) menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal PG76. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil, 19*(1), 88–95. *https://doi.org/10.30630/jirs.v19i1.701*

Purnama, A. R. (2021). Kinerja campuran beraspal dengan menggunakan aspal Starbit E-55 dan aspal PG76 FR berdasarkan gradasi asphalt concrete (AC) bandar udara. *FTSP Series, 1*(1), 1–8.

Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis karakteristik Marshall campuran aspal modifikasi pada asphalt concrete-wearing course (AC-WC) dengan penambahan serbuk ban kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil, 19*(2), 335–350. https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580

Rahman, I. Y. (2023). *Pengaruh substitusi fly ash sebagai filler terhadap karakteristik campuran superpave dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit PG70*. *Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia.

Sugiyanto, G. (2008). Kajian karakteristik campuran hot rolled asphalt. *Jurnal Teknik Sipil, 50*, 91–104.

Trisandi, A., & Asfiati, S. (2023). *Pengaruh penambahan limbah ban dalam bekas kendaraan pada lapisan asphalt concrete-wearing course (AC-WC) terhadap karakteristik Marshall*. *Tugas Akhir*. Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Widhiatmoko, G., & Fauziah, M. (2025). *Studi perbandingan karakteristik campuran superpave dengan penambahan serbuk ban karet pada aspal Pen 60/70 dan aspal PG70 menggunakan metode pemadatan Marshall dan gyratory*. *Tesis*. Universitas Islam Indonesia.

Widhiatmoko, G., & Hadi, M. A. (2024). Studi perbandingan karakteristik Marshall dan IRS antara aspal polimer PG70 campur serbuk ban karet dengan aspal Pen 60/70 campur serbuk ban karet pada campuran HRS-WC dan superpave. *Proceeding Civil Engineering Research Forum, 4*(1), 2–10. https://dspace.uii.ac.id/handle/123456789/56269

Widhiatmoko, G., & Hadi, M. A. (2024). Studi perbandingan karakteristik Marshall aspal PG70 dan Pen 60/70 campur serbuk ban karet pada campuran beton aspal. *Jurnal Transportasi, 24*(2), 113–123. https://doi.org/10.26593/jtrans.v24i2.8999.113-123

LAMPIRAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG 70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

1 Sumber Material : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis Material : Aspal PG70
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	23,83	24,49
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,01	47,3
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,18	22,81
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,35	26,06
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,52	1,57
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,13	47,32
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,78	21,26
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,4	1,55
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,09	1,01
10	Rata-rata BJ Aspal	1,05	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 2 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG 70

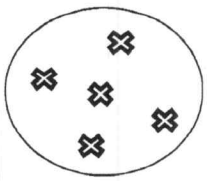
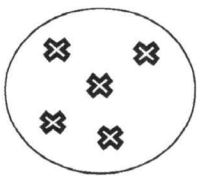
PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

1 Sumber Material : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis Material : Aspal PG70
3 Diuji Pada : Mei 2026

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	10.30 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	10.30 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	13.00 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	25 ^{o}C	13.30 WIB	
	Selesai	25 ^{o}C	14.00 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	51	48			
2	52	50			
3	50	49			
4	49	51			
5	51	50			
Rata2	50,6	49,6			
Rata2	50,1				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal PG 70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

1 Sumber Material : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis Material : Aspal PG70
3 Diuji Pada : Mei 2026

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	08.10 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	08.25 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	08.25 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	09.30 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	27 ^{o}C	09.30 WIB	
	Selesai	329 ^{o}C	10.10 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji	318 ^{o}C	326 ^{o}C	

Yogyakarta, Agustus 2026

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG 70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

1 Sumber Material : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis Material : Aspal PG70
3 Diuji Pada : Mei 2026

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda uji**			
	Mulai pemanasan	27 ^{o}C	08.15 WIB	
	Selesai pemanasan	140 ^{o}C	08.30 WIB	
2	**Didiamkan pada suhu ruang**			
	Mulai	140 ^{o}C	08.30 WIB	
	Selesai	27 ^{o}C	09.45 WIB	
3	**Diperiksa**			
	Mulai	5 ^{o}C	13.20 WIB	
	Selesai	76 ^{o}C	13.35 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^{o}C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 ^{o}C	0 detik	0 detik		
2	10 ^{o}C	63 detik	63 detik		
3	15 ^{o}C	128 detik	128 detik		
4	20 ^{o}C	184 detik	184 detik		
5	25 ^{o}C	243 detik	243 detik		
6	30 ^{o}C	302 detik	302 detik		
7	35 ^{o}C	367 detik	367 detik		
8	40 ^{o}C	422 detik	422 detik		
9	45 ^{o}C	488 detik	488 detik		
10	50 ^{o}C	545 detik	545 detik		
11	55 ^{o}C	595 detik	595 detik		
12	60 ^{o}C	645 detik	645 detik		
13	65 ^{o}C	687 detik	687 detik		
14	70 ^{o}C	741 detik	736 detik		
15	75 ^{o}C	795 detik	787 detik		
16	80 ^{o}C	841 detik	832 detik	76 ^{o}C	76 ^{o}C

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG 70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

1 Contoh dari : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis contoh : Aspal PG70
3 Diperiksa tg : Mei 2026

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	60 cm	Putus
2	Sampel 2	65 cm	Putus
4	Rata-rata	62,5 cm	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 6 Pemeriksaan Kelarutan Aspal PG 70 dalam *TCE*

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

1 Sumber Material : Aspal Polimer Emulsindo
2 Jenis Material : Aspal PG70
3 Diuji Pada : Mei 2026

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	57,840	64,310	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	60,060	66,690	
3	Berat Aspal (2 - 1)	2,220 gr	2,380 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,620	0,610	
5	Berat kertas saring bersih + mineral	0,640	0,630	
6	Berat mineral (5 - 4)	0,020 gr	0,020 gr	
7	Prosentase mineral (6/3x100%)	0,901 %	0,840 %	
8	Aspal yang larut (100% - 7)	99,099 %	99,160 %	
9	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,13 %		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 7 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1604,78	1605,94	1605,36
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,50	1000,10	1000,30
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1575,78	1578,50	1577,14
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA}$	2,608	2,605	2,607
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA}$	2,656	2,651	2,653
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,739	2,729	2,734
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	1,840	1,738	1,789
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,673	2,667	2,670

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 8 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : Mei 2026

Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	**Pemanasan Benda Uji**			
	Mulai	25^{O}C	09.00 WIB	
	Selesai	150^{O}C	09.15 WIB	
2	**Didiamkan Pada Suhu Ruang**			
	Mulai	150^{O}C	09.15 WIB	
	Selesai	25^{O}C	10.45 WIB	
3	**Perendaman benda uji**			
	Mulai	25^{O}C	10.45 WIB	
	Selesai	25^{O}C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 9 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Kasar
3 Diuji Pada : Mei 2026

No	Jenis Gradasi Saringan		B Benda Uji (gram)		Keterangan
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	4793,30	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4793,30	4050,00	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		4,134	19,000	
14	Rata-rata Keausan (%)		11,57		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,01	500,01	500,01
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	708,30	653,95	681,13
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1016,44	958,24	987,34
4	Berat benda uji kering oven (BK)	490,06	489,92	489,99
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B+500)-BT}$	2,554	2,503	2,53
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B+500)-BT}$	2,606	2,555	2,58
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B+BK)-BT}$	2,694	2,639	2,67
8	Penyerapan air = $\frac{(500-BK)}{BK} \times 100\%$	2,028	2,057	2,04
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,624	2,571	2,60

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 11 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN *SAND EQUIVALENT*

RUJUKAN : SNI 3423-2008

1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
2 Jenis Material : Agregat Halus
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Keterangan		Benda uji 1	Benda uji 2	Rata-rata
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan $CaCl_2$ selama (± 10.1 menit).	Mulai	10.05	10.10	
		Selesai	10.15	10.20	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan $CaCl_2$)	Mulai	10.20	10.25	
		Selesai	10.35	10.40	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		4,89	4,90	4,895
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,52	4,54	4,530
6	$Sand\ Eqiuvalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ \%$`		92,43	92,65	92,54
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		7,57	7,35	7,46

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 12 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER* DEBU

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : *Filler* Abu Batu
2 Sumber Material : Clereng
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,82	24,50	24,16
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,02	47,42	46,72
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,20	22,92	22,56
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	30,24	30,33	30,29
5	Berat *Filler* (4-1) gr	6,420	5,830	6,13
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	49,920	50,970	50,45
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,680	20,640	20,16
8	Volume *Filler* (3-7) gr	2,520	2,280	2,40
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	2,548	2,557	2,55

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN BERAT JENIS SERBUK BAN KARET

RUJUKAN : SNI 2441-2011

1 Jenis Material : Serbuk Ban Karet
2 Sumber Material : WAHYU JAYA MOTOR 2
3 Diuji Pada : Mei 2026

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	20,71	24,09	22,40
2	Berat Vicnometer + Air gr	43,53	47,35	45,44
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,82	23,26	23,04
4	Berat Vicnometer + *Filler* gr	24,14	27,90	26,02
5	Berat *Filler* (4-1) gr	3,430	3,810	3,62
6	Berat Vicnometer + *Filler* + Aquadest gr	43,620	47,870	45,75
7	Berat Aquadest (6-4) gr	19,480	19,970	19,73
8	Volume *Filler* (3-7) gr	3,340	3,290	3,32
9	Berat Jenis *Filler* = Berat/Vol (5/8)	1,027	1,158	1,09

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : Juni 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

No. Benda Uji		Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) Rongga dalam Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Angka Koreksi	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L	M	N	O
			% Total Campuran	100 / (100-B / Gse + B / T)	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T / (B x H / T)+I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	1	67,07	5,00	2,440	1.185,30	682,81	1.195,57	512,76	2,312	5,35	14,31	67,28	0,889	72,0	916,4	2,38	405,96
	2	66,57			1.182,32	680,99	1.190,77	509,78	2,319					75,0	954,6	2,30	
	3	66,63			1.181,26	677,70	1.191,70	514,00	2,298					78,0	992,8	2,35	
		66,76			**1.182,96**	**680,50**	**1.192,68**		**2,309**					**75,0**	**954,0**	**2,35**	
2	1	65,37	5,50	2,423	1.178,78	674,78	1.188,84	514,06	2,293	4,94	14,99	70,96	0,907	78,0	992,8	2,57	398,08
	2	65,87			1.183,87	679,40	1.191,23	511,83	2,313					85,0	1.081,9	2,68	
	3	66,83			1.179,98	677,98	1.190,29	512,31	2,303					82,0	1.043,7	2,57	
		66,02			**1.180,88**	**677,39**	**1.190,12**		**2,303**					**81,7**	**1.039,0**	**2,61**	
3	1	65,87	6,00	2,406	1.180,47	677,54	1.191,49	513,95	2,297	4,74	15,84	73,44	0,926	95,0	1.209,1	2,95	375,49
	2	65,87			1.175,80	672,22	1.186,61	514,39	2,286					85,0	1.081,9	3,05	
	3	64,00			1.179,06	674,67	1.188,85	514,18	2,293					91,0	1.158,2	3,18	
		65,24			**1.178,44**	**674,81**	**1.188,98**		**2,292**					**90,3**	**1.149,0**	**3,06**	
4	1	63,70	6,50	2,390	1.174,34	668,80	1.183,46	514,66	2,282	4,37	16,54	76,41	1,011	82,0	1.043,7	3,09	337,74
	2	63,03			1.179,97	673,45	1.188,73	515,28	2,290					77,0	980,0	2,97	
	3	62,40			1.177,04	670,90	1.186,02	515,12	2,285					88,0	1.120,0	3,23	
		63,04			**1.177,12**	**671,05**	**1.186,07**		**2,285**					**82,3**	**1.047,0**	**3,10**	
5	1	62,53	7,00	2,373	1.174,29	668,50	1.182,50	514,00	2,285	3,89	17,14	79,64	1,014	75,0	954,6	3,15	305,71
	2	63,50			1.170,08	666,16	1.180,87	514,71	2,273					77,0	980,0	3,10	
	3	62,73			1.176,55	670,96	1.185,82	514,86	2,285					75,0	954,6	3,19	
		62,92			**1.173,64**	**668,54**	**1.183,06**		**2,281**					**75,7**	**963,0**	**3,15**	
										3-5	15	65-75			min 800		>250

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-48E5-4487-ABC4-E32E7E2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AE54-

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

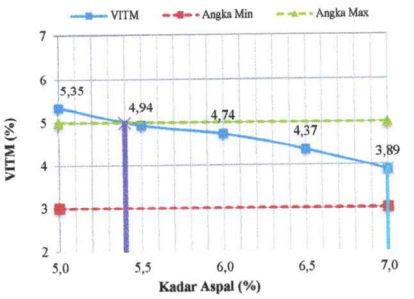
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

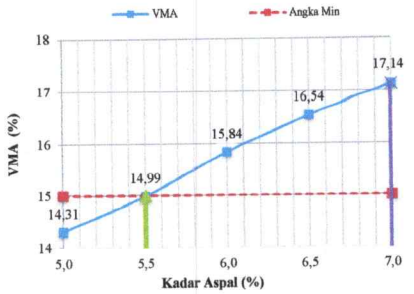
FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

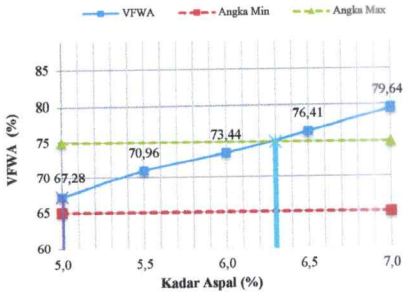
Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

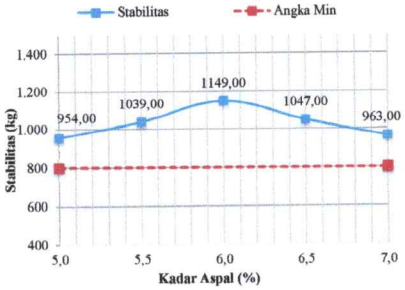
Lampiran 14 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 0%

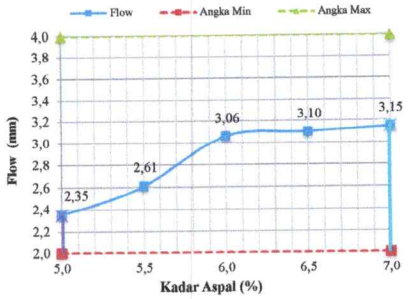
HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

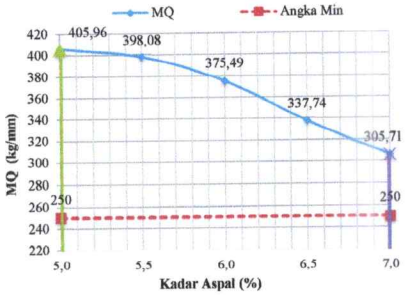


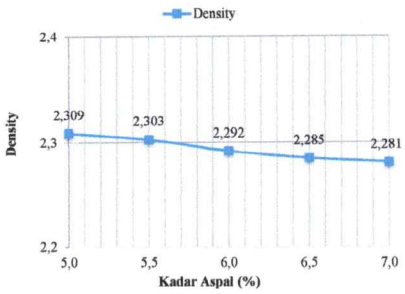


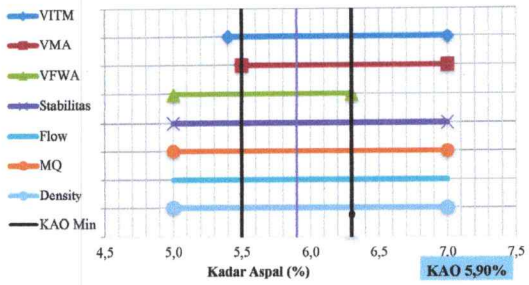












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-A8C4-E32E7F2E45A3

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 15 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 20%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : Juni 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

No. Benda Uji		Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) Rongga dalam Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Angka Koreksi	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L	M	N	O
			% Total Campuran	100 / (100-B)/Gse + B/T	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	1	64,50	5,00	2,440	1.177,56	675,56	1.184,55	508,99	2,314	5,23	14,2	67,81	0,928	69,0	916,6	2,35	381,67
	2	65,63			1.180,65	680,39	1.190,51	510,12	2,314					67,0	890,0	2,40	
	3	65,43			1.175,11	677,98	1.186,83	508,85	2,309					71,0	943,1	2,43	
		65,19			**1.177,77**	**677,98**	**1.187,30**		**2,312**					**69,0**	**916,0**	**2,40**	
2	1	65,53	5,50	2,423	1.174,59	674,87	1.185,84	510,97	2,299	4,85	14,91	71,36	0,924	73,0	969,7	2,71	375,09
	2	64,93			1.179,77	677,60	1.187,23	509,63	2,315					79,0	1.049,4	2,58	
	3	65,53			1.170,84	673,66	1.182,29	508,63	2,302					76,0	1.009,5	2,76	
		65,33			**1.175,07**	**675,38**	**1.185,12**		**2,305**					**76,0**	**1.009,0**	**2,69**	
3	1	64,23	6,00	2,406	1.169,53	670,45	1.179,58	509,13	2,297	4,36	15,51	75,11	0,948	80,0	1.062,7	3,12	352,58
	2	64,73			1.172,69	672,79	1.184,67	511,88	2,291					82,0	1.089,2	3,17	
	3	64,33			1.174,22	675,82	1.182,92	507,10	2,316					85,0	1.129,1	3,00	
		64,43			**1.172,15**	**673,02**	**1.182,39**		**2,301**					**82,3**	**1.093,0**	**3,10**	
4	1	63,50	6,50	2,390	1.172,56	672,00	1.183,58	511,58	2,292	4,12	16,32	77,50	0,945	77,0	1.022,8	3,11	320,94
	2	65,17			1.168,78	668,48	1.179,89	511,41	2,285					81,0	1.076,0	3,18	
	3	64,93			1.172,13	671,81	1.182,13	510,32	2,297					74,0	983,0	3,30	
		64,53			**1.171,16**	**670,76**	**1.181,87**		**2,291**					**77,3**	**1.027,0**	**3,20**	
5	1	64,77	7,00	2,373	1.171,31	671,32	1.175,75	504,43	2,322	3,55	16,84	81,14	0,935	71,0	943,1	3,23	287,38
	2	64,80			1.168,22	665,18	1.178,21	513,03	2,277					71,0	943,1	3,18	
	3	65,17			1.168,12	666,20	1.180,91	514,71	2,269					69,0	916,6	3,32	
		64,91			**1.169,22**	**667,57**	**1.178,29**		**2,289**					**70,3**	**934,0**	**3,25**	
										3-5	15	65-75			min 800		>250

Disahkan Oleh
Kepala Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E800AEB7-19E5-4487-AB04-E32FF5F45460

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

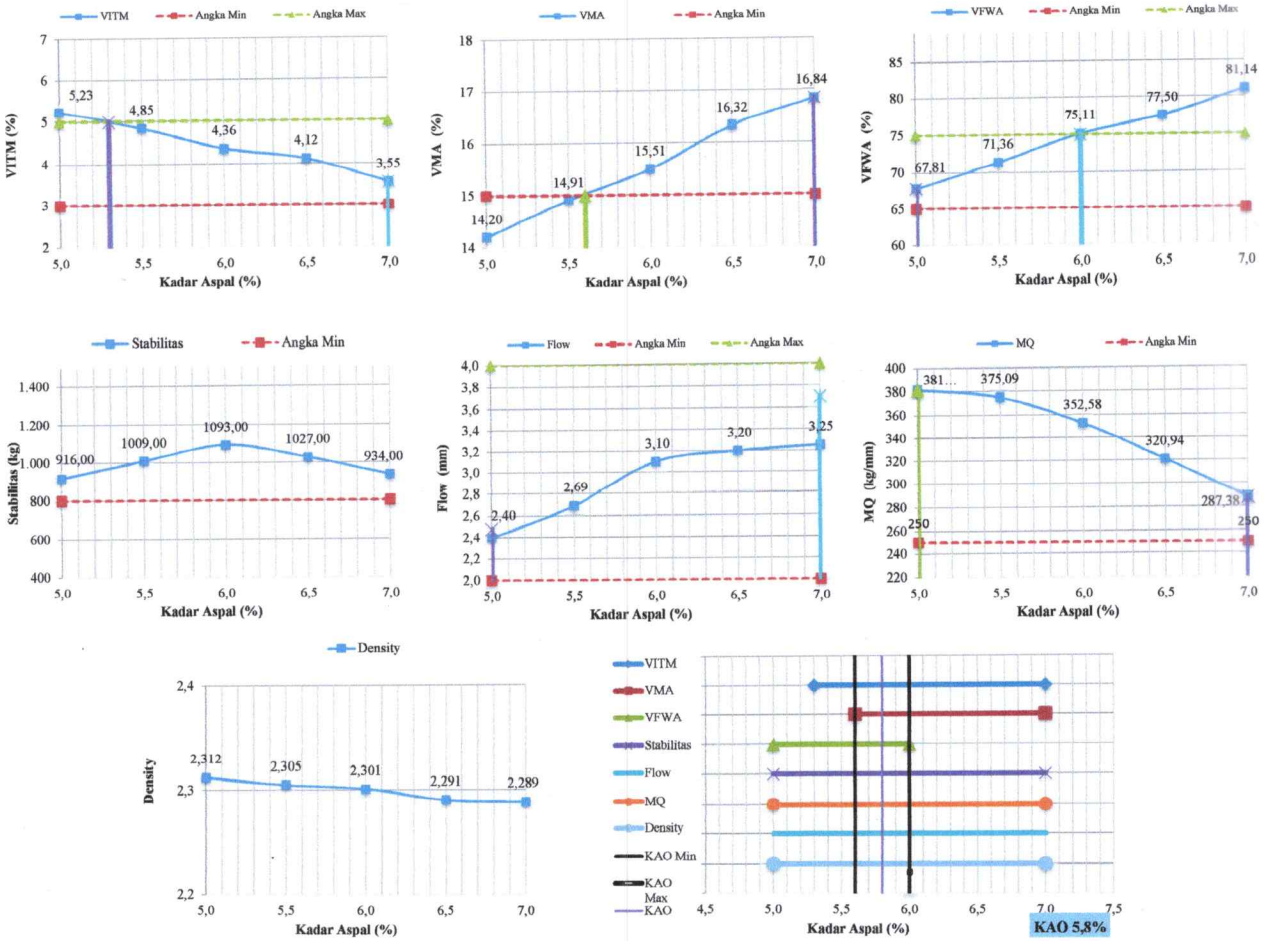
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 15 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 20%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Kare 40%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : Juni 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

No. Benda Uji		Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) Rongga dalam Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Angka Koreksi	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L	M	N	O
			% Total Campuran	100 / (100-B / Gse + B / T)	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	1	66,87	5,00	2,440	1.172,38	675,52	1.177,44	501,92	2,336	5,10	14,09	68,38	0,884	67,0	847,8	2,37	362,86
	2	67,37			1.174,55	677,02	1.184,77	507,75	2,313					73,0	923,7	2,53	
	3	66,87			1.168,67	672,98	1.181,83	508,85	2,297					71,0	898,4	2,43	
		67,03			**1.171,87**	**675,17**	**1.181,35**		**2,315**					**70,3**	**889,0**	**2,45**	
2	1	65,30	5,50	2,423	1.172,17	673,26	1.181,18	507,92	2,308	4,81	14,88	71,53	0,907	80,0	1.012,3	2,73	355,64
	2	66,30			1.167,72	669,02	1.177,49	508,47	2,297					75,0	949,0	2,65	
	3	66,43			1.171,84	672,66	1.179,29	506,63	2,313					77,0	974,3	2,86	
		66,01			**1.170,58**	**671,65**	**1.179,32**		**2,306**					**77,3**	**978,0**	**2,75**	
3	1	67,10	6,00	2,406	1.170,81	672,10	1.180,15	508,05	2,305	4,24	15,4	75,65	0,888	83,0	1.050,2	3,25	326,56
	2	66,57			1.168,59	668,00	1.176,42	508,42	2,298					80,0	1.012,3	3,19	
	3	66,77			1.164,65	670,82	1.174,92	504,10	2,310					85,0	1.075,5	3,14	
		66,81			**1.168,02**	**670,31**	**1.177,16**		**2,304**					**82,7**	**1.045,0**	**3,20**	
4	1	65,77	6,50	2,390	1.164,52	664,22	1.172,69	508,47	2,290	3,91	16,14	78,44	0,907	78,0	986,9	3,26	304,57
	2	66,23			1.167,73	666,83	1.174,47	507,64	2,300					80,0	1.012,3	3,43	
	3	66,10			1.169,13	667,81	1.176,13	508,32	2,300					79,0	999,6	3,15	
		66,03			**1.167,13**	**666,29**	**1.174,43**		**2,296**					**79,0**	**999,0**	**3,28**	
5	1	64,67	7,00	2,373	1.166,15	663,72	1.171,73	508,01	2,296	3,47	16,77	81,50	0,914	71,0	898,4	3,33	269,25
	2	66,03			1.166,22	665,18	1.173,68	508,50	2,293					74,0	936,3	3,34	
	3	65,53			1.158,88	661,34	1.168,33	506,99	2,286					69,0	873,1	3,37	
		65,41			**1.163,75**	**663,41**	**1.171,25**		**2,291**					**71,3**	**902,0**	**3,35**	
										3-5	15	65-75			min 800		>250

Disahkan Oleh
Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
F8Q0AEB7-43E5-4487-A9C4-E32E7E5E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

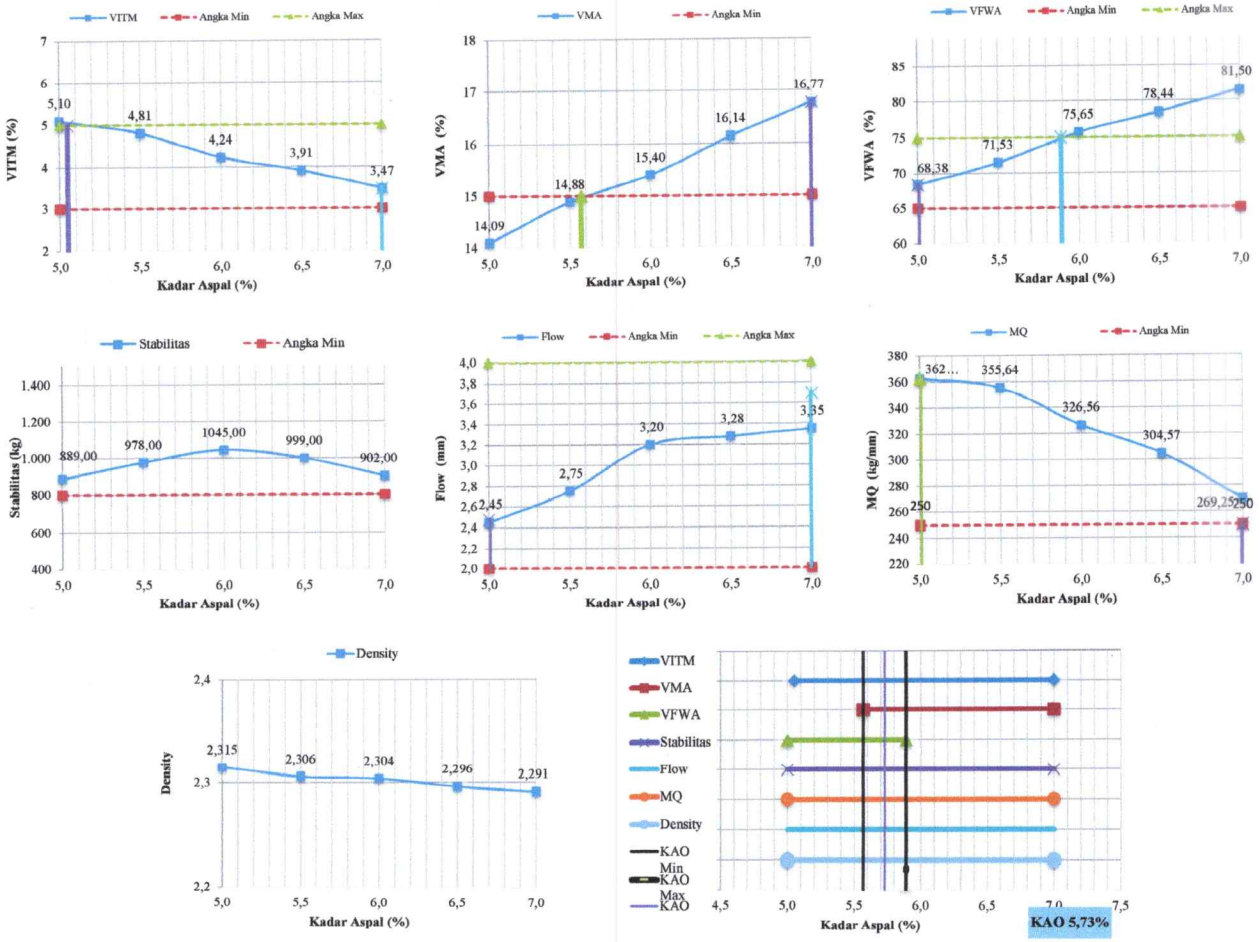
Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK DESAIN INOVASI
Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 16 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Kare 40%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil
Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543
Dr. Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 60%

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : Juni 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

No. Benda Uji		Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) Rongga dalam Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Angka Koreksi	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L	M	N	O
			% Total Campuran	100 / (100-B)/Gse + B/T	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
1	1	68,30	5,00	2,440	1.165,22	669,40	1.174,27	504,87	2,308	5,14	14,13	68,21	0,877	68,0	853,5	2,54	343,65
	2	66,17			1.170,27	674,42	1.178,00	503,58	2,324					71,0	891,2	2,52	
	3	67,77			1.167,12	671,15	1.176,03	504,88	2,312					68,0	853,5	2,49	
		67,41			**1.167,54**	**671,66**	**1.176,10**		**2,314**					**69,0**	**866,0**	**2,52**	
2	1	66,50	5,50	#	1.164,28	669,90	1.175,18	505,28	2,304	4,85	14,91	71,36	0,904	75,0	941,4	2,88	326,22
	2	65,90			1.166,38	672,60	1.175,86	503,26	2,318					72,0	903,7	2,98	
	3	66,00			1.162,75	666,12	1.173,29	507,17	2,293					76,0	953,9	2,70	
		66,13			**1.164,47**	**669,54**	**1.174,78**		**2,305**					**74,3**	**933,0**	**2,86**	
3	1	66,83	6,00	2,406	1.163,66	669,70	1.172,08	502,38	2,316	3,99	15,18	76,80	0,890	77,0	966,5	3,29	302,13
	2	66,67			1.163,07	668,64	1.172,45	503,81	2,309					79,0	991,6	3,23	
	3	66,57			1.159,57	666,76	1.169,92	503,16	2,305					81,0	1.016,7	3,31	
		66,69			**1.162,10**	**668,37**	**1.171,48**		**2,310**					**79,0**	**991,0**	**3,28**	
4	1	66,23	6,50	2,390	1.157,18	662,48	1.164,84	502,36	2,303	3,49	15,78	80,37	0,896	75,0	941,4	3,48	279,12
	2	66,63			1.158,08	664,21	1.165,37	501,16	2,311					75,0	941,4	3,31	
	3	66,50			1.160,17	663,75	1.167,24	503,49	2,304					77,0	966,5	3,39	
		66,46			**1.158,48**	**663,48**	**1.165,82**		**2,306**					**75,7**	**949,0**	**3,40**	
5	1	64,27	7,00	2,373	1.152,16	660,94	1.160,95	500,01	2,304	3,13	16,48	83,05	0,939	72,0	903,7	3,37	256,40
	2	65,07			1.151,33	658,74	1.158,33	499,59	2,305					71,0	891,2	3,49	
	3	65,00			1.153,88	659,34	1.163,33	503,99	2,289					68,0	853,5	3,44	
		64,78			**1.152,46**	**659,67**	**1.160,87**		**2,299**					**70,3**	**882,0**	**3,44**	
										3-5	15	65-75			min 800		>250

Disahkan Oleh
Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: Laboratorium ...

BERLIAN KUSHARI

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: 25C7694B-5E0A-4680-AF4...

MUHAMAD ABDUL HADI

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

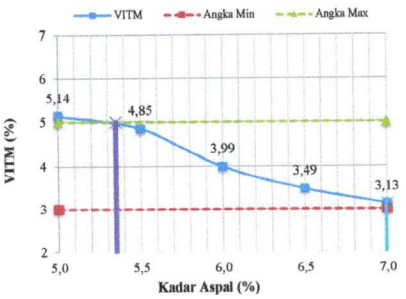
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

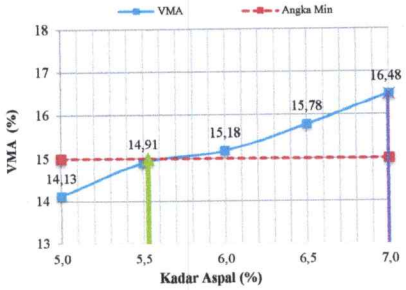
FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

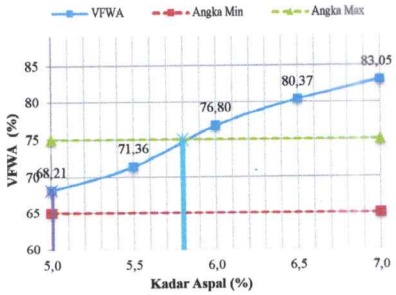
Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

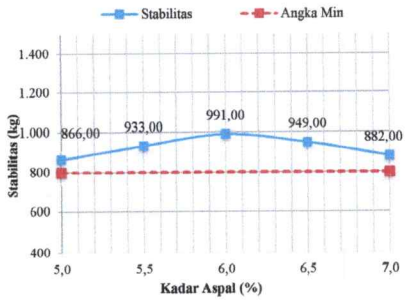
Lampiran 17 Hasil Pengujian Marshall (KAO) Dengan Proporsi Serbuk Ban Karet 60%

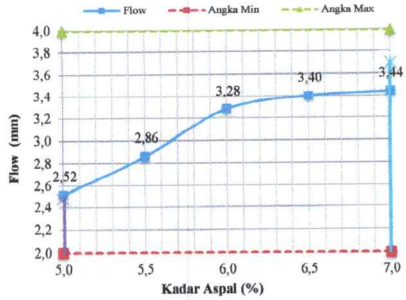
HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

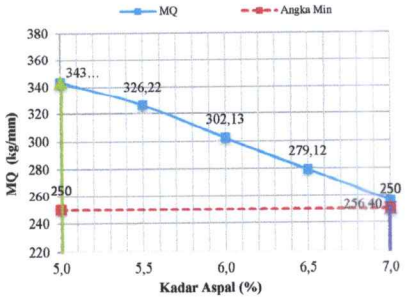


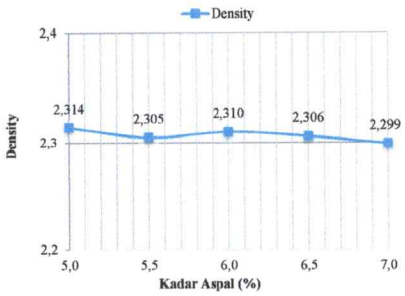


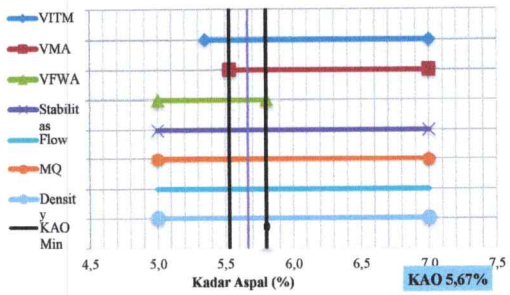












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 18 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : Juli 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

No. Benda Uji		Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. Campuran	Berat (Gram) di Udara	Berat (Gram) dalam Air	Berat (Gram) SSD	Isi	Bj Bulk Campuran	(%) Rongga dlm camp (VITM)	(%) Rongga dalam Agrgt (VMA)	(%) Rongga terisi Aspal (VFWA)	Angka Koreksi	Stabilitas di Baca	Stabilitas di Sesuaikan	Kelelehan Plastis (Flow)	Marshall Quotient (MQ)
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K		L	M	N	O
			% Total Campuran	100 / (100-B)/Gse + B/T	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gsb	B x H / T (B x H / T)+I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M / N
0	1	66,40	5,90	2,409	1.181,46	672,50	1.185,50	513,00	2,303	**4,95**	**15,82**	**72,23**	**0,899**	**84,0**	1.081,7	2,90	**366,77**
	2	65,97			1.178,94	667,80	1.183,80	516,00	2,285					**92,0**	1.184,7	3,25	
	3	66,23			1.175,89	665,70	1.180,70	515,00	2,283					**89,0**	1.146,0	3,15	
		66,20			**1.178,76**	**668,67**	**1.183,33**		**2,290**					**88,3**	**1.137,0**	**3,10**	
20	1	66,17	5,80	2,413	1.172,27	664,49	1.177,49	513,00	2,285	**4,83**	**15,51**	**72,43**	**0,918**	**80,0**	1.030,1	3,15	**328,62**
	2	65,00			1.175,56	670,13	1.180,13	510,00	2,305					**86,0**	1.107,4	3,19	
	3	65,56			1.168,23	668,43	1.176,43	508,00	2,300					**83,0**	1.068,8	3,40	
		65,58			**1.172,02**	**667,68**	**1.178,02**		**2,296**					**83,0**	**1.068,0**	**3,25**	
40	1	65,27	5,73	2,415	1.168,57	666,85	1.173,49	506,64	2,307	**4,76**	**15,3**	**72,52**	**0,920**	**75,0**	965,8	3,30	**292,65**
	2	65,73			1.163,71	659,61	1.169,61	510,00	2,282					**77,0**	991,5	3,55	
	3	65,50			1.170,84	669,49	1.175,85	506,36	2,312					**80,0**	1.030,1	3,35	
		65,50			**1.167,71**	**665,32**	**1.172,98**		**2,300**					**77,3**	**995,0**	**3,40**	
60	1	66,57	5,67	2,417	1.158,44	659,46	1.163,46	504,00	2,298	**4,55**	**15,0**	**73,24**	**0,899**	**71,0**	914,3	3,39	**268,57**
	2	66,00			1.165,61	665,73	1.168,73	503,00	2,317					**75,0**	965,8	3,57	
	3	66,50			1.161,24	661,76	1.165,33	503,57	2,306					**73,0**	940,0	3,52	
		66,36			**1.161,76**	**662,32**	**1.165,84**		**2,307**					**73,0**	**940,0**	**3,50**	
										>3-5	>15	>65-75			min 800		>250

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by:
BERLIAN KUSHARI
F30CAEB3-4955-4487-ABC4-E3257F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

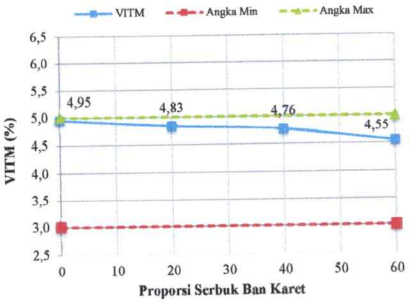
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

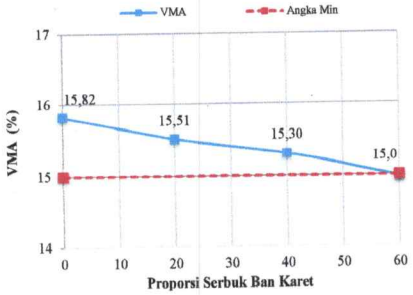
FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

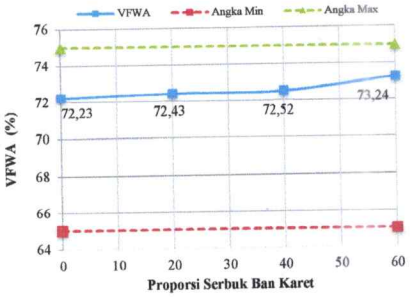
Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext. 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

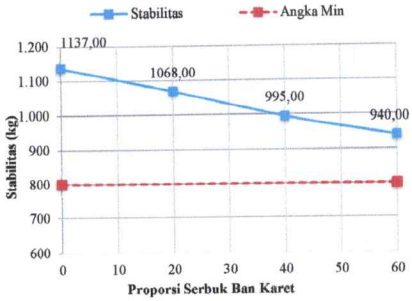
Lampiran 18 Hasil Pengujian Marshall Campuran AC-WC Variasi Serbuk Ban Karet Pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

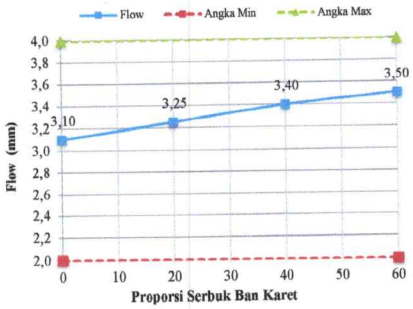
HASIL PENGUJIAN MARSHALL (KAO)
DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

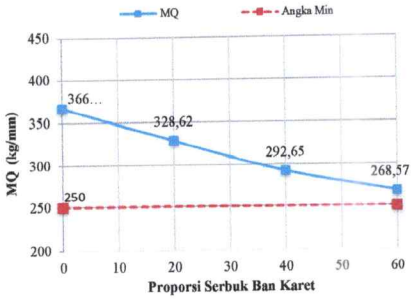


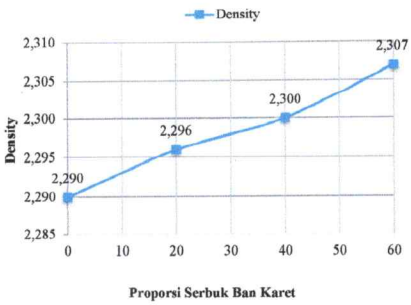


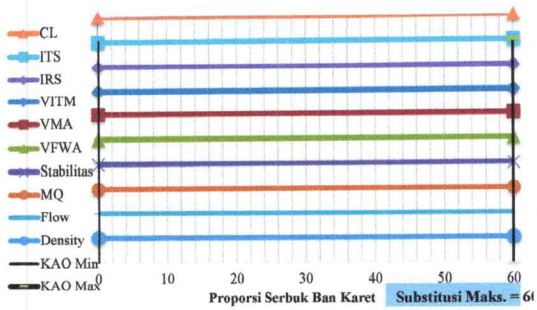












Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil
Signed by: BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543
Dr. Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti
Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 19 Hasil Pengujian *Index of Retained* Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN IRS PADA KONDISI KAO DENGAN VARIASI SERBUK BAN KARET

Tanggal Pengujian Juni 2026
Tipe Campuran *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

Persen Subtitusi (%)		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Arloji Stability			*Flow* (mm)		Stability (kg)			Angka Koreksi			
															Tebal Sampel		Koreksi	
		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX
0	1	65,90	65,50	64,70	65,37	0,96	76	14,32	1088,15	275	2,92	1039,19	1089,18	800	65,1	66,7	0,96	0,93
	2	65,50	65,60	65,21	65,44	0,95	83	14,32	1188,38	305		1133,34			65,1	66,7	0,96	0,93
	3	64,86	65,27	65,81	65,31	0,96	80	14,32	1145,42	295		1095,02			65,1	66,7	0,96	0,93
20	1	64,20	63,80	64,70	64,23	0,98	69	14,32	987,93	310	3,17	969,82	1011,71	800	63,5	65,1	1	0,96
	2	64,50	64,20	64,34	64,35	0,98	75	14,32	1073,83	325		1051,10			63,5	65,1	1	0,96
	3	63,90	64,37	64,17	64,15	0,98	72	14,32	1030,88	315		1014,22			63,5	65,1	1	0,96
40	7	65,70	66,60	66,60	66,30	0,94	67	14,32	959,29	328	3,41	899,34	935,44	800	65,1	66,7	0,96	0,93
	8	65,10	65,70	64,60	65,13	0,96	68	14,32	973,61	335		934,06			65,1	66,7	0,96	0,93
	9	64,88	65,35	65,54	65,26	0,96	71	14,32	1016,56	360		972,91			65,1	66,7	0,96	0,93
60	1	65,50	66,40	66,00	65,97	0,94	63	14,32	902,02	345	3,62	851,28	876,01	800	65,1	66,7	0,96	0,93
	2	65,80	64,80	65,50	65,37	0,96	66	14,32	944,97	365		902,45			65,1	66,7	0,96	0,93
	3	65,67	65,38	65,19	65,41	0,95	64	14,32	916,34	375		874,30			65,1	66,7	0,96	0,93

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil
Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543
Dr. Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya
Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., IPP.
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 20 Hasil Pengujian *Index Tensile Strength* Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN ITS PADA KONDISI KAO DENGAN VARIASI SERBUK BAN KARET

Tanggal Pengujian Juni 2026
Tipe Campuran *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

Variasi Serbuk Ban Karet (%)	Nomor Benda Uji		Tebal Sampel (mm)				koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)			Angka Koreksi Tebal				Angka Koreksi Diameter				ITS 30 menit			ITS
																			Tebal Sampel		Koreksi		Tebal Sampe		Koreksi		Kpa			
			1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	min	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	MIN	MAX	awal	rata2	MIN	
0	A	1	65,90	65,50	64,70	65,37	0,95	4,01	4,00	4,02	4,01	0,16	33	14,318	472,49	450,44	446,00	-	61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,16	0,152	1051,50	1042,49	-	10,72
		2	65,75	64,90	65,60	65,42	0,95	4,00	3,98	4,01	3,99	0,16	35	14,318	501,12	477,11			61,9	63,5	1,04	1	3,9	4	0,16	0,156	1117,31			11,39
		3	64,78	65,25	65,80	65,28	0,96	3,98	4,04	4,02	4,01	0,16	30	14,318	429,53	410,46			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,16	0,152	958,66			9,78
																													Rata-Rata	10,63
20	B	1	64,20	63,80	64,30	64,10	0,99	4,04	4,04	4,04	4,04	0,15	30	14,318	429,53	423,09	412,10	-	63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,16	0,152	999,41	977,77	-	10,19
		2	64,35	64,78	64,12	64,42	0,98	4,00	3,98	4,04	4,01	0,16	32	14,318	458,17	447,67			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,16	0,152	1061,64			10,83
		3	63,89	64,23	64,55	64,22	0,98	4,00	4,01	3,97	3,99	0,16	26	14,318	372,26	365,53			63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	872,27			8,89
																													Rata-Rata	9,97
40	C	1	65,10	65,90	65,10	65,37	0,95	4,02	4,02	4,02	4,02	0,16	29	14,318	415,22	395,84	383,59	-	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	921,67	890,89	-	9,40
		2	65,50	64,30	64,70	64,83	0,97	4,02	4,00	4,01	4,01	0,16	27	14,318	386,58	373,69			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,16	0,152	879,53			8,97
		3	64,50	65,38	65,35	65,08	0,96	3,98	4,04	4,00	4,01	0,16	27	14,318	386,58	371,34			61,9	63,5	1,04	1	4	4,1	0,16	0,152	871,47			8,89
																													Rata-Rata	9,08
60	D	1	66,50	66,30	66,90	66,57	0,92	4,01	4,00	3,97	3,99	0,16	28	14,318	400,90	370,16	373,04	-	63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	852,16	855,47	-	8,69
		2	67,20	66,80	67,20	67,07	0,91	4,00	3,97	4,01	3,99	0,16	30	14,318	429,53	391,23			63,5	65,1	1	0,96	3,9	4	0,16	0,156	893,96			9,12
		3	66,43	66,28	66,75	66,49	0,93	3,98	4,02	4,04	4,01	0,16	27	14,318	386,58	357,72			63,5	65,1	1	0,96	4	4,1	0,16	0,152	820,28			8,36
																													Rata-Rata	8,72

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by: BERLIAN KUSHARI
DS30CA5B7142E814487ABC41E225F1E543

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

Mengetahui
Ketua Lab. Jalan Raya

Signed by: MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

FAKULTAS
TEKNIK DESAIN INOVASI

Gedung Dr. Mohammad Natsir
Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444, 898471 ext 3200, 3201
E. ftdi@uii.ac.id
W. ftdi.uii.ac.id

Lampiran 21 Hasil Pengujian *Cantabro* Campuran AC-WC Dengan Variasi Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN *CANTABRO* PADA KONDISI KAO DENGAN VARIASI SERBUK BAN KARET

Tanggal Pengujian : Juni 2026
Tipe Campuran : *ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE*

Substitusi	No.	Keterangan	Benda uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1178,61	1175,56	1180,74
	2	Berat Sesudah Abrasi	1156,86	1155,39	1159,40
	3	Persentase Kehilangan Berat	1,85	1,72	1,81
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	1,76		
20%	1	Berat Sebelum Abrasi	1170,49	1169,33	1171,51
	2	Berat Sesudah Abrasi	1143,49	1141,84	1145,01
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,31	2,35	2,26
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	2,33		
40%	1	Berat Sebelum Abrasi	1168,15	1170,19	1165,35
	2	Berat Sesudah Abrasi	1133,03	1137,80	1126,28
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,01	2,77	3,35
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	3,04		
60%	1	Berat Sebelum Abrasi	1158,37	1162,56	1161,50
	2	Berat Sesudah Abrasi	1115,02	1123,24	1118,24
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,74	3,38	3,72
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	3,62		

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Teknik Sipil

Signed by:
BERLIAN KUSHARI
E30CAEB7-49E5-4487-ABC4-E32E7F2E4543

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

Signed by:
MUHAMAD ABDUL HADI
25C7694B-5E0A-4680-AF4...

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

Yogyakarta, Agustus 2026
Peneliti

Taufik Akbar
NIM : 22 511 072