

TESIS

**PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN KARET
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED*
SHEET DENGAN METODE PENCAMPURAN
KONVENSIONAL DAN BERTAHAP**

***THE EFFECT OF ADDING RUBBER TIRE POWDER ON THE
CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED SHEET USING
CONVENTIONAL AND SEQUENTIAL MIXING METHOD***



I Q B A L

20914026

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

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN KARET
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED*
SHEET DENGAN METODE PENCAMPURAN
KONVENSIONAL DAN BERTAHAP

*THE EFFECT OF ADDING RUBBER TIRE POWDER ON THE
CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED SHEET USING
CONVENTIONAL AND SEQUENTIAL MIXING METHOD*



Diperiksa dan disetujui oleh:

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

Dosen Pembimbing

A handwritten signature in black ink, appearing to be 'Miftahul Fauziah', written over a horizontal line.

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

PENGARUH PENAMBAHAN SERBUK BAN KARET
TERHADAP KARAKTERISTIK CAMPURAN *HOT ROLLED*
SHEET DENGAN METODE PENCAMPURAN
KONVENSIIONAL DAN BERTAHAP

*THE EFFECT OF ADDING RUBBER TIRE POWDER ON THE
CHARACTERISTICS OF HOT ROLLED SHEET USING
CONVENTIONAL AND SEQUENTIAL MIXING METHOD*

Disusun oleh :



Iqbal

2091 4026

Telah diuji di depan Dewan Penguji
Pada tanggal 17 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Pembimbing

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

Penguji I

(Prof. Ir. M. Teguh., MSCE., Ph.D)

Penguji II

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

Yogyakarta, 8 Nov 2023

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Magister Teknik Sipil
Ketua Program



(Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T)

PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, ... Oktober 2023

Yang membuat pernyataan



IQBAL

(20914026)

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah Subhanahu wa ta'ala, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran *Hot Rolled Sheet* Dengan Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis ini,
2. Bapak Prof. Ir. Mochamad Teguh, MSCE., Ph.D. dan Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto CES., DEA selaku Dosen Penguji, yang telah memberikan banyak masukan, saran, dan evaluasi agar Tesis ini menjadi lebih baik,
3. Bapak Ir. Subarkah, M.T dan Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc yang telah memberikan banyak masukan, saran dan evaluasi dalam Tesis ini,
4. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Universitas Muhammadiyah Sorong yang telah memberikan kesempatan serta dukungan untuk dapat melanjutkan studi,
6. Kedua Orang tua, saudara dan Istri tercinta, Lina Apriyanti Bahar yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis ini,

7. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc dan Bapak Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini.
 8. Bapak Sukamto H.M, S.T., Bapak Pranoto dan Giri Widhiatmoko S.T selaku laboran yang telah memberikan dukungan dalam menyelesaikan penelitian ini,
 9. Teman-teman terbaik Muhammad Kennyzyra Bintang, S.T., Rahmawati, S.T., dan Indriasti Yustika Rahman, S.T., yang selalu memberikan do'a dan dukungan yang tiada henti dalam menyelesaikan Tesis ini, dan
 10. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini
- Penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya

Yogyakarta, ... Oktober 2023

Penulis

IQBAL

(20914026)

DAFTAR ISI

TESIS	i
HALAMAN PERSETUJUAN	ii
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvii
ABSTRACT	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Kinerja Campuran dengan Metode Pencampuran Bertahap	7
2.2 Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Bahan Tambah Ban Karet	9
2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	11
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Perkerasan Jalan	14
3.2 Perkerasan Lentur	14
3.3 <i>Hot Rolled Sheet (HRS)</i>	15
3.3.1 <i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)</i>	16
3.3.2 <i>Hot Rolled Sheet – Base Course (HRS-BC)</i>	16
3.4 Material Penyusun Campuran	17
3.4.1 Aspal	17
3.4.2 Agregat	19
3.5 Gradasi	22
3.5.1 Gradasi Rapat (<i>dense graded</i>)	22
3.5.2 Gradasi Seragam (<i>uniformly graded</i>)	22

3.5.3	Gradasi Timpang (<i>Gap Graded</i>)	23
3.6	Gradasi Campuran Lataston (HRS)	23
3.7	Bahan Tambah Ban Karet	24
3.8	Metode Pencampuran Bertahap	25
3.9	Karakteristik <i>Marshall Test</i>	27
3.9.1	Stabilitas (<i>Stability</i>)	27
3.9.2	Kelelehan (<i>Flow</i>)	27
3.9.3	<i>Marshall Quotion</i> (MQ)	28
3.9.4	<i>Void in the Total Mix</i>	28
3.9.5	<i>Void in Mineral Aggregate</i>	29
3.9.6	<i>Void Filled With Asphalt</i>	29
3.9.7	Kepadatan (<i>Density</i>)	30
3.10	Pengujian <i>Immersion Test</i>	31
3.11	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	31
3.12	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	32
3.13	Pengujian <i>Cantabro</i>	33
3.14	Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	33
3.15	Indeks Penetrasi (PI)	33
3.16	<i>Stiffness Modulus</i>	34
BAB IV METODE PENELITIAN		37
4.1	Metode Penelitian	37
4.2	Metode Pengambilan Data	37
4.3	Tahapan Penelitian	38
4.3.1	Peralatan Penelitian	38
4.3.2	Persiapan dan Pemeriksaan Material	39
4.3.3	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	42
4.3.4	Tahapan Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)	44
4.3.5	Pengujian pada Kondisi KAO	50
4.3.6	Metode Pencampuran pada Kondisi KAO	52
4.3.7	Pengujian <i>Marshall Test</i>	53
4.3.8	Pengujian <i>Immersion</i>	55
4.3.9	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i>	55
4.3.10	Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i>	56
4.3.11	Pengujian <i>Contabro Loss</i>	56

4.3.12	Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i>	56
4.4	Analisa Data	57
4.5	Analisis Statistik	59
4.6	Bagan Alir Penelitian	61
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN		63
5.1	Hasil Penelitian	63
5.1.1	Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal	63
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	63
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Marshall Standard</i> Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum pada Campuran <i>HRS-WC</i>	64
5.1.4	Hasil Pengujian Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Penambahan Ban Karet dan Metode Pencampuran	65
5.2	Hasil Analisis Statistik	68
5.3	Analisis Hasil Pengujian Material dan KAO	71
5.3.1	Analisis Karakteristik Agregat Kasar	71
5.3.2	Analisis Karakteristik Agregat Halus	72
5.3.3	Analisis Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi	73
5.3.4	Analisis Karakteristik <i>Marshall Standard</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)	75
5.4	Pembahasan	82
5.4.1	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik <i>Marshall Standard</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	82
5.4.2	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik <i>Immersion Test</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	93
5.4.3	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	95
5.4.4	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Tensile Strenght Ratio (TSR)</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	97
5.4.5	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Stiffness Modulus</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	99
5.4.6	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Cantabro Loss (CL)</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	101
5.4.7	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	102

5.5	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Seluruh Kinerja Campuran <i>HRS-WC</i>	103
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		106
6.1	Kesimpulan	106
6.2	Saran	108
DAFTAR PUSTAKA		109
LAMPIRAN		113

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis	11
Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston	17
Tabel 3.2 Ketentuan untuk Aspal Keras	19
Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Kasar	20
Tabel 3.4 Ketentuan untuk Agregat Halus	21
Tabel 3.5 Ketentuan Gradasi Campuran Lataston atau <i>HRS</i>	24
Tabel 4.1 Pemeriksaan Material	42
Tabel 4.2 Gradasi Rencana untuk Campuran <i>HRS-WC</i>	43
Tabel 4.3 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 6%	45
Tabel 4.4 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 6,5%	45
Tabel 4.5 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 7%	46
Tabel 4.6 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 7,5%	46
Tabel 4.7 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 8%	47
Tabel 4.8 Kebutuhan Benda Uji Mencari Nilai KAO	47
Tabel 4.9 Variasi dan Komposisi Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Bahan Tambah	51
Tabel 4.10 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian dengan Metode Konvensional	51
Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian dengan Metode Bertahap	51
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	63
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar	64
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus	64
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO	65
Tabel 5.5 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dengan Metode Pencampuran Konvensional pada Campuran <i>HRS-WC</i>	66
Tabel 5.6 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap pada Campuran <i>HRS-WC</i>	66
Tabel 5.7 Hasil Pengujian <i>Index of Retained Strength (IRS)</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	67

Tabel 5.8 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	67
Tabel 5.9 Hasil Pengujian <i>Tensile Strenght Ratio (TSR)</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	67
Tabel 5.10 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	68
Tabel 5.11 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	68
Tabel 5.12 Hasil Analisis perhitungan <i>Stiffness Modulus</i> Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran <i>HRS-WC</i>	68
Tabel 5.13 Rekapitulasi Uji Statistik <i>One Way Anova</i> untuk Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi	69
Tabel 5.14 Rekapitulasi Uji Statistik <i>Two Way Anova</i> Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i>	69
Tabel 5.15 Rekapitulasi Uji Statistik <i>Two Way Anova</i> Pengaruh Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran <i>HRS-WC</i>	70
Tabel 5.16 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran <i>HRS-WC</i>	104
Tabel 5.17 Pengaruh Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Kinerja Campuran <i>HRS-WC</i>	105

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Distribusi Beban Roda pada Perkerasan	15
Gambar 3.2. Serbuk Ban Karet	25
Gambar 3.3 Tahapan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap	26
Gambar 3.4 Pengujian Tarik Tidak Langsung (<i>ITS</i>)	32
Gambar 4.1 Grafik Gradasi Rencana Campuran <i>HRS-WC</i>	43
Gambar 4.2 Grafik Nilai Stabilitas	49
Gambar 4.3 Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum	50
Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian	62
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>HRS-WC</i>	65
Gambar 5.2 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	76
Gambar 5.3 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	77
Gambar 5.4 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	78
Gambar 5.5 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	79
Gambar 5.6 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas pada Campuran <i>HRS-WC</i>	80
Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	81
Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	82
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VITM</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	83
Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VFWA</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	85
Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>VMA</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	86
Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Density</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	87
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas pada Campuran <i>HRS-WC</i>	89

Gambar 5.14	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Flow</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	90
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>MQ</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	92
Gambar 5.16	Grafik Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas dengan Durasi Perendaman	93
Gambar 5.17	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>IRS</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	94
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>ITS</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	96
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>TSR</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	98
Gambar 5.20	Grafik Hubungan Nilai <i>Sbit</i> Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Penambahan Serbuk Ban Karet	99
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Smix</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	100
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>Cantabro</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	101
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai <i>AFD</i> pada Campuran <i>HRS-WC</i>	103

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	114
Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 Modifikasi	115
Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	116
Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 Modifikasi	117
Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70	118
Lampiran 6. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 Modifikasi	119
Lampiran 7. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70	120
Lampiran 8. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70 Modifikasi	121
Lampiran 9. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam CCL4	122
Lampiran 10. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam CCL4 Modifikasi	123
Lampiran 11. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	124
Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 Modifikasi	125
Lampiran 13. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70	126
Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	127
Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	128
Lampiran 16. Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	129
Lampiran 17. Pemeriksaan Keausan Agregat	130
Lampiran 18. Pengujian <i>Marshall</i> dalam Mencari KAO pada Campuran <i>HRS-WC</i>	131
Lampiran 19. Pengujian <i>Marshall</i> Metode Konvensional pada Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Serbuk Ban Karet	132
Lampiran 20. Pengujian <i>Marshall</i> Metode Bertahap pada Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Serbuk Ban Karet	133
Lampiran 21. Pengujian <i>Marshall</i> 24 Jam Metode Konvensional pada Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Serbuk Ban Karet	134
Lampiran 22. Pengujian <i>Marshall</i> 24 Jam Metode Bertahap pada Campuran <i>HRS-WC</i> dengan Serbuk Ban Karet	135

Lampiran 23. Pengujian <i>Immersion</i> dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	136
Lampiran 24. Pengujian <i>ITS</i> Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	137
Lampiran 25. Pengujian <i>ITS</i> Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	138
Lampiran 26. Pengujian <i>ITS</i> 24 Jam Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	139
Lampiran 27. Pengujian <i>ITS</i> 24 Jam Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	140
Lampiran 28. Pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i> dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	141
Lampiran 29. Pengujian <i>Cantabro</i> Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	142
Lampiran 30. Pengujian <i>Cantabro</i> Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	143
Lampiran 31. Pengujian <i>AFD</i> Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	144
Lampiran 32. Pengujian <i>AFD</i> Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	145
Lampiran 33. Hasil Analisis <i>One Way Anova</i> Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dengan Bahan Tambah Ban Karet	146
Lampiran 34. Hasil Analisis <i>Two Way Anova</i> Karakteristik <i>Marshall Standard</i>	148
Lampiran 35. Hasil Analisis <i>Two Way Anova</i> Karakteristik <i>IRS, ITS, TSR, Cantabro, AFD, dan Stiffness Modulus</i>	152
Lampiran 36. Dokumentasi Pengujian Aspal	155
Lampiran 37. Dokumentasi Pengujian Mencari Nilai KAO	159
Lampiran 38. Dokumentasi Pengujian Pada Kondisi KAO	161

ABSTRAK

Kondisi lapis perkerasan harus berkualitas guna memberikan keamanan dan kenyamanan bagi pengguna jalan. Akan tetapi kondisi perkerasan saat ini sering tidak sesuai dengan umur rencana selama masa pelayanan dan mengalami kerusakan, sehingga perlu adanya campuran perkerasan yang memiliki stabilitas dan durabilitas yang tinggi, tahan terhadap cuaca panas dan oksidasi, serta aman bagi lingkungan. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap kinerja campuran *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*.

Pada penelitian ini dilakukan beberapa tahapan pengujian laboratorium. Tahap pertama yaitu pengujian sifat fisik material agregat dan aspal. Tahap kedua menentukan nilai kadar aspal optimum pada campuran *HRS-WC* dengan variasi kadar aspal sebesar 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8%. Tahap selanjutnya dilakukan beberapa pengujian karakteristik diantaranya *Marshall*, *Index Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)* dengan penambahan serbuk ban karet sebesar 0%, 2%, 4% dan 6% dengan menggunakan metode pencampuran konvensional dan bertahap.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran *HRS-WC* dengan penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki karakteristik *Marshall* pada sifat volumetriknya. Sedangkan pada sifat mekanisnya dengan penambahan serbuk ban karet sebesar 2% mampu memperbaiki kinerja stabilitas. Pada karakteristik *ITS* dengan penambahan serbuk ban karet 2% dan 4% mampu memperbaiki kinerja campuran, sedangkan pada karakteristik *TSR* hanya pada kadar penambahan 2% saja. Karakteristik *IRS*, *CL*, *Smix*, dan *AFD* dengan penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Secara umum penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran bertahap lebih efektif meningkatkan kinerja campuran *HRS-WC*.

Kata Kunci : Eksperimental, *HRS-WC*, Metode Pencampuran, *Marshall*, dan Serbuk Ban Karet.

ABSTRACT

The condition of the pavement layer must be of high quality to provide safety and comfort for road users. However, the current condition of the pavement often does not match the planned lifespan during the service period and is damaged, so it is necessary to have a pavement mixture that has high stability and durability, is resistant to hot weather and oxidation, and is safe for the environment. The aim of this research is to analyze the effect of adding rubber tire powder and mixing methods on the performance of the Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) mixture.

In this research, several stages of laboratory testing were carried out. The first stage is testing the physical properties of aggregate and asphalt materials. The second stage determines the optimum bitument content value in the HRS-WC mixture, with variations in asphalt content of 6%, 6.5%, 7%, 7.5%, and 8%. The next stage carried out several characteristic tests, including Marshall, Index Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss (CL), and Asphalt Flow Down (AFD), with the addition of 0 rubber tire powder. %, 2%, 4%, and 6% using conventional and sequential mixing methods.

The research results showed that the HRS-WC mixture with the addition of rubber tire powder was able to improve the Marshall characteristics in terms of their volumetric properties. Meanwhile, in terms of mechanical properties, the addition of 2% rubber tire powder can improve stability and performance. In the ITS characteristics, the addition of 2% and 4% rubber tire powder was able to improve the performance of the mixture, whereas in the TSR characteristics, only the addition level of 2% The characteristics of IRS, CL, Smix, and AFD with the addition of rubber tire powder can improve the performance of the mixture. The use of a sequential mixing method produces better performance compared to conventional mixing methods. In general, the addition of rubber tire powder and the sequential mixing method are more effective in improving the performance of the HRS-WC mixture.

Keywords : Experimental, HRS-WC, Mixing Methods, Marshall, and Rubber Tire Powder.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan prasarana transportasi dan memegang peranan penting dalam memudahkan mobilitas dan aksesibilitas kegiatan sosial ekonomi dalam masyarakat. Pengembangan suatu kawasan harus mempertimbangkan kebutuhan prasarana jalan dalam penggunaan dan pemeliharannya. Pada masa sekarang kebutuhan akan alat transportasi semakin meningkat, maka perlu didukung oleh infrastruktur jalan yang baik. Dalam pengembangan jalan raya, sangat penting untuk melakukan perencanaan, pelaksanaan, dan pemeliharaan dengan efektif guna memberikan layanan yang optimal kepada masyarakat. Salah satu komponen penting dari pembangunan jalan raya adalah lapisan perkerasan. Kualitas perkerasan jalan harus terjaga untuk menjamin keselamatan dan kenyamanan para pengguna jalan, tetapi masih ada banyak jalan di Indonesia yang mengalami kerusakan baik secara struktural maupun fungsional. Menurut Mulyono (2006) terdapat tiga faktor utama yang menyebabkan kerusakan jalan, yakni faktor pengulangan beban kendaraan, faktor drainase air di permukaan jalan, dan faktor mutu konstruksi perkerasan. Salah satu cara untuk meningkatkan mutu konstruksi perkerasan adalah dengan memperkuat dan memperbaiki campuran aspal melalui penggunaan beragam bahan tambah (*additive*).

Menurut catatan Kementerian Perindustrian, produksi kendaraan roda dua sepanjang tahun diperkirakan terus meningkat. Peningkatan kebutuhan ini juga akan berdampak pada meningkatnya limbah ban karet. Permasalahan limbah ban karet perlu diselesaikan karena limbah ban karet tidak dapat terurai dengan mudah sehingga dapat mencemari lingkungan. Salah satu solusi yang dapat digunakan dalam menangani limbah tersebut adalah dengan memanfaatkannya sebagai bahan tambah untuk campuran perkerasan jalan. *US Department of Transportation Federal Highway Administration* sebelumnya telah meneliti penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) sejak tahun 1986 di Amerika. Hasil

penggunaan parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (AASHTO, 1982). Para peneliti sudah banyak melakukan inovasi-inovasi untuk meningkatkan kualitas perkerasan dengan menggunakan bahan tambah limbah ban karet. Ada beberapa keuntungan penggunaan ban karet sebagai bahan tambah untuk campuran perkerasan diantaranya adalah mengurangi *reflective cracking* pada *overlay*, meningkatkan ketahanan terhadap *cracking* dan *rutting* perkerasan baru, meningkatkan *skid resistance* dan umur perkerasan.

HRS (*Hot Rolled Sheet*) atau Lapis tipis aspal beton (Lataston) merupakan salah satu lapis perkerasan jalan raya yang terdiri campuran aspal keras, agregat dengan gradasi timpang, dan bahan pengikat (*filler*) yang dicampurkan, dihamparkan dan dipadatkan pada suhu dan kondisi tertentu dengan ketebalan antara 2,5 sampai 3 cm (Sukirman, 1999). Perkerasan dengan HRS sangat cocok diterapkan di Indonesia karena memiliki kelenturan yang tinggi dan tahan terhadap pelelehan, mengingat Indonesia adalah negara beriklim tropis dengan suhu panas yang cukup tinggi (Wijanarko dan Mulia, 2013). HRS memiliki kelebihan diantaranya adalah kedap air dan udara, fleksibilitas tinggi, durabilitas tinggi dan *fatigue resistance* yang tinggi. Adapun kekurangan dari campuran HRS adalah memiliki kekesatan yang rendah. Faktor kekesatan dalam perkerasan jalan perlu diperhatikan agar kondisi tahanan gesek antara permukaan jalan dan ban kendaraan tidak mengalami selip atau tergelincir baik pada kondisi basah ataupun kering. salah satu keuntungan penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah adalah diantaranya dapat meningkatkan *skid resistance*.

Selain penambahan *additive*, metode pencampuran adalah salah satu solusi yang perlu dipertimbangkan dalam meningkatkan kinerja campuran. Pada saat ini telah diperkenalkan metode yang baru dalam pencampuran beton aspal yaitu dengan metode pencampuran bertahap. Penggunaan metode pencampuran ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja campuran beton aspal dengan cara mengubah proses pencampuran aspal dan agregat. Menurut Kok dan Kuloglu (2011) metode pencampuran ini didasarkan pada langkah-langkah awal seperti *pre-coating* agregat kasar dengan kadar aspal optimum, kemudian

mencampurkannya dengan *filler dan agregat halus*. Tujuannya adalah untuk meningkatkan ikatan antara aspal dan agregat, mengurangi risiko pengelupasan agregat akibat kelembaban, serta mencegah terbentuknya debu atau kotoran yang dapat mengganggu kualitas campuran aspal.

Berdasarkan penjelasan di atas, penelitian ini akan mengkaji dampak dari metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik pada campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*. Dalam penelitian ini, akan dilakukan perbandingan antara dua metode pencampuran, yaitu metode konvensional dan metode pencampuran bertahap. Hasil dari penelitian ini nantinya akan diketahui metode pencampuran yang terbaik untuk campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang diatas, maka permasalahan yang dapat dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?
2. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap *Index Retained Strength (IRS)* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?
3. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?
4. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap *Tensile Strength Ratio (TSR)* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?
5. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik *Stiffness Modulus* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?

6. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap *Cantabro Loss (CL)* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?
7. Bagaimana pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap *Asphalt Flow Down (AFD)* pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan yang akan dicapai pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengeksplorasi pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik *Marshall* campuran.
2. Menganalisis pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Index Retained Strength (IRS)* campuran.
3. Menginvestigasi pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* campuran.
4. Mengkaji pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* campuran.
5. Mengestimasi pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Stiffness Modulus* campuran.
6. Mengukur pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Cantabro Loss (CL)* campuran.
7. Mengkaji pengaruh metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *Asphalt Flow Down (AFD)* campuran.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini, diharapkan terdapat sejumlah manfaat yang dapat diperoleh oleh para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Memanfaatkan limbah ban karet sebagai bahan tambah (*additive*) pada campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*
2. Menambah variasi kadar bahan tambah (*additive*) pada campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*

3. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai pengaruh penambahan bahan tambah ban karet terhadap kinerja dan kekuatan campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*
4. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai pengaruh metode pencampuran terhadap kinerja dan kekuatan campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*

1.5 Batasan Penelitian

Batasan masalah dalam penelitian ini diperlukan karena cakupan penelitian yang cukup luas. Berikut adalah batasan masalah dalam penelitian ini.

1. Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Campuran yang diteliti adalah campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet Wearing Course)*
3. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal konvensional penetrasi 60/70
4. Material yang digunakan adalah agregat kasar dan halus berasal dari Clereng Kulon Progo, Yogyakarta
5. Bahan tambah yang digunakan dalam penelitian ini adalah serbuk ban karet dengan persentase penambahan sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6% terhadap berat aspal pada kondisi KAO.
6. Pada pengujian untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), variasi kadar aspal yang digunakan adalah 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8% terhadap berat total campuran
7. Karakteristik pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* terdiri dari *Marshall*, *Index Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Contabro Loss (CL)*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*.
8. Karakteristik *Marshall* yang diukur adalah stabilitas, Kelelehan (*flow*), VITM (*Void in the Total Mix*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), VMA (*Void in the Mineral Aggregate*), dan kepadatan (*density*).
9. Penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran, yakni metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap.

10. Pengujian bahan/material sesuai dengan Standar Spesifikasi Bina Marga 2018.
11. Pengujian karakteristik dan gradasi campuran sesuai dengan Standar Spesifikasi Bina Marga 2018.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Campuran dengan Metode Pencampuran Bertahap

Metode dalam pencampuran beton aspal tidak hanya dengan metode pencampuran konvensional saja, pada saat ini telah diperkenalkan metode yang baru dalam pencampuran beton aspal yaitu dengan metode pencampuran bertahap. Metode pencampuran bertahap merupakan metode yang bertujuan untuk meningkatkan performa campuran beton aspal, dengan cara langkah-langkah pencampuran aspal dengan agregat yang dimodifikasi.. Penelitian terdahulu mengenai pengaruh metode pencampuran telah banyak dilakukan seperti pada beberapa penelitian berikut.

Penelitian yang dilakukan Kok dan Kuloglu (2011), membahas tentang dampak urutan pencampuran dua tahap terhadap karakteristik mekanik campuran aspal panas. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh metode pencampuran dua tahap dan membandingkannya dengan metode pencampuran konvensional. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode pencampuran dua tahap memiliki dampak yang lebih signifikan pada campuran aspal yang telah dimodifikasi dibandingkan dengan campuran aspal yang tidak dimodifikasi. Pengaruh dari penggunaan metode pencampuran dua fase mampu meningkatkan nilai *Stiffness*, *Marshall Quotient*, umur kelelahan dan kerusakan pada campuran aspal yang disebabkan oleh tingkat kelembaban.

Pada penelitian Hesami (2015) membahas tentang pengaruh urutan pencampuran terhadap performa campuran aspal, dengan penelitian berfokus untuk mengetahui dampak urutan pencampuran terhadap kemampuan dan kinerja mekanis campuran aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan metode pencampuran bertahap menghasilkan sifat campuran yang kaku. Nilai modulus pada metode pencampuran bertahap lebih tinggi dibandingkan dengan metode konvensional. Hasil percobaan juga mengindikasikan bahwa campuran aspal yang

dicampur secara bertahap menunjukkan ketahanan terhadap deformasi permanen yang lebih baik, namun lebih rentan terhadap retak-getas.

Yaro (2021) melakukan penelitian mengenai kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan tambah serat kelapa sawit menggunakan dua metode pencampuran. Dalam penelitian ini, digunakan dua metode pencampuran, yakni metode konvensional dan metode pencampuran bertahap. Pengujian yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Marshall Test*, *Drain Down Test*, *Cantabro*, *Stiffness Modulus* dan *Moisture Damage Test*. Hasil penelitian menunjukkan metode dengan pencampuran bertahap lebih layak digunakan karena menghasilkan nilai stabilitas yang tinggi dan nilai *drain down* yang lebih rendah. Pencampuran bertahap juga menunjukkan tingkat ketahanan yang lebih tinggi terhadap kelembaban jika dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

Pada penelitian Wahyudi (2020) tentang pengaruh berbagai metode pencampuran terhadap kinerja campuran aspal, menggunakan 3 metode pencampuran diantaranya yaitu metode pertama dengan cara konvensional, metode kedua : agregat kasar + aspal, disusul agregat lain, dan metode ketiga : agregat kasar + medium + aspal, disusul agregat lain. Ketiga metode pencampuran tersebut digunakan untuk mengetahui kinerja campuran aspal porus dan *superpave* dengan melakukan beberapa pengujian diantaranya *Marshall Test*, *ITS*, *TSR*, *IRS*, dan *Cantabro*. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode 3 disarankan untuk digunakan pada campuran *superpave* karena menghasilkan nilai stabilitas, *IRS*, dan *Cantabro Loss* yang terbaik. Sedangkan untuk metode 2 cocok digunakan pada aspal porus karena menghasilkan nilai *ITS* yang sangat baik.

Penelitian yang dilakukan Hidayat (2021) tentang efek pencampuran dua tahap pada kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan penggunaan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *crumb rubber*. Penelitian ini bertujuan membandingkan metode pencampuran dua tahap dengan metode pencampuran konvensional. Hasil pengujian menunjukkan bahwa metode pencampuran dua tahap dapat menjadi alternatif yang lebih baik untuk meningkatkan mutu dan kinerja campuran *SMA* yang menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70 dan aspal *crumb rubber*. Dalam

pengujian *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio*, metode pencampuran dua tahap menghasilkan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

2.2 Karakteristik Campuran HRS-WC dengan Bahan Tambah Ban Karet

Perkembangan industri otomotif sepanjang tahun semakin berkembang, kebutuhan terhadap ban karet di Indonesia semakin meningkat, sehingga dapat mengakibatkan bertambahnya limbah ban yang tidak mudah terurai oleh alam. Oleh karena itu banyak peneliti melakukan berbagai inovasi dalam memanfaatkan limbah ban karet pada perkerasan jalan raya sebagai bahan tambah. Penelitian terdahulu mengenai efek dari bahan tambah limbah ban karet terhadap karakteristik pada campuran HRS telah banyak dilakukan dengan berbagai variasi kadar pencampuran yang berbeda seperti pada beberapa penelitian berikut

Hardwiyono (2012) melakukan penelitian tentang dampak penambahan parutan ban karet terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran HRS-WC. Pada penelitian ini variasi kadar serbuk karet ban bekas yang ditambahkan adalah sebesar 20%, 21% dan 22% terhadap berat total campuran. Diharapkan penambahan karet ke dalam aspal dapat memberikan daya tahan aspal terhadap suhu tinggi dan dapat pula meningkatkan daya lekat aspal terhadap agregat. Dari hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas dan kelelahan pada campuran aspal normal lebih tinggi bila dibandingkan dengan campuran aspal tanpa penambahan parutan karet ban bekas. Sedangkan nilai *VIM* dan nilai *MQ* pada campuran aspal dengan penambahan parutan karet ban bekas meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal.

Jatmiko dan Marianti (2019) melakukan penelitian tentang pengaruh campuran serbuk ban luar terhadap karakteristik campuran HRS-WC dengan pengujian *Marshall*. Pada penelitian ini digunakan lima variasi bahan tambah serbuk ban luar yaitu 5%, 10%, 15%, 20%, dan 25% terhadap berat total campuran. Hasil dari pengujian *Marshall* menunjukkan bahwa penambahan bahan tambah limbah karet ban luar pada campuran HRS-WC dapat menaikkan beberapa

nilai diantaranya pada stabilitas, *flow*, dan *VFA*. Sedangkan nilai *VIM*, *VMA* dan *MQ* mengalami penurunan.

Pada penelitian yang dilakukan oleh Oktaviastuti (2020) tentang pengaruh bahan tambah serbuk ban bekas pada campuran *HRS-WC*. Pada penelitian ini benda uji dengan tambahan serbuk ban bekas dengan variasi kadar pencampuran sebesar 0%, 1,5%, 3%, 4,5%, dan 6% terhadap KAO. Parameter yang diuji adalah pengujian *Marshall*. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas optimum pada penambahan serbuk ban bekas sebesar 1,5%. Nilai *flow* semakin meningkat seiring penambahan kadar serbuk ban bekas. Secara keseluruhan hasil pengujian memenuhi spesifikasi kecuali nilai *VIM* pada penambahan serbuk ban bekas 3%, 4,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi.

Ramadhan dan Iduwin (2022) melakukan penelitian tentang Pengaruh PRD dan Karakteristik *Marshall* Pada Serbuk Ban Karet Terhadap Campuran *HRS-WC*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui kinerja *HRS-WC* dengan penambahan serbuk ban karet. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian PRD dan pengujian *Marshall Immersion*, dengan variasi penambahan serbuk ban 0%, 1%, 3%, 5% dan 7% terhadap KAO. Didapatkan kadar aspal optimum sebesar 7,2%. Dari hasil pengujian PRD didapatkan hasil *Density*, *VIM*, *VMA*, dan *VFA* semuanya memenuhi spesifikasi kecuali nilai *VFA* pada kadar 3% - 7% tidak memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018. Pada pengujian *Marshall Immersion* nilai stabilitas optimum pada kadar 3% dengan waktu perendaman 30 menit. Nilai durabilitas *Marshall* pada kadar serbuk ban mengalami penurunan.

2.3 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Perbandingan antara studi sebelumnya yang telah dilakukan oleh peneliti-peneliti sebelumnya dan penelitian yang akan dilakukan oleh penyusun dapat dilihat dalam **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

No	Aspek	Kok dan Kuloglu (2011)	Hesami dkk (2015)	Wahyudi (2020)	Hidayat (2021)	Hardwiyono (2012)	Oktaviastuti dkk (2020)	Ramadhan dan iduwin (2022)	Iqbal (2022)
1	Judul	Dampak dari pencampuran dua tahap terhadap karakteristik mekanik dalam campuran aspal panas.	Dampak urutan pencampuran terhadap performa campuran aspal.	Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> dan Aspal Porus	Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dan Aspal Crumb Rubber	Pengaruh Penambahan Parutan Karet Ban Gradasi Tipe 2 Terhadap Parameter <i>Marshall</i> Pada Campuran <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i>	Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Ban Bekas Pada Konstruksi <i>Hot Rolled Sheet Wearing Course</i>	Pengaruh PRD dan Karakteristik Marshall Pada Serbuk Karet Ban Terhadap Campuran <i>HRS-WC</i>	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran <i>HRS</i> Dengan Metode Pencampuran Konvensional Dan Bertahap
2	Jenis Campuran	<i>Asphalt Concrete Binder Course</i>	<i>Split Mastic Asphalt</i>	<i>Superpave</i> dan Aspal Porus	<i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>	<i>HRS-WC</i>	<i>HRS-WC</i>	<i>HRS-WC</i>	<i>HRS-WC</i>
3	Bahan Tambah	<i>AC-5, AC-10, dan AC-20.</i>	<i>Ac-10</i>	Bahan ikat aspal pen 60/70	Bahan ikat aspal pen 60/70 dan <i>Crumb Rubber</i>	Serbuk Ban Karet	Serbuk Ban Bekas	Serbuk Ban Karet	Serbuk Ban Karet

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian Penulis

4	Parameter Yang Diukur	<i>Marshall Quotient, IRS dan ITS</i>	<i>X – ray computed, workability, viskositas campuran</i>	<i>Marshall Test, IRS, ITS, TSR dan Contabro</i>	<i>Marshall Test, IRS, ITS, TSR dan Contabro</i>	<i>Marshall Test</i>	<i>Marshall Test</i>	PRD dan <i>Marshall Immersion</i>	<i>Marshall Test, IRS, ITS dan TSR</i>
5	Metode Pencampuran	Metode Dua Fse	Metode Bertahap	3 Metode Pencampuran	Metode Bertahap	Metode Konvensional	Metode Konvensional	Metode Konvensional	Metode Bertahap
6	Hasil	Metode pencampuran dua fase menghasilkan efek yang lebih besar terhadap campuran aspal modifikasi dari pada campuran aspal yang tidak dimodifikasi. Pengaruh dari penggunaan metode pencampuran dua fase mampu meningkatkan nilai <i>Stiffness</i> , <i>Marshall Quotient</i> , umur kelelahan dan kerusakan aspal campuran yang disebabkan oleh tingkat kelembaban	Efek dari urutan pencampuran menghasilkan perilaku campuran yang lebih kaku. Nilai modulus pada metode pencampuran bertahap lebih tinggi. Metode pencampuran bertahap memiliki ketahanan terhadap deformasi permanen tetapi lebih rentan terhadap retak getas.	Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap disarankan untuk digunakan pada campuran <i>superpave</i> , karena dapat meningkatkan nilai stabilitas, <i>IRS</i> , dan <i>Cantabro</i>	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat menjadi opsi dalam meningkatkan kinerja campuran <i>SMA</i> berbahan ikat aspal pen 60/70 serta aspal <i>crumb rubber</i> dalam semua pengujian yang dilakukan.	Hasil penelitian diperoleh nilai stabilitas dan kelelahan pada campuran aspal normal lebih tinggi bila dibandingkan dengan campuran aspal tanpa penambahan parutan karet ban bekas. Sedangkan nilai VIM dan nilai MQ pada campuran aspal dengan penambahan parutan karet ban bekas meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal	Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas optimum pada penambahan serbuk ban bekas sebesar 1,5%. Nilai <i>flow</i> semakin meningkat seiring penambahan kadar serbuk ban bekas. Secara keseluruhan hasil pengujian memenuhi spesifikasi kecuali nilai VIM pada penambahan serbuk ban bekas 3%, 4,5% dan 6% tidak memenuhi spesifikasi	Hasil pengujian Marshall Immersion menunjukkan nilai stabilitas optimum pada kadar 3% dengan waktu perendaman 30 menit dan nilai durabilitas mengalami penurunan.	

Dalam penelitian ini, terdapat kesamaan dengan penelitian sebelumnya dalam hal penggunaan campuran *HRS-WC (Hot Rolled Sheet-Wearing Course)* dengan bahan tambah serbuk ban karet. Sedangkan ada beberapa perbedaan dengan penelitian terdahulu diantaranya sebagai berikut.

1. Penelitian ini menggunakan jenis campuran yaitu *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Sedangkan beberapa penelitian terdahulu menggunakan campuran *Stone Matrix Asphalt (SMA), AC-BC, Superpave dan Porus*.
2. Penelitian ini menggunakan bahan tambah serbuk ban karet dengan variasi kadar penambahan sebesar 2%, 4% dan 6% terhadap nilai KAO. Sedangkan beberapa penelitian terdahulu dengan variasi 1%, 1,5%, 3%, 4,5%, 5%, 6% dan 7%.
3. Dalam penelitian ini digunakan dua metode pencampuran selama proses pencampuran, sementara penelitian sebelumnya hanya mengadopsi satu metode pencampuran.
4. Penelitian ini melakukan beberapa parameter yang diuji diantaranya *Marshall Standard, Immersion Test, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, Cantabro*, dan *Asphalt Flow Down*. Sedangkan penelitian terdahulu ada beberapa hanya melakukan pengujian salah satunya adalah *Marshall Standard*.

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

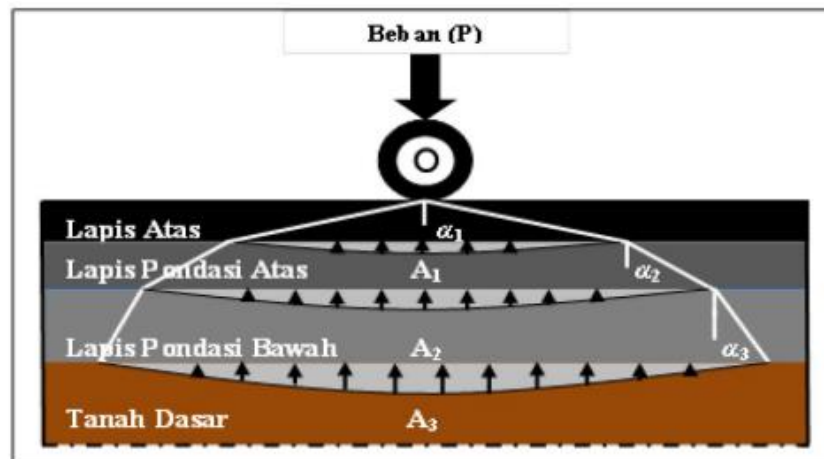
Perkerasan jalan adalah segmen jalan raya yang menggunakan agregat dan bahan pengikat seperti aspal atau semen (*Portland Cement*) untuk memadatkan partikel-partikel agregat. Jenis konstruksi perkerasan jalan diklasifikasikan berdasarkan bahan pengikat yang digunakan. Konstruksi perkerasan jalan memiliki ketebalan, kekuatan, dan kekakuan, serta kestabilan tertentu agar mampu menyalurkan beban lalu lintas di atasnya ke tanah dasar secara aman. Fungsi utama dari konstruksi perkerasan jalan adalah untuk menyebarkan atau mendistribusikan beban roda ke area permukaan tanah dasar (*sub-grade*) yang lebih luas dibandingkan luas kontak roda dengan konstruksi perkerasan jalan, sehingga mereduksi tegangan maksimum yang terjadi pada tanah dasar. Konstruksi perkerasan jalan harus memiliki kekuatan dalam menopang beban lalu lintas. Permukaan pada perkerasan haruslah rata tetapi harus mempunyai kekesatan atau tahan gelincir (*skid resistance*) di permukaan perkerasan. Perkerasan dibuat dari berbagai pertimbangan, seperti persyaratan struktur, ekonomis, keawetan, kemudahan, dan pengalaman (Fithra 2019).

3.2 Perkerasan Lentur

Perkerasan lentur merupakan campuran agregat seperti batu pecah, pasir, *filler*, dan aspal yang diaplikasikan dengan cara dihampar kemudian dipadatkan. Perkerasan lentur dirancang agar mampu mengalami deformasi saat menerima beban, kemudian kembali ke bentuk semula bersama dengan tanah dasar. Perancangan perkerasan lentur didasarkan pada prinsip elastis dan pengalaman lapangan. Prinsip elastis digunakan dalam analisis perkerasan untuk memastikan bahwa deformasi permanen tidak terjadi pada setiap lapisan. (Hardiyatmo, 2011).

Berdasarkan konsep perkerasan jalan, perkerasan ini memiliki sifat melentur saat menerima beban. Hal ini disebabkan oleh distribusi gaya yang berbeda pada

setiap lapisan perkerasan, dimana gaya yang bekerja semakin berkurang saat mendekati lapisan yang lebih dalam. Setiap lapisan harus mampu menangani jenis gaya yang diterimanya, dengan lapisan permukaan yang harus menerima semua jenis gaya, lapis pondasi atas yang menangani gaya vertikal dan getaran, dan tanah dasar yang hanya menerima gaya vertikal. (Sukirman, 1999). Distribusi beban roda pada perkerasan dapat dilihat pada **Gambar 3.1** berikut.



Gambar 3.1 Distribusi Beban Roda pada Perkerasan

(Sumber : Wiryanto, 2011)

3.3 Hot Rolled Sheet (HRS)

Lapisan tipis aspal beton, juga dikenal sebagai *Hot Rolled Sheet (HRS)* atau Lataston, adalah salah satu jenis perkerasan jalan yang terbuat dari campuran aspal keras, agregat dengan gradasi senjang, dan bahan pengisi (*filler*). Campuran ini dihamparkan dan dipadatkan pada suhu sekitar 110°C , dengan ketebalan sekitar 3 cm. Struktur *HRS* terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan pengikat berupa aspal campuran panas. Kandungan aspal yang cukup tinggi pada campuran ini bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas, daya tahan, ketahanan terhadap deformasi permanen, serta resistensi terhadap retakan. Konstruksi perkerasan jalan dengan *HRS* terbagi menjadi dua jenis lapisan, yaitu *HRS* yang digunakan sebagai lapisan aus (*HRS-WC*) dan *HRS* yang berperan sebagai lapisan pondasi (*HRS-BC*).

3.3.1 *Hot Rolled Sheet – Wearing Course (HRS-WC)*

HRS-WC berfungsi sebagai lapisan yang kedap terhadap air, mampu menghindari pembentukan alur, memiliki permukaan yang halus, dapat menyalurkan beban, dan memiliki daya tahan terhadap gesekan. Lapisan ini langsung berinteraksi dengan roda kendaraan dan juga terpapar dengan kondisi cuaca, sehingga mengalami abrasi lebih cepat. Proses penguapan dan penuaan sebagian fraksi aspal akibat pengaruh cuaca juga dapat menyebabkan retakan di permukaan. Oleh karena itu, lapis aus harus direncanakan untuk memiliki stabilitas, kelenturan, ketahanan yang baik, dan daya tahan yang lebih tinggi. Struktur *HRS* terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan bahan pengikat berupa aspal campuran panas. Kandungan aspal yang cukup tinggi dalam campuran ini bertujuan untuk meningkatkan fleksibilitas, daya tahan, dan ketahanan terhadap deformasi permanen serta mengurangi kemungkinan terjadinya retakan.. Tebal minimum lapisan *HRS-WC* adalah 3 cm berdasarkan Bina Marga 2018.

3.3.2 *Hot Rolled Sheet – Base Course (HRS-BC)*

Perbedaan antara *HRS-WC* dan *HRS-BC* terletak pada gradasi agregat yang digunakan, tingkat lalu lintas dan penggunaannya, serta jenis agregat yang dipakai yang mencakup agregat kasar, agregat halus, dan *filler*. Biasanya, jenis aspal yang digunakan adalah aspal keras seperti AC 60-70 atau AC 80-100. *HRS* memiliki sifat lentur dan tingkat daya tahan yang tinggi, ini dikarenakan campuran *HRS* memiliki gradasi yang bervariasi yang menciptakan rongga dalam campuran yang cukup besar, sehingga dapat menyerap jumlah aspal yang lebih besar (sekitar 7%-8%) tanpa mengalami *bleeding*. Selain itu, *HRS* mudah untuk dipadatkan, sehingga menghasilkan lapisan dengan ketahanan terhadap air dan udara yang tinggi. Gradasi senjang dapat dicapai dengan mencampurkan pasir halus dengan agregat pecah mesin. Batas gradasi senjang terletak di antara bahan yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm) tetapi tertahan di saringan No. 30 (0,600 mm) dan menggunakan campuran agregat kasar dan agregat halus. Tebal minimum lapisan *HRS-BC* adalah 3,5 cm berdasarkan Bina Marga 2018.

Bina Marga 2018 telah mengeluarkan peraturan yang menetapkan persyaratan untuk karakteristik campuran Lataston dalam perkerasan. rincian dari karakteristik campuran tersebut dapat dilihat pada **Tabel 3.1**.

Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Lataston

Sifat-sifat Campuran		Lataston	
		Lapis Aus	Lapis Pondasi
Kadar aspal efektif (%)	Min	5,9	5,5
Jumlah tumbukan per bidang		50	
Rongga dalam campuran (%)	Min	4,0	
	Maks	6,0	
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	18	17
Rongga terisi aspal (%)	Min	68	
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	600	
Marshall <i>Quotient</i> (kg/mm)	Min	250	
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60°C	Min	90	

(Sumber : Bina Marga 2018)

3.4 Material Penyusun Campuran

Bahan penyusun yang membentuk perkerasan lentur dapat dikelompokkan menjadi dua jenis, yaitu bahan dasar yang terdiri dari material seperti kerikil, pasir, batu pecah, dan lain sebagainya, serta bahan pengikat yang bisa berupa aspal, semen *Portland*, kapur, atau tanah liat. Komposisi bahan dalam campuran perkerasan lentur di Indonesia diatur dalam Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang dikeluarkan oleh Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum.

3.4.1 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat, berwarna hitam sampai dengan coklat tua dengan unsur utamanya adalah bitumen. Aspal adalah material

yang pada temperatur ruang berbentuk padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan sampai temperatur tertentu dan kembali membeku jika temperatur turun. Bersama dengan agregat dan *filler*, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Banyaknya aspal dalam campuran perkerasan berkisar antara 4% - 10% berdasarkan berat campuran, atau 10-15% berdasarkan volume campuran.

Berdasarkan proses pembuatannya, jenis aspal ada beberapa macam diantaranya sebagai berikut.

1. Aspal Alam

Aspal alam adalah aspal yang ditemukan di alam dan dapat digunakan tanpa perlu proses pengolahan yang rumit. Salah satu aspal alam terbesar di dunia terletak di Amerika Serikat, yaitu aspal danau (*Trinidad Lake Asphalt*). Di Indonesia, terdapat sumber aspal alam di Pulau Buton, yang dikenal dengan nama Asbuton (Aspal Batu Buton), yang berasal dari gunung. Asbuton adalah campuran antara bitumen dengan mineral lainnya dalam bentuk batuan.

2. Aspal Minyak

Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Di Indonesia, aspal penetrasi 60/70 adalah jenis yang paling umum digunakan sebagai bahan ikat dalam perkerasan lentur. Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *paraffin base crude oil* yang banyak mengandung parafin, atau *mixed base crude oil* yang mengandung campuran antara parafin dan aspal.

3. Aspal Modifikasi Polimer

Aspal polimer merupakan material yang dihasilkan dari modifikasi antara polimer alam atau polimer sintesis dengan aspal. Aspal modifikasi polimer dikembangkan untuk meningkatkan hasil ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi, mengatasi keretakan-keretakan dan meningkatkan ketahanan yang tinggi dari kerusakan yang disebabkan oleh umur sehingga perkerasan jalan lebih tahan lama serta dapat mengurangi biaya perbaikan atau perawatan jalan. Aspal modifikasi polimer terbagi menjadi dua yaitu aspal polimer elastomer dan aspal polimer plastomer.

Aspal yang digunakan pada penelitian ini harus memenuhi persyaratan seperti pada **Tabel 3.2** berikut ini.

Tabel 3.2 Ketentuan untuk Aspal Keras

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Nilai Persyaratan
1	Penetrasi 25°C (0,1 mm)	SNI-2456 : 2011	60-70
2	Titik Lembek (°C)	SNI-2434 : 2011	≥ 48
3	Daktilitas 25°C (cm)	SNI-2432 : 2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI-2433 : 2011	≥ 232
5	Kelarutan Dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99
6	Berat Jenis	SNI-24441 : 2011	≥ 1,0

(Sumber : Bina Marga, 2018)

3.4.2 Agregat

Agregat merupakan salah satu komponen yang sangat penting didalam pekerjaan perkerasan jalan. Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Agregat dengan kualitas dan sifat yang baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban dan mendistribusikan ke lapisan di bawahnya. Menurut Sukirman (2003) Agregat sebagai komponen utama atau kerangka perkerasan jalan, umumnya terdiri dari sekitar 90% hingga 95% berdasarkan persentase berat atau sekitar 75% hingga 85% berdasarkan persentase volume.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar adalah agregat yang tertahan di atas saringan no.8 (2,36 mm) atau lebih besar dari saringan no. 4 (4,75 mm). Fungsi agregat kasar dalam campuran HRS adalah untuk mengembangkan volume mortar, dengan demikian membuat campuran lebih ekonomis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelelahan. Kriteria untuk agregat kasar yang digunakan dalam perkerasan dapat dilihat dalam **Tabel 3.3**.

Tabel 3.3 Ketentuan Agregat Kasar

Pengujian			Metode Pengujian	Nilai
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 lainnya	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	ASTM D4791-10	Maks 5%	
	Lainnya	Perbandingan 1:5	Maks 10%	
Material lolos Ayakan No. 200			SNI ASTM C117 : 2012	Maks 1%

(Sumber : Bina Marga 2018)

Catatan :

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

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

2. Agregat Halus

Agregat halus adalah agregat hasil pemecah batu yang mempunyai sifat lolos saringan no. 8 (2,36 mm) atau agregat dengan ukuran butir lebih halus dari saringan no. 4 (4,75 mm). Fungsi utama agregat halus adalah mendukung stabilitas dan mengurangi deformasi permanen dari campuran melalui ikatan (*interlocking*) dan gesekan antar partikel. Dalam konstruksi *HRS* komposisi

agregat halus merupakan bagian yang terbesar sehingga sangat mempengaruhi kinerja pada saat masa konstruksi maupun pada masa pelayanan. Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 3.4** berikut ini.

Tabel 3.4 Ketentuan untuk Agregat Halus

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

(Sumber : Bina Marga 2018)

3. Bahan Pengisi (*Filler*)

Filler adalah material yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm). Jenis bahan *filler* secara umum terdiri dari abu batu kapur, abu arang, semen *portland* dan abu batu. *Filler* memiliki peran penting sebagai pengisi rongga di antara butiran agregat kasar. Fungsinya adalah untuk mengurangi rongga, meningkatkan stabilitas, dan kepadatan campuran. *Filler* berpartisipasi dalam campuran aspal melalui dua cara diantaranya :

- a. *Filler* berperan sebagai penyesuaian terhadap gradasi pasir, yang menghasilkan peningkatan kepadatan campuran dengan meningkatkan jumlah titik kontak antara butiran partikel. Hal ini mengakibatkan pengurangan jumlah aspal yang dibutuhkan untuk mengisi sisa-sisa rongga dalam campuran.
- b. Metode yang efektif untuk memengaruhi kinerja *filler* adalah dengan mempertimbangkan perbandingan yang optimal antara komposisi agregat halus, *filler*, dan aspal dalam mortar. Sifat-sifat mortar ini kemudian bergantung pada karakteristik alami pasir, jumlah yang dicampur dalam campuran aspal, serta viskositas pasta atau bahan pengikat yang digunakan.

3.5 Gradasi

Gradasi merupakan butiran sesuai dengan ukurannya. Ukuran butiran agregat dapat diidentifikasi melalui proses analisis saringan, yang dapat dilakukan dalam kondisi basah maupun kering. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase lolos, atau persentase tertahan, yang dihitung berdasarkan berat total agregat. Gradasi merupakan elemen kunci dalam menentukan stabilitas perkerasan. Distribusi ukuran agregat dalam gradasi sangat memengaruhi jumlah rongga antara butiran, sehingga akan mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan perkerasan. Secara umum gradasi agregat dikelompokkan menjadi tiga bagian yaitu Gradasi Rapat (*Dense Graded*), gradasi seragam (*Uniformly Graded*), dan Gradasi Senjang (*Gap Graded*).

3.5.1 Gradasi Rapat (*dense graded*)

Gradasi rapat tersusun dari campuran agregat kasar dan halus yang mempunyai ukuran yang bervariasi dari besar sampai kecil. Dikatakan gradasi rapat (*dense graded*) karena rongga antar butiran besar dapat terisi oleh butiran yang berukuran yang lebih kecil, rongga antar butiran yang berukuran kecil dapat terisi oleh butiran yang berukuran yang lebih kecil lagi dan seterusnya. Perkerasan yang terbuat dari agregat bergradasi rapat mempunyai nilai stabilitas yang cenderung lebih tinggi. Hal ini disebabkan oleh bidang kontak antar butiran agregat lebih besar karena memiliki pori yang kecil. Kapasitas daya dukung perkerasan dapat bertambah jika tekstur pada permukaan agregat lebih kasar dan disertai dengan bentuk agregat yang bersudut/tajam. Nilai aspal optimum pada Jenis campuran bergradasi rapat lebih sedikit dibandingkan dengan gradasi timpang pada bentuk dan tekstur permukaan agregat yang sama. Di Indonesia campuran dengan gradasi rapat biasanya digunakan pada campuran Lapis Aspal Beton (laston).

3.5.2 Gradasi Seragam (*uniformly graded*)

Gradasi ini tersusun dari campuran agregat yang memiliki ukuran yang hampir sama (seragam). Perkerasan yang dibuat dari agregat bergradasi seragam memiliki nilai stabilitas yang kurang karena pori antar agregat yang besar

sehingga luas bidang kontak antar agregat menjadi kecil. Perkerasan dengan agregat bergradasi seragam biasanya digunakan pada lapisan untuk perbaikan jalan lama dengan daya dukung rendah (*surface treatment*) berupa lapis penetrasi (tunggal atau ganda).

3.5.3 Gradasi Timpang (*Gap Graded*)

Gradasi timpang merupakan gradasi agregat dengan distribusi ukuran butirannya tidak menerus atau ada fraksi agregat yang tidak lengkap atau tidak ada, jika ada jumlahnya hanya sedikit sekali. Gradasi timpang tersusun dari agregat yang memiliki ukuran yang bervariasi namun pada ukuran tengah dari gradasi tidak digunakan. Kebutuhan aspal optimum pada jenis gradasi ini lebih besar dibandingkan dengan jenis gradasi lainnya. Komposisi aspal yang lebih besar akan membuat struktur rongga yang ada akan memberikan penyelimutan lebih tebal sehingga menghasilkan konstruksi perkerasan yang lebih awet (durabilitas campuran lebih baik. selain itu gradasi timpang dapat memberikan fleksibilitas yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan yang bergradasi rapat. Kelemahan jenis gradasi ini berupa daya dukung yang tidak sebaik dengan jenis gradasi yang lainnya, sehingga dapat mengakibatkan kecenderungan kerusakan berupa deformasi, namun lebih tahan terhadap kerusakan retak (*cracking*). Di Indonesia jenis gradasi ini digunakan sebagai campuran lataston (lapis tipis aspal beton) atau HRS (*Hot Rolled Sheet*) untuk lapis paling atas sebagai lapis aus (*wearing course*)

3.6 Gradasi Campuran Lataston (HRS)

Campuran lapis tipis aspal beton (lataston) atau *Hot Rolled Sheet (HRS)* menggunakan jenis gradasi timpang (*Gap Graded*). Gradasi campuran lataston atau HRS terdiri dari dua macam gradasi, yaitu sebagai lapis aus (*Wearing Course*) dan sebagai lapis pondasi (*Base*). Spesifikasi ketentuan gradasi campuran Lataston atau HRS menurut Spesifikasi umum Bina Marga 2018 dapat dilihat pada **Tabel 3.5** berikut ini.

Tabel 3.5 Ketentuan Gradasi Campuran Lataston atau HRS

Ukuran Ayakan		Spesifikasi (%)	
		Lataston (HRS)	
ASTM	(mm)	WC	Base
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90-100	90-100
3/8"	9,5	75-85	65-90
No. 4	4,75	-	-
No. 8	2,36	50-72	35-55
No.16	1,18	-	-
No. 30	0,600	35-60	15-35
No. 50	0,300	-	-
No. 100	0,150	-	-
No. 200	0,075	6-10	2-9

(Sumber : Bina Marga 2018)

3.7 Bahan Tambah Ban Karet

Setiap tahun, jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus bertambah, sehingga menghasilkan peningkatan limbah ban karet. Hal ini disebabkan oleh kendaraan seperti mobil dan sepeda motor yang sering mengganti ban mereka dalam rentang waktu 1 hingga 2 tahun. Ban bekas yang sudah tidak dapat digunakan lagi memiliki potensi untuk dimanfaatkan kembali dengan cara diolah menjadi serbuk karet, yang dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran aspal untuk keperluan yang lebih bermanfaat.

Bahan tambah merupakan material yang digunakan selain dari agregat dan aspal yang dicampurkan ke dalam campuran perkerasan. Bahan tambah ditambahkan sebelum atau selama proses pemanasan aspal berlangsung. Sifat karakteristik dari aspal dapat dimodifikasi dengan cara penggunaan bahan tambah.

Sejak tahun 1986, *US Department of Transportation Federal Highway Administration* telah melakukan penelitian mengenai pemanfaatan ban bekas sebagai bahan tambahan dalam campuran aspal. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan serbuk karet dari ban bekas dapat mengurangi kerusakan pada

perkerasan lentur yang disebabkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas. (Sugiyanto, 2009 dikutip dari AASHTO, 1982). Penggunaan serbuk karet dari ban bekas sangat sesuai untuk daerah dengan iklim panas. *Road Research Centre*, Kementerian Pekerjaan Umum di Kuwait, mengungkapkan bahwa menambahkan 2% lateks dan 5% serbuk karet dari ban bekas ke dalam aspal dapat mencegah terjadinya retakan, bleeding, dan mengurangi pelepasan butiran pada permukaan perkerasan lentur. (Prabudi dan Kosim, 2015).

Penggunaan ban dalam bekas kendaraan roda 4 pada campuran aspal beton mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen akibat jejak roda kendaraan. Penambahan bahan tambah seperti serbuk ban dalam kendaraan roda 4 ke dalam campuran aspal dapat memberikan daya tahan lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban lalu lintas, dibandingkan dengan aspal tanpa bahan tambahan. (Faisal 2014 dikutip dari Sugiyanto 2009).



Gambar 3.2. Serbuk Ban Karet

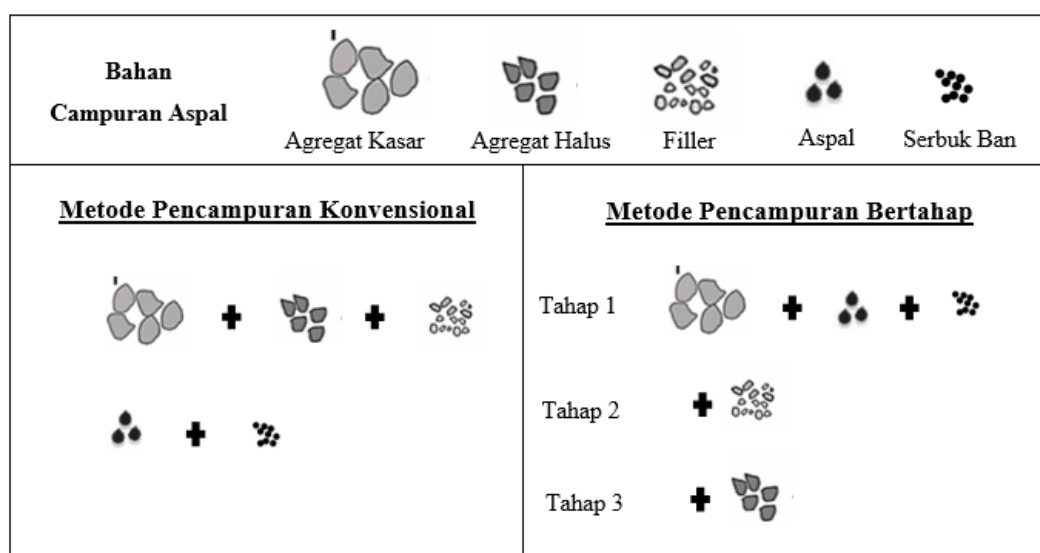
3.8 Metode Pencampuran Bertahap

Metode pencampuran konvensional merupakan metode yang sering dilakukan dalam pencampuran beton aspal dengan tahapan awal mencampur agregat kasar, agregat halus dan *filler*, kemudian menambahkan bahan ikat aspal. Metode dalam pencampuran beton aspal tidak hanya dengan metode pencampuran konvensional saja, pada saat ini telah diperkenalkan metode yang baru dalam

pencampuran beton aspal yaitu dengan metode pencampuran bertahap. Metode pencampuran bertahap merupakan metode yang bertujuan untuk meningkatkan kinerja campuran beton aspal dengan memodifikasi langkah-langkah pencampuran aspal dengan agregat.

Menurut Kok dan Kuloglu (2011) Metode pencampuran bertahap didasari pada langkah awal yaitu *pre-coating* agregat kasar dengan aspal dalam kondisi optimum, lalu mencampurkannya dengan *filler* dan agregat halus. Tujuannya adalah untuk meningkatkan daya lekat aspal dengan agregat dan mengurangi risiko pengelupasan agregat yang bisa disebabkan oleh kelembaban. Hal ini juga membantu mencegah terbentuknya debu atau kotoran yang dapat mengganggu kinerja campuran beraspal.

Metode pencampuran bertahap menghasilkan campuran aspal dengan distribusi rongga yang merata sehingga metode memudahkan dalam proses pemadatan. Hasil campuran aspal dari metode pencampuran ini menunjukkan ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi permanen dan memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Perbandingan tahapan antara metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap dapat dilihat pada **Gambar 3.2**.



Gambar 3.3 Tahapan Metode Pencampuran Konvensional dan Metode Pencampuran Bertahap

Sumber : Hesami, (2015) (Dimodifikasi)

3.9 Karakteristik *Marshall Test*

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal. Uji *Marshall* dilakukan untuk mengetahui karakteristik dari sifat mekanis campuran yaitu stabilitas dan pelelehan (*flow*), serta analisis kepadatan dan volumetrik campuran padat yang terbentuk. Beberapa parameter yang diukur dalam pengujian *Marshall* yaitu mencakup stabilitas (*stability*), pelelehan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler With Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Agregat*), dan kepadatan (*density*).

3.9.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan untuk menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas sangat bergantung pada kemampuan campuran untuk menghasilkan kuncian antar agregat dan mengatasi gesekan. Beberapa faktor yang memengaruhi nilai stabilitas meliputi tekstur, bentuk, dan distribusi ukuran agregat, serta tingkat kepadatan campuran dan jumlah aspal yang digunakan.. Menurut Sukirman (1992), stabilitas yang terlalu tinggi juga kurang baik mengingat perkerasan akan menjadi kaku.

Nilai stabilitas diperoleh dari perhitungan dengan Persamaan 3.1 berikut ini.

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

Keterangan :

q = stabilitas (Kg),

p = pembacaan arloji stabilitas x faktor kalibrasi alat,

s = koreksi tebal benda uji, dan

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

3.9.2 Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah besarnya deformasi vertikal yang terjadi mulai awal pembebanan sampai kondisi stabilitas menurun yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Perkerasan dengan nilai pelelehan yang tinggi lebih menunjukkan

kecenderungan pada sifat plastis dan mudah mengalami perubahan bentuk jika dibebani. Sedangkan perkerasan dengan nilai pelelehan yang rendah maka cenderung bersifat lebih kaku dan getas.

3.9.3 *Marshall Quotion (MQ)*

Marshall Quotion (MQ) adalah ukuran yang digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan berdasarkan perbandingan antara nilai stabilitas dan kelelehan. Semakin rendah nilai MQ maka campuran semakin fleksibel, sebaliknya jika nilai MQ semakin tinggi maka campuran akan bersifat kaku. Nilai *Marshall Quotion* diperoleh dari Persamaan 3.2.

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

Keterangan :

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

q = Nilai stabilitas (kg), dan

r = Nilai pelelehan (mm).

3.9.4 *Void in the Total Mix*

VITM adalah persen rongga udara dengan volume total campuran yang telah dipadatkan. Nilai *VITM* yang tinggi akan menyebabkan rongga dalam campuran semakin besar yang dapat mengakibatkan campuran mudah dilalui oleh air dan udara. Hal tersebut dapat membuat perkerasan lebih cepat mengalami oksidasi. Sementara nilai *VITM* yang rendah dapat menyebabkan perkerasan menjadi padat dan akan mudah mengalami *bleeding*. Nilai *VITM* diperoleh dari Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4.

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

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

Keterangan :

n = *VITM* (%),

g = berat isi benda uji (gr/cc), dan

h = berat jenis maksimum teoritis campuran.

3.9.5 *Void in Mineral Aggregate*

VMA adalah persen rongga udara yang berada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang yang terisi aspal terhadap volume campuran agregat aspal. Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi nilai *VMA* adalah gradasi agregat, tekstur pada agregat, serapan air oleh agregat dan kadar aspal. Nilai *VMA* diperoleh dari Persamaan 3.5 dan Persamaan 3.6.

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

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

Keterangan :

l = *VMA* (%),

b = persentase aspal terhadap campuran (%), dan

g = berat isi sampel (gr/cc).

3.9.6 *Void Filled With Asphalt*

VFWA adalah persen rongga yang terisi aspal pada campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *VFWA* pada campuran maka semakin banyak pula rongga yang dapat terisi oleh aspal. Hal tersebut dapat menyebabkan campuran menjadi kedap terhadap air. Adapun nilai *VFWA* yang rendah maka tingkat kedekatan terhadap air dan udara juga akan semakin rendah. Nilai *VFWA* diperoleh dari Persamaan 3.7 sampai dengan Persamaan 3.11.

Persentase aspal terhadap campuran :

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

Keterangan :

a = persentase aspal terhadap batuan (%), dan

b = persentase aspal terhadap campuran (%).

persentase aspal terhadap agregat

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

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

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

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

Keterangan :

m = VFWA (%),

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

b = persentase aspal terhadap campuran (%).

3.9.7 Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*Density*) adalah nilai berat volume yang mengindikasikan kepadatan dari suatu campuran beton aspal. Campuran dengan nilai kepadatan (*Density*) yang tinggi maka kerapatannya semakin baik sehingga mampu menahan beban yang lebih baik. Adapun faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan diantaranya adalah komposisi bahan penyusun, jumlah pemadatan, temperatur pemadatan dan kadar aspal. Nilai kepadatan diperoleh dari Persamaan 3.12 dan Persamaan 3.13.

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

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

Keterangan :

g = nilai kepadatan (*density*) (gr/cc),

c = berat benda uji sebelum direndam (gr),

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

e = berat dalam air (gr), dan

f = volume / isi (cm³).

3.10 Pengujian *Immersion Test*

Immersion Test merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengidentifikasi bagaimana campuran mengalami perubahan dalam karakteristiknya akibat pengaruh air, suhu, dan kondisi cuaca. Pada pengujian ini dilakukan dengan 2 kondisi yang berbeda yaitu dengan perendaman benda uji dalam *waterbath* pada suhu 60°C selama 0,5 jam (stabilitas standar) dan perendaman benda uji pada suhu 60° C selama 24 jam (stabilitas rendaman). *Index or Retained Strength* (IRS) merupakan istilah dari pengujian *Immersion Test*. IRS merupakan nilai stabilitas *Marshall* sisa untuk mengetahui daya tahan terhadap pengrusakan oleh air. Nilai *Index or Retained Strength* diperoleh dari Persamaan 3.14.

$$\text{Index or Retained strength} = \frac{S_2}{S_1} \quad (3.14)$$

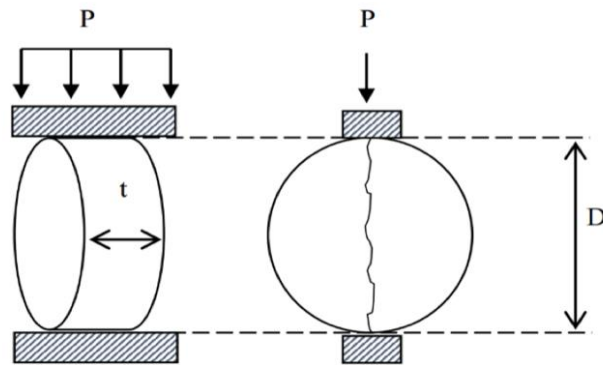
Keterangan :

S_1 = rerata nilai stabilitas setelah perendaman selama 0,5 jam (kg), dan

S_2 = rerata nilai stabilitas setelah perendaman selama 24 jam (kg).

3.11 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Indirect Tensile Strength Test adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Nilai *ITS* dalam penerapan di lapangan digunakan untuk memperkirakan keretakan akibat kegagalan gaya tarik. Pengujian ini dilakukan dengan cara membebani benda uji yang berbentuk silinder dengan sebuah beban (*dial*) diletakkan di atas benda uji yang bekerja sejajar dan sepanjang bidang vertikal. Dampak dari pembebanan menyebabkan benda uji akan mengalami kerusakan yaitu keretakan sepanjang diameter vertikal pada benda uji. Kerusakan ini menandai beban maksimum yang dapat ditahan oleh campuran yang mengindikasikan kuat tarik dari campuran. Ilustrasi pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS) dapat dilihat pada Gambar 3.3.



Gambar 3.4 Pengujian Tarik Tidak Langsung (*ITS*)

(Tajudin & Suparma, 2017)

Nilai ITS dapat diperoleh dari Persamaan 3.15 berikut ini.

$$ITS = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.15)$$

Keterangan :

ITS = kuat tarik tidak langsung (KPa),

P maks = beban puncak (kg),

t = tinggi sampel (cm), dan

d = diameter benda uji (cm),

3.12 Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Tensile Strength Ratio merupakan suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari suatu campuran aspal beton yang direndam dengan variasi durasi perendaman tertentu. TSR merupakan nilai perbandingan perendaman selama 0,5 jam (*ITS uncondition*) dan 24 jam (*ITS condition*) dinyatakan dalam persentase (%). Nilai TSR diperoleh dari Persamaan 3.16.

$$TSR = \frac{ITS_0}{ITS_n} \quad (3.16)$$

Keterangan :

TSR = *Tensile Strength Ratio* (KPa),

ITS₀ = kuat tarik tidak langsung awal (KPa), dan

ITS_n = kuat tarik tidak langsung dengan perendaman (KPa).

3.13 Pengujian *Cantabro*

Pengujian *Cantabro* adalah suatu pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan suatu benda uji terhadap keausan. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang telah dipadatkan, selanjutnya dimasukkan kedalam drum *Los Angeles* tanpa menggunakan bola besi kemudian diputar sebanyak 300 putaran. Nilai karakteristik *Cantabro Loss* dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.17.

$$L = \frac{M_0 - M_1}{M_0} \times 100 \quad (3.17)$$

Keterangan :

L = Persentase kehilangan berat (%),

M_0 = Berat sebelum diuji (gr), dan

M_1 = Berat setelah diuji (gr).

3.14 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal maksimum yang dapat tercampur secara merata dengan agregat tanpa terjadi pemisahan aspal. Nilai *AFD* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$AFD = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \quad (3.18)$$

Keterangan :

AFD = nilai *AFD* (%),

m_1 = berat wadah cetakan (gr),

m_2 = berat wadah dan campuran aspal sebelum dioven (gr), dan

m_3 = berat wadah dan campuran aspal sesudah dioven (gr).

3.15 Indeks Penetrasi (PI)

Bitumen memiliki sifat *thermo plastic* yaitu akan melunak bila temperatur meningkat dan mengeras bila temperatur menurun. Kecepatan perubahan konsistensi atau viskositas bitumen akibat perubahan suhu bervariasi untuk masing-masing jenis bitumen, tergantung pada sumber dan jenis bitumen serta metode pemrosesan yang digunakan. Kepekaan bitumen terhadap temperatur

apabila perubahan viskositas bitumen oleh setiap derajat kenaikan temperatur semakin besar. *Penetration Index (PI)* adalah metode yang dipakai untuk mengetahui kepekaan bitumen terhadap perubahan suhu temperatur. Nilai *PI* ditentukan oleh dua nilai penetrasi pada temperatur yang berbeda. *Pfieffer dan Van Doormal* mengembangkan parameter kepekaan bitumen dengan *Penetration Index (PI)* seperti pada persamaan 3.19 dan Persamaan 3.20.

$$PI = \frac{20(1-25A)}{1+50A} \quad (3.19)$$

Keterangan

A = slope (Kemiringan) garis hubung antara perubahan Penetrasi dalam skala Log dan perubahan temperatur yang terkait (dalam skala normal), dan

PI = Indeks Penetrasi

Rentang nilai *PI* berkisar dari -3 (kepekaan tinggi) hingga +7 (kepekaan rendah). Nilai *PI* dan *A* bisa diperoleh dari hasil pengukuran penetrasi bitumen pada dua suhu yang berbeda, yaitu T_1 dan T_2 , seperti pada Persamaan 3.20 berikut.

$$A = \frac{\text{Log Penetrasi pada } T_1 - \text{Log } 800}{T_1 - T_2} \quad (3.20)$$

Keterangan :

T_1 = temperatur kondisi 1 (Temperatur penetrasi = 25°C)

T_2 = temperatur kondisi 2 (Temperatur *Softening Point*)

3.16 *Stiffness Modulus*

Stiffness adalah karakteristik suatu material yang menggambarkan kemampuan renggang dalam kondisi tegangan tinggi dengan tidak terjadi regangan yang besar atau kemampuan mempertahankan terhadap deformasi. Material yang memiliki modulus elastisitas tinggi akan mengalami deformasi yang lebih kecil ketika diberi beban, jika dibandingkan dengan material yang memiliki modulus elastisitas lebih rendah. Dalam campuran perkerasan, terdapat dua jenis kekakuan, yaitu modulus kekakuan bitumen (*stiffness modulus of bitumen*) dan modulus kekakuan campuran (*stiffness modulus of mixture*).

1. *Stiffness Modulus of Bitumen (Sbit)*

Modulus kekakuan bitumen (*Sbit*) adalah sifat kekakuan yang dimiliki oleh bitumen atau bahan ikat yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, seperti lama pembebanan oleh roda kendaraan, suhu permukaan perkerasan, suhu titik lembek (*softening point*), dan indeks penetrasi (*penetration index*). Lama pembebanan dihitung berdasarkan kecepatan kendaraan dan panjang area kontak kendaraan dengan permukaan jalan sepanjang arah perjalanan kendaraan. Nilai *Sbit* dapat dihitung berdasarkan beberapa data, yaitu lama pembebanan (*loading time*), suhu permukaan perkerasan, titik lembek (*softening point*), dan indeks penetrasi (*penetration index*). Perhitungan nilai *Sbit* diperoleh dengan Persamaan 3.21 dan Persamaan 3.22 berikut.

a. Perhitungan lama pembebanan (*loading time*)

$$\frac{L}{v} = \frac{a}{b} \quad (3.21)$$

Keterangan:

$$\frac{L}{v} = \text{Lama pembebanan (s),}$$

a = Panjang tapak kontak roda dengan perkerasan (m), dan

b = Kecepatan kendaraan (m/s).

b. Perhitungan selisih temperatur

$$f = c - d \quad (3.22)$$

Keterangan:

f = Selisih temperatur (°C),

c = Titik lembek bitumen (°C), dan

d = Temperatur perkerasan indonesia (°C).

Besaran nilai modulus kekakuan bitumen (*Sbit*) dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.23 dan 3.24 oleh *Ullidtz* berikut ini.

$$Sbit = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-pir} \times (Spr - T)^5 \quad (3.23)$$

Rumus ini berlaku apabila:

$$Spr - T = 20^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C},$$

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

$$Pir = -1 \text{ s/d } +1.$$

Keterangan:

$$\begin{aligned}
 Plr &= \text{Recoverde penetration index asphalt} \\
 &= \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times SPr}{50 \log Pr - SPr - 120,4} \quad (3.24)
 \end{aligned}$$

T = Temperatur aspal,

Pr = *Recovered Penetration* pada suhu 25°C,
 $= 0,65 \times Pi$

Pi = Penetrasi awal, dan

t = Lama pembebanan.

2. *Stiffness Modulus of Mixture (Smix)*

Modulus kekakuan campuran (*Smix*) adalah tingkat kekakuan campuran perkerasan yang dapat mendukung beban dari roda kendaraan, yang dipengaruhi oleh beberapa faktor, yaitu modulus kekakuan bitumen, konsentrasi volume agregat padat (Cv), konsentrasi volume bitumen (Cb), dan konsentrasi rongga dalam campuran agregat dan bitumen. Dalam menghitung modulus kekakuan campuran (*Smix*) digunakan persamaan *Ullidtz*, dapat dilihat pada Persamaan 3.25 dan 3.26 berikut ini.

$$Smix = Sbit \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)} \right)^5 \quad (3.25)$$

Dengan :

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^2}{Sbit} \right)^5 \quad (3.26)$$

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Metode penelitian yang digunakan pada penelitian ini adalah metode eksperimental, yaitu metode yang dilakukan dengan melaksanakan serangkaian kegiatan percobaan untuk mendapatkan data. Menurut Zulnaidi (2007) metode eksperimental adalah suatu prosedur penelitian yang digunakan untuk mengidentifikasi hubungan sebab-akibat antara dua variabel atau lebih. Dalam penelitian ini, dilakukan pembuatan sejumlah sampel benda uji yang mengandung variabel tertentu, yang selanjutnya diuji menggunakan beberapa parameter untuk mengumpulkan data. Data yang didapat selanjutnya diolah guna mendapatkan hasil perbandingan dengan syarat-syarat yang ada.

4.2 Metode Pengambilan Data

Metode pengambilan data dalam penelitian dapat dilakukan dengan berbagai cara tergantung jenis data yang diperlukan. Dalam penelitian ini, data yang digunakan adalah data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang diperoleh langsung di lokasi penelitian dari suatu pengujian, sedangkan data sekunder adalah data yang diperoleh dari sumber-sumber lain yang diantaranya adalah hasil dari penelitian yang telah dilakukan. Adapun langkah kerja dalam pengambilan data adalah sebagai berikut.

1. Persiapan dan pemeriksaan material
2. Menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)
3. Melakukan pengujian *Marshall*
4. Melakukan Pengujian *Immersion*
5. Melakukan Pengujian *Indirect Tensile Strength*
6. Melakukan Pengujian *Tensile Strength Ratio*
7. Melakukan Pengujian *Contabro Loss*
8. Melakukan Pengujian *Asphalt Flow Down*

4.3 Tahapan Penelitian

Penelitian dilaksanakan di Lab Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia (UII), Yogyakarta. Adapun tahapan-tahapan pada penelitian ini diantaranya yaitu persiapan alat, persiapan dan pengujian material, pembuatan benda uji, menentukan nilai kadar aspal optimum, dan pemeriksaan benda uji dengan dan tanpa bahan tambah serbuk ban berupa pengujian *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, *Tensile Strength Ratio*, *Contabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Spesifikasi penelitian yang diterapkan merujuk pada standar dari AASHTO, ASTM, Standar Nasional Indonesia, dan spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga..

4.3.1 Peralatan Penelitian

Semua peralatan yang digunakan dalam penelitian ini tersedia di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Yogyakarta (UII) di Yogyakarta. Berikut adalah peralatan yang digunakan meliputi:

1. Peralatan untuk pemeriksaan fisik material agregat, seperti mesin *Los Angeles*, saringan standar, dan *Sand Equivalent*.
2. Peralatan pengujian sifat fisik aspal, seperti alat ukur penetrasi aspal, daktilitas, titik lembek, titik nyala, titik bakar aspal.dan kelarutan aspal.
3. Peralatan uji *Marshall* yaitu seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall*. Alat uji terdiri dari Proving Ring berkapasitas 2500 kg (5000 *Pound*) dengan ketelitian 12,5 kg (25 *pound*) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”), kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*), arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”), arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”). disamping itu, terdapat alat tambahan yang meliputi penumbuk (*compactor*) berbobot 10 pound (setara dengan 4,536 kg) dengan ketinggian jatuh sejauh 18 inch (sekitar 45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) yang berdiameter 10 cm (4”) dan tinggi 7,5 cm (3”), lengkap dengan pelat atas dan

leher sambung, dan bak perendam (*waterbath*) dilengkapi dengan pengatur suhu.

4. Peralatan uji Immersion mencakup alat tekan yang terdiri dari Proving Ring berkapasitas 2500 kg (5000 Pound) dengan tingkat akurasi 12,5 kg (25 pound), serta jam pengukur stabilitas dan jam pengukur kelelahan (*flow*) dengan tingkat ketelitian sebesar 0,25 mm. alat tersebut juga memiliki penumbuk (*compactor*) berbobot 10 pound (setara dengan 4,536 kg) dengan ketinggian jatuh sejauh 18 inch (sekitar 45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3"), lengkap dengan pelat atas dan leher sambung, spatula dan bak perendam (*waterbath*).
5. Alat uji *Indirect Tensile Strength Test* yang terdiri dari alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5", arloji pengukur stabilitas dan kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm dan dilengkapi dengan alat penunjang seperti penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3"), lengkap dengan pelat atas dan leher sambung, spatula dan bak perendam (*waterbath*).
6. Seperangkat mesin *Los Angeles* untuk pengujian *Cantabro Loss*, terdiri dari silinder baja tertutup pada kedua sisinya dengan diameter 71 cm dan panjang dalam 50 cm. Di bagian dalam silinder terdapat bilah baja melintang penuh dengan tinggi 8,9 cm. Silinder berlubang berbentuk persegi untuk memasukkan benda uji dan dilengkapi dengan penutup lubang terpasang rapat sehingga permukaan dalam silinder tidak terganggu.
7. Peralatan penunjang lainnya seperti wajan, kompor, spatula, panci, gelas ukur, kain lap, sarung tangan, bak plastik, termometer, jangka sorong dan lain-lain.

4.3.2 Persiapan dan Pemeriksaan Material

Pengujian material dilakukan untuk menentukan apakah material tersebut memenuhi persyaratan sesuai dengan standar yang berlaku. Pengujian material ini mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina

Marga tahun 2018. Adapun beberapa pengujian yang dilakukan dalam pemeriksaan material adalah sebagai berikut.

1. Pemeriksaan Sifat Fisik Agregat

Agregat adalah salah satu komponen lapis perkerasan jalan raya, karena dapat menentukan daya dukung, mutu, kualitas dan keawetan suatu perkerasan. Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan pada agregat :

a. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar dan Halus

Pengujian ini mengacu pada SNI 1969 : 2008 (agregat kasar) dan SNI 1970 : 2008 (agregat halus). Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk menentukan berat jenis, berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry*) dan berat jenis semu serta penyerapan air oleh agregat.

b. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian ini merujuk pada SNI 06-2439-1991. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui kelekatan agregat oleh aspal.

c. Keausan Agregat

Pengujian ini merujuk pada SNI-2417:2008. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Pengujian ini menggunakan mesin *Los Angeles*.

d. *Sand Equivalent*

Pemeriksaan ini mengacu pada SNI 03-4428-1997. Tujuan dari pemeriksaan ini adalah untuk mengetahui kadar debu atau lumpur atau kadar lempung pada tanah atau agregat halus.

2. Pemeriksaan Sifat Fisik Aspal

Berikut adalah beberapa pengujian yang dilakukan untuk menilai kualitas aspal.

a. Berat Jenis Aspal

Pengujian berat jenis pada aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu. Maksud pengujian ini untuk mencari berat jenis campuran aspal dan agregat

dan berguna untuk menentukan *VITM*, *VFWA* dan mempengaruhi stabilitas pada pengujian *Marshall*. Pengujian ini mengacu pada SNI 06-2441-1991.

b. Penetrasi Aspal

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi aspal dengan memasukkan jarum ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu ke dalam aspal pada suhu tertentu. Pengujian penetrasi aspal mengacu pada SNI 06-2456-1991.

c. Daktilitas

Pengujian ini dimaksudkan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum mengalami putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pengujian daktilitas mengacu pada SNI 06-2432-1991.

d. Titik Lembek Aspal

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan temperatur aspal dimana aspal mengalami batas perpindahan antara bentuk padat ke bentuk cair. Pengujian titik lembek aspal mengacu pada SNI 06-2434-1991.

e. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam karbon tetra klorida. Pengujian kelarutan dalam karbon tetra klorida merujuk pada SNI 06-2438-2015.

f. Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan suhu pada saat terjadi nyala singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Sedangkan titik bakar bertujuan untuk menentukan suhu pada saat aspal terlihat terbakar singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal mengacu pada SNI 06-2433-1991.

Pemeriksaan material dalam penelitian ini dapat dilihat pada **Tabel 4.1** berikut ini.

Tabel 4.1 Pemeriksaan Material

Parameter Uji	Jumlah Benda Uji	Metode Pengujian	Spesifikasi
Agregat Kasar			
Berat Jenis	2	SNI 1969 : 2008	$\geq 2,5$
Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2	SNI 1969 : 2008	≤ 3
Kelekatan Agregat oleh Aspal (%)	2	SNI 06-2439-1991	≥ 95
Keausan Agregat (%)	2	SNI-2417 : 2008	≤ 40
Agregat Halus			
Berat Jenis	2	SNI 1970 : 2008	$\geq 2,5$
Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	2	SNI 1970 : 2008	≤ 3
<i>Sand Equivalent</i> (%)	2	SNI 03-4428-1997	≥ 50
Aspal			
Berat Jenis Aspal	2	SNI 06-2441-1991	≥ 1
Penetrasi Aspal (0,1 mm)	2	SNI 06-2456-1991	60-70
Daktilitas (cm)	2	SNI 06-2432-1991	≥ 100
Titik Lembek Aspal ($^{\circ}\text{C}$)	2	SNI 06-2434-1991	≥ 48
Kelarutan dlm Karbon Tetra Klorida (%)	2	SNI 06-2438-1991	≥ 99
Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal ($^{\circ}\text{C}$)	2	SNI 06-2433-1991	≥ 232

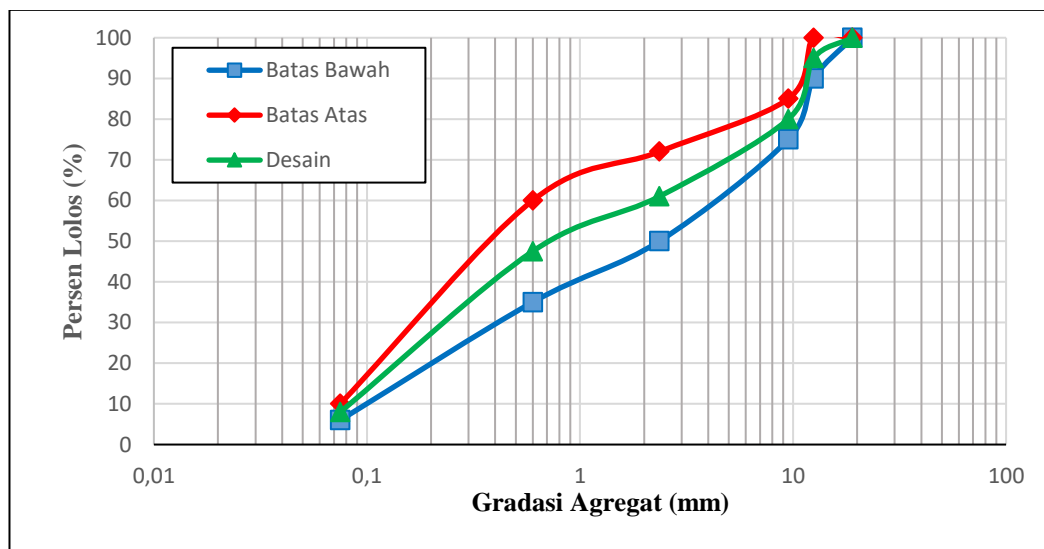
4.3.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Pada penelitian ini perencanaan campuran berpedoman pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Agregat dan aspal yang digunakan dalam penelitian ini terlebih dahulu diuji sebelum digunakan sebagai campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)*. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi karakteristik bahan tersebut guna memastikan apakah sesuai dengan persyaratan yang telah ditetapkan, sehingga dapat digunakan dalam pembuatan campuran aspal yang berkualitas. Setelah melalui pengujian sifat fisik, langkah selanjutnya adalah menyaring agregat dengan gradasi yang telah direncanakan. Gradasi rencana untuk campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)* dapat dilihat pada **Tabel 4.2** berikut ini.

Tabel 4.2 Gradasi Rencana untuk Campuran *HRS-WC*

No	Ukuran Saringan		Spesifikasi (%)		Gradasi Rencana (%)
	ASTM	(mm)	Min	Maks	Lolos
1	3/4"	19	100	100	100
2	1/2"	12,5	90	100	95
3	3/8"	9,5	75	85	80
4	No. 8	2,36	50	72	61
5	No. 30	0,600	35	60	48
6	No. 200	0,0 75	6	10	8

Grafik gradasi rencana yang digunakan dalam campuran *HRS-WC* dapat dilihat pada Gambar 4.1.

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

Setelah perencanaan gradasi agregat, maka selanjutnya menghitung kadar aspal perkiraan (Pb). Dalam mencari nilai kadar aspal perkiraan dapat diketahui dengan menggunakan Persamaan 4.1.

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

Keterangan :

Pb = Kadar aspal perkiraan,

CA = Agregat kasar (*Coarse Aggregate*),

FA = Agregat halus (*Fine Aggregate*),

Filler = Agregat halus lolos saringan No. 200, dan

Konstanta = 2 sampai 3 untuk campuran laston.

$$\begin{aligned} Pb &= 0,035 (\% CA) + 0,045 (\% FA) + 0,18 (\% Filler) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (39) + 0,045 (53) + 0,18 (8) + 2 \\ &= 7,19 \sim 7\%. \end{aligned}$$

4.3.4 Tahapan Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *HRS-WC* dilakukan dengan merujuk kepada hasil pengujian semua parameter sesuai dengan *Marshall Standard*. Setiap hasil pengujian parameter *Marshall Standard* harus memenuhi spesifikasi yang telah ditetapkan oleh Bina Marga tahun 2018. Adapun tahapan dalam menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) adalah sebagai berikut.

1. Perancangan Komposisi Campuran

Dari hasil perhitungan kadar aspal perkiraan diperoleh nilai Pb sebesar 7%. Kemudian untuk menentukan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *HRS-WC* dibuat dua variasi kadar aspal dibawah dan dua variasi kadar aspal diatas dari nilai kadar aspal perkiraan dengan interval 0,5%. Sehingga dibuat lima variasi kadar aspal yaitu 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8% terhadap berat total campuran. Berat total campuran adalah 1200 gram Adapun kebutuhan komposisi campuran pada setiap kadar aspal dapat dilihat pada **Tabel 4.3** sampai dengan **Tabel 4.7**. Sedangkan jumlah benda uji untuk pengujian penentuan nilai KAO dapat dilihat pada **Tabel 4.8**.

Tabel 4.3 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 6%

Saringan		Berat (gram)		Persentase (%)		Spesifikasi (%)	
ASTM	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Maks
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	56,40	56,40	5	95	90	100
3/8"	9,5	169,20	225,60	15	80	75	85
No. 8	2,36	214,32	439,92	19	61	50	72
No. 30	0,600	152,28	592,20	13,5	47,5	35	60
No. 200	0,075	445,56	1037,76	39,5	8	6	10
Pan	-	90,24	1128	8	-	-	-
Jumlah		1128	-	100	-	-	-
Berat Aspal		72		-	-	-	-
Berat Total		1200		-	-	-	-

Tabel 4.4 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 6,5%

Saringan		Berat (gram)		Persentase (%)		Spesifikasi (%)	
ASTM	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Maks
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	56,10	56,10	5	95	90	100
3/8"	9,5	163,30	224,40	15	80	75	85
No. 8	2,36	213,18	437,58	19	61	50	72
No. 30	0,600	151,47	589,05	13,5	47,5	35	60
No. 200	0,075	443,19	1032,24	39,5	8	6	10
Pan	-	89,76	1122	8	-	-	-
Jumlah		1122	-	100	-	-	-
Berat Aspal		78		-	-	-	-
Berat Total		1200		-	-	-	-

Tabel 4.5 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 7%

Saringan		Berat (gram)		Persentase (%)		Spesifikasi (%)	
ASTM	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Maks
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	55,80	55,80	5	95	90	100
3/8"	9,5	167,40	223,20	15	80	75	85
No. 8	2,36	212,04	435,24	19	61	50	72
No. 30	0,600	150,66	585,90	13,5	47,5	35	60
No. 200	0,075	440,82	1026,72	39,5	8	6	10
Pan	-	89,28	1116	8	-	-	-
Jumlah		1116	-	100	-	-	-
Berat Aspal		84		-	-	-	-
Berat Total		1200		-	-	-	-

Tabel 4.6 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 7,5%

Saringan		Berat (gram)		Persentase (%)		Spesifikasi (%)	
ASTM	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Maks
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	55,50	55,50	5	95	90	100
3/8"	9,5	166,50	222	15	80	75	85
No. 8	2,36	210,90	432,90	19	61	50	72
No. 30	0,600	149,85	582,75	13,5	47,5	35	60
No. 200	0,075	438,45	1021,20	39,5	8	6	10
Pan	-	88,80	1110	8	-	-	-
Jumlah		1110	-	100	-	-	-
Berat Aspal		90		-	-	-	-
Berat Total		1200		-	-	-	-

Tabel 4.7 Komposisi Agregat pada Kadar Aspal 8%

Saringan		Berat (gram)		Persentase (%)		Spesifikasi (%)	
ASTM	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Maks
3/4"	19	0	0	0	100	100	100
1/2"	12,5	55,20	55,20	5	95	90	100
3/8"	9,5	165,60	220,80	15	80	75	85
No. 8	2,36	209,76	430,56	19	61	50	72
No. 30	0,600	149,04	579,60	13,5	47,5	35	60
No. 200	0,075	436,08	1015,68	39,5	8	6	10
Pan	-	88,32	1104	8	-	-	-
Jumlah		1104	-	100	-	-	-
Berat Aspal		96		-	-	-	-
Berat Total		1200		-	-	-	-

Tabel 4.8 Kebutuhan Benda Uji Mencari Nilai KAO

Pengujian	Kadar Aspal (%)					Total Benda Uji
	6,0	6,5	7,0	7,5	8,0	
<i>Marshall Test</i>	3	3	3	3	3	15 Buah

2. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji dimulai dengan melakukan penyaringan dan penimbangan agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditetapkan pada Tabel 4.3 hingga Tabel 4.7. Agregat dan Aspal yang telah disiapkan kemudian dipanaskan pada wadah yang berbeda hingga mencapai suhu $\pm 165^{\circ}$ C untuk agregat dan $\pm 150^{\circ}$ C untuk aspal. Selanjutnya agregat dan aspal dicampur dalam satu wadah pada suhu pencampuran 155° C, lalu diaduk sampai campuran tersebut merata. Kemudian campuran dimasukkan ke dalam cetakan (mold) dan didiamkan sampai mencapai suhu pemadatan yaitu 145° C. Sebelum dipadatkan terlebih dahulu campuran ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengahnya.

Selanjutnya dilakukan pemadatan untuk kedua sisi atas dan bawah dengan jumlah tumbukan sesuai persyaratan. Setelah dipadatkan pada kedua sisi (atas dan bawah), benda uji dikeluarkan dari cetakan (mold) dengan menggunakan alat pengeluar sampel (*ejector*) lalu didinginkan pada temperatur ruang.

3. Pengukuran dan Penimbangan Benda Uji

Benda uji yang telah dibuat dengan bentuk silinder diukur diameternya dan tingginya dengan alat jangka sorong dengan ketelitian sampai dengan 2 desimal. Setelah diukur, benda uji ditimbang dalam kondisi kering dan selanjutnya direndam di dalam bak perendam yang berisi air biasa pada temperatur ruang selama ± 24 jam. Perendaman dengan waktu 24 jam biasanya telah cukup untuk seluruh udara dalam campuran terisi oleh air.

Penimbangan benda uji dilakukan dalam 3 kondisi yaitu: berat dalam keadaan kering (sebelum direndam), berat di dalam air (setelah direndam di dalam bak perendam selama ± 24 jam) dan berat kering permukaan jenuh atau SSD (setelah dikeringkan dengan kain lap). Masing-masing berat dari ketiga kondisi tersebut akan digunakan untuk perhitungan parameter *Marshall* seperti Rongga dalam campuran (*VITM*), Rongga dalam agregat (*VMA*), Kepadatan (Density) dan Rongga terisi aspal (*VFWA*).

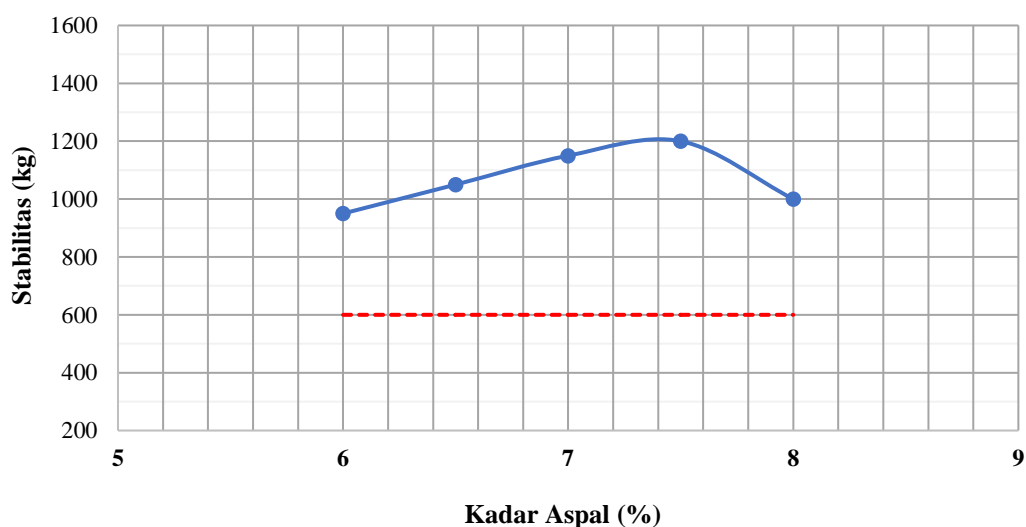
4. Pengujian Benda Uji

Pengujian dilakukan dengan menggunakan alat tekan *Marshall*. Benda uji terlebih dahulu direndam dalam *waterbath* selama 30 menit dengan suhu 60° C. Setelah itu benda uji diletakkan pada *collar* kemudian dipasang pada alat *Marshall* untuk dilakukan pengujian. Alat pengukur deformasi (*dial flow*) dipasang dan diset pada angka nol. Pada saat proses penekanan atau pembebanan pada benda uji akan mengalami pemendekan atau deformasi yang terukur pada alat pengukur deformasi (*dial flow*). Nilai pada dial beban akan terus naik seiring dengan benda uji mengalami pemendekan selama penekanan. Pembebanan dilakukan sampai dial beban menunjukkan nilai maksimum, bersamaan dengan kondisi tersebut nilai deformasi dicatat dan pengujian dihentikan. Nilai beban maksimum yang didapat dari hasil pengujian digunakan untuk menghitung nilai stabilitas. Sedangkan nilai deformasi pada

beban maksimum disebut sebagai nilai *flow* dalam satuan 0,1 mm. Nilai stabilitas dihitung dengan mengkonversi beban maksimum dengan angka konversi (kalibrasi proving ring dan koreksi tinggi benda uji) dalam satuan kg. Selanjutnya seluruh parameter Marshall yang diperoleh dari pengukuran, penimbangan dan pengujian benda uji berupa *VITM*, *VMA*, *Density*, *VFWA*, stabilitas dan *flow*, diplot pada gambar yang menunjukkan hubungan antara masing-masing parameter dengan kadar aspal.

5. Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)

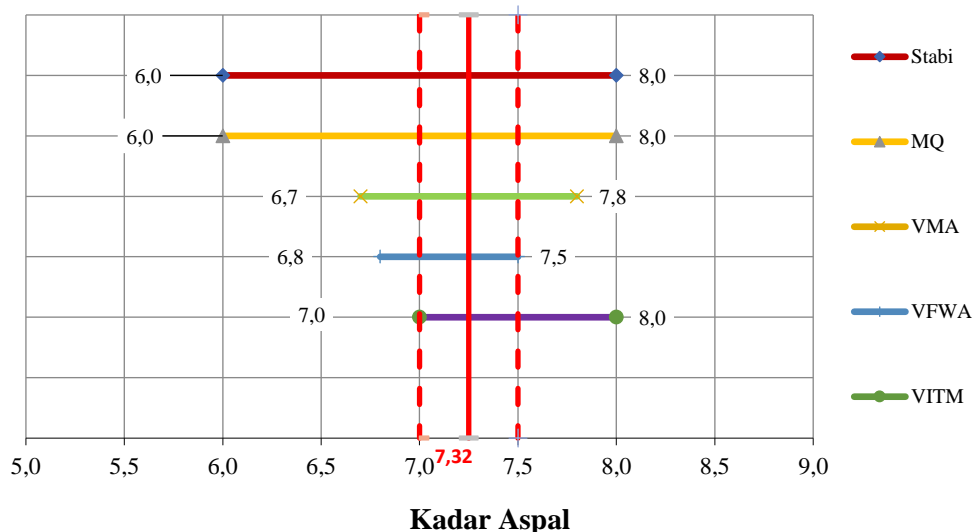
Penentuan nilai kadar aspal optimum dimaksudkan agar mendapat nilai kadar aspal paling efektif. Nilai kadar aspal optimum untuk campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* ditentukan berdasarkan Spesifikasi Bina Marga tahun 2018 yang dapat dilihat pada **Tabel 3.1**. Hasil pengujian *Marshall Standard* pada setiap parameter diplotkan kedalam grafik seperti contoh pada **Gambar 4.2** berikut.



Gambar 4.2 Grafik Nilai Stabilitas

Nilai stabilitas minimum yang dipersyaratkan sebesar 600 kg, maka dari gambar hubungan nilai stabilitas dan kadar aspal dapat diplot garis batas sebesar 600 kg, sehingga akan diperoleh batas-batas kadar aspal yang memenuhi syarat. Selanjutnya, seluruh nilai kadar aspal yang memenuhi persyaratan untuk masing-masing parameter diplot kedalam gambar untuk mengetahui nilai kadar aspal yang

terkecil dan terbesar, seperti contoh pada **Gambar 4.3**. Kadar Aspal Optimum (KAO) pada campuran *HRS-WC* ditentukan dengan mengambil nilai tengah antara kadar aspal minimum dan kadar aspal maksimum yang memenuhi persyaratan..



Gambar 4.3 Grafik Penentuan Nilai Kadar Aspal Optimum

4.3.5 Pengujian pada Kondisi KAO

Setelah mendapatkan nilai kadar aspal optimum, langkah berikutnya adalah melakukan serangkaian pengujian, termasuk *Marshall Test*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Benda uji yang dibuat ditambahkan bahan tambah ban karet dengan 4 variasi kadar yang berbeda yaitu sebesar 0%, 2%, 4%, dan 6%. Dalam proses pencampuran sampel benda uji, digunakan dua metode pencampuran, yakni metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Setiap sampel benda uji memiliki berat campuran sebesar 1200 gram. Variasi dan komposisi campuran dengan serbuk ban bekas dapat dilihat pada **Tabel 4.9**. Adapun Jumlah benda uji dalam setiap pengujian pada KAO dapat dilihat pada **Tabel 4.10** dan **Tabel 4.11**.

Tabel 4.9 Variasi dan Komposisi Campuran HRS-WC dengan Bahan Tambah

No	Variasi Campuran	Komposisi Campuran
1	Aspal – SB0	Campuran aspal tanpa serbuk ban karet 0%
2	Aspal – SB2	Campuran aspal dengan serbuk ban karet sebesar 2%
3	Aspal – SB4	Campuran aspal serbuk ban karet sebesar 4%
4	Aspal – SB6	Campuran aspal dengan serbuk ban karet sebesar 6%

Tabel 4.10 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian dengan Metode Konvensional

Kadar Serbuk Karet (%)	Metode Pencampuran Konvensional					
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>	<i>ITS</i>	<i>TSR</i>	<i>Cantabro</i>	<i>AFD</i>
0	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
Jumlah	12	12	12	12	12	12
Total Jumlah	72 buah					

Tabel 4.11 Jumlah Benda Uji Setiap Pengujian dengan Metode Bertahap

Kadar Serbuk Karet (%)	Metode Pencampuran Bertahap					
	<i>Marshall</i>	<i>IRS</i>	<i>ITS</i>	<i>TSR</i>	<i>Cantabro</i>	<i>AFD</i>
0	3	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
Jumlah	12	12	12	12	12	12
Total Jumlah	72 buah					

Jumlah benda uji yang dibutuhkan dalam mencari nilai KAO adalah sebanyak 15 buah. Sedangkan jumlah benda uji pada kondisi KAO adalah sebanyak 144 buah. Jumlah total keseluruhan benda uji yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebanyak 159 buah benda uji.

4.3.6 Metode Pencampuran pada Kondisi KAO

Penelitian ini menggunakan dua metode pencampuran yakni metode pencampuran konvensional dan bertahap. Pada metode pencampuran bertahap dilaksanakan setelah memperoleh nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Tujuan dari metode ini adalah menciptakan ikatan yang sangat kuat antara aspal dan agregat kasar, dan pengikatan yang optimal ini mampu mengatasi masalah kelembaban pada agregat kasar. Berikut langkah-langkah dalam pembuatan benda uji dengan metode konvensional dan metode bertahap.

a. Pembuatan benda uji dengan metode konvensional

Berikut langkah-langkah dalam pembuatan benda uji dengan metode pencampuran konvensional:

1. Pembuatan benda uji dimulai dengan melakukan penyaringan dan penimbangan agregat sesuai dengan komposisi campuran yang telah ditetapkan.
2. Agregat yang telah disiapkan kemudian dipanaskan hingga mencapai suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.
3. Aspal dan serbuk ban karet yang dicampur dan dipanaskan pada suhu 198°C . Suhu pencampuran aspal dan serbuk ban karet yang digunakan berdasarkan penelitian yang telah dilakukan oleh Hidayat (2021).
4. Agregat dan aspal dicampur dalam satu wadah, lalu diaduk sampai campuran menjadi homogen.
5. Campuran dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) dan didiamkan sampai mencapai suhu pemadatan yaitu 184°C . Sebelum dipadatkan terlebih dahulu campuran ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengahnya.
6. Lakukan pemadatan untuk kedua sisi atas dan bawah dengan jumlah tumbukan sesuai persyaratan.
7. Setelah dipadatkan, benda uji dikeluarkan dari cetakan (*mold*) dengan menggunakan alat pengeluar sampel (*ejector*) lalu didinginkan pada temperatur ruang.

a. Pembuatan benda uji dengan metode bertahap

Berikut langkah-langkah dalam pembuatan benda uji dengan metode pencampuran bertahap:

1. Agregat kasar dipisahkan dari agregat halus dan *filler* dalam wadah yang terpisah, kemudian ketiga bahan tersebut dipanaskan hingga mencapai suhu $\pm 165^{\circ}\text{C}$.
2. Aspal dan serbuk ban karet yang dicampur dan dipanaskan pada suhu 198°C . Suhu pencampuran aspal dan serbuk ban karet yang digunakan berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021).
3. Agregat kasar terlebih dahulu dicampur dengan aspal. Kedua bahan tersebut dicampur hingga aspal merata menutupi seluruh permukaan agregat kasar
4. Tambahkan *filler* yang telah dipanaskan kedalam campuran, kemudian diaduk merata.
5. Agregat halus ditambahkan ke dalam campuran yang telah dipanaskan di wadah yang terpisah, lalu dicampur hingga merata.
5. Campuran dimasukkan ke dalam cetakan (*mold*) dan didiamkan sampai mencapai suhu pemadatan yaitu 184°C . Sebelum dipadatkan terlebih dahulu campuran ditusuk-tusuk dengan spatula sebanyak 15 kali pada bagian tepi dan 10 kali pada bagian tengahnya.
6. Selanjutnya dilakukan pemadatan untuk kedua sisi atas dan bawah dengan jumlah tumbukan sesuai persyaratan.
7. Setelah dipadatkan, benda uji dikeluarkan dari cetakan (*mold*) dengan menggunakan alat pengeluar sampel (*ejector*) lalu didinginkan pada temperatur ruang.

4.3.7 Pengujian Marshall Test

Pengujian *Marshall* bertujuan untuk mengukur nilai-nilai seperti stabilitas, kelelehan (*flow*), *Void In Total Mix* (VITM), *Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void in Mineral Aggregate* (VMA), kepadatan (*density*), dan *Marshall Quotient* (MQ). Berikut adalah langkah-langkah pengujian Marshall Test:

1. Membersihkan benda uji dari kotoran yang menempel

2. Mengukur tinggi benda uji sebanyak tiga kali pada posisi yg berbeda, sampai mendapatkan angka yang mendekati angka rata-rata.
3. Menimbang dan mencatat berat benda uji sehingga mendapatkan berat benda uji kering sebelum direndam
4. Benda uji direndam dalam air selama 20-24 jam pada suhu ruangan agar benda uji mencapai keadaan jenuh air.
5. Benda uji ditimbang dalam air untuk mengukur nilai berat isi.
6. Benda uji diangkat dari rendaman dan permukaannya dikeringkan dengan menggunakan kain lap yang lembab hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh (SSD), lalu benda uji ditimbang untuk mendapatkan berat jenuh.
7. Benda uji dimasukkan ke dalam bak perendam (*waterbath*) dan diendapkan selama 30 menit pada suhu air sekitar $60 \pm 1^\circ\text{C}$.
8. Sebelum memulai pengujian, bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan bagian dalam kepala penekan (*Test Head*). Lumasi batang penuntun untuk memastikan kepala penekan bagian atas dapat bergerak dengan lancar. Jika diperlukan, kepala penekan dapat direndam bersama benda uji dalam rentang suhu antara 21°C hingga 38°C .
9. Benda uji diangkat dari bak perendam (*waterbath*) dan kemudian arloji kelelahan (*Flow meter*) dipasang di atas salah satu batang penuntun (*guide rod*).
10. Angkat kepala penekan (*Test Head*) benda uji hingga bersentuhan dengan alas cincin pengujian, lalu sesuaikan jarum posisi arloji tekan pada angka nol.
11. Pembebanan dimulai dengan tingkat kecepatan yang konstan sekitar 50 mm/menit, hingga mencapai tingkat pembebanan maksimum. Ketika arloji pembebanan berhenti, maka nilai kelelehannya (*flow*) pada arloji dibaca.
12. Setelah proses pembebanan selesai, benda uji diangkat keluar dari alat pengujian.
13. Prosedur pengujian seperti yang telah dijelaskan di atas diulang untuk setiap benda uji tambahan yang dibuat sesuai dengan yang telah direncanakan dalam penelitian.

4.3.8 Pengujian *Immersion*

Pengujian *Immersion* dapat dilakukan dengan langkah-langkah berikut.

1. Membuat benda uji berdasarkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah diperoleh dari pengujian *Marshall*.
2. Mengukur tinggi benda uji sebanyak tiga kali di tiga posisi yang berbeda, lalu mencatat angka-angka tersebut untuk mendapatkan tinggi rata-rata. Selanjutnya, menimbang benda uji dan mencatat beratnya sehingga diperoleh berat benda uji sebelum direndam.
3. Merendam benda uji dalam air selama 20 hingga 24 jam pada suhu ruangan untuk mencapai kejenuhan. Kemudian menimbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat isi.
4. Mengeluarkan benda uji dari rendaman dan mengeringkan permukaannya hingga mencapai kondisi kering permukaan jenuh (SSD). Setelah itu, menimbang benda uji untuk mendapatkan berat jenuh.
5. Benda uji dimasukkan ke dalam *waterbath* selama 24 jam.
6. Menyiapkan kepala penekan (*test head*) dan memberi pelumas berupa minyak. Selanjutnya memeriksa mesin penekan *Marshall* beserta perlengkapannya, menyetel dial stabilitas pada angka nol.
7. Mengambil benda uji yang telah direndam dalam *waterbath* dan memindahkannya ke *test head*. Memasang *dial* kelelahan (*flow*) pada posisinya, lalu menghidupkan mesin pembebanan. Selama proses pembebanan, memantau *dial* stabilitas dan dial aliran, dan membaca angka pada dial aliran ketika *dial* stabilitas mencapai angka maksimum.
8. Mencatat pembacaan pada *dial* stabilitas dan *dial* kelelahan.
9. Mengulangi langkah-langkah di atas untuk setiap benda uji tambahan yang telah dibuat dalam penelitian.

4.3.9 Pengujian *Indirect Tensile Strength*

Pengujian *Indirect Tensile Strength* dapat dilakukan dengan mengikuti langkah-langkah berikut.

1. Benda uji dibuat dengan mengacu pada nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) yang telah diperoleh dari pengujian *Marshall*.

2. Menempatkan benda uji pada perangkat pengujian *Indirect Tensile Strength* untuk memulai proses pengujian.
3. Melakukan pengamatan terhadap bacaan pada *dial* dan mencatat hasilnya.
4. Prosedur yang sama diulang untuk bahan uji lainnya sebanyak benda uji yang telah diproduksi dalam penelitian.

4.3.10 Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Pengujian *Tensile Strength Ratio* dapat dilakukan dengan prosedur berikut ini.

1. Membuat sampel uji berdasarkan nilai KAO yang telah diperoleh dari pengujian *Marshall*.
2. Benda uji untuk pengujian TSR terlebih dahulu direndam ke dalam *waterbath* dengan suhu $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Setelah proses perendaman, benda uji kemudian dibiarkan dalam suhu ruang (25°C) selama 24 jam.
3. Menempatkan sampel uji pada perangkat pengujian *Indirect Tensile Strength* untuk melakukan pengujian.
4. Melakukan pengamatan terhadap penunjukan pada *dial* dan mencatat hasilnya.
5. Melakukan langkah-langkah yang sama seperti yang telah dijelaskan di atas untuk setiap sampel uji tambahan sesuai dengan jumlah sampel yang dibuat dalam penelitian.

4.3.11 Pengujian *Contabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* dapat dilakukan dengan prosedur berikut.

1. Menimbang berat awal benda uji sebelum proses abrasi dilakukan.
2. Masukkan benda uji kedalam tabung mesin *Los Angeles*.
3. Benda uji diputar dalam drum mesin *Los Angeles* sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola baja.
4. Benda uji diambil dari drum mesin *Los Angeles*, lalu ditimbang, dan dianalisis untuk diketahui berat yang hilang.

4.3.12 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* dapat dilakukan dengan cara langkah-langkah berikut.

1. Nampan sebagai cetakan benda uji berukuran 20 x 40 cm dilapisi dengan *aluminium foil*, kemudian ditimbang dan berat cetakan tersebut dicatat sebagai (m1).
2. Membuat sampel uji yang terdiri dari campuran aspal, setelah campuran tersebut merata, tuangkan ke dalam cetakan yang telah dilapisi *aluminium foil*. Kemudian, permukaannya diratakan dan beratnya ditimbang sebagai m2.
3. Benda uji bersama dengan cetakannya ditempatkan dalam oven pada suhu sekitar 160°C selama 60 menit.
4. Benda uji dan cetakannya dikeluarkan dari oven dan dengan cepat dituangkan. Kemudian, berat cetakan bersama sampel uji yang menempel pada *aluminium foil* ditimbang dan catat beratnya sebagai m3.
5. Ulangi seluruh prosedur sesuai kebutuhan benda uji.

4.4 Analisa Data

Analisa data yang akan dilakukan setelah melakukan pengujian di laboratorium adalah sebagai berikut.

1. Karakteristik *Marshall*

Hasil pengujian *Marshall* menghasilkan sejumlah data, sebagai berikut.

- a. Berat kering benda uji (gr),
- b. Berat benda uji dalam air (gr),
- c. Berat benda uji kering muka (gr),
- d. Tinggi benda uji (mm),
- e. Angka pembacaan arloji stabilitas (kg), dan
- f. Angka pembacaan arloji kelelahan (mm).

Nilai-nilai karakteristik dari *Marshall* dihitung dengan menggunakan persamaan-persamaan berikut ini.

- a. Berat jenis aspal

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

Keterangan :

A = Berat pikno dan penutup (gr),

B = Berat pikno terisi air (gr),

C = Berat pikno terisi aspal (gr), dan

D = Berat pikno terisi aspal dan air (gr).

b. Berat jenis agregat

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

Keterangan :

A = Persentase agregat kasar,

B = Persentase agregat halus,

$F1$ = Berat jenis agregat kasar, dan

$F2$ = Berat jenis agregat halus.

c. Nilai stabilitas menggunakan persamaan 3.1

d. Kelelehan (*flow*) diperoleh dari pembacaan arloji kelelehan

e. *Marshall Quotient (MQ)* dengan Persamaan 3.2

f. *Void in the Total Mix (VITM)* dengan Persamaan 3.3

g. *Void in Mineral Aggregate (VMA)* dengan Persamaan 3.4

h. *Void Filled With Asphalt (VFWA)* dengan Persamaan 3.5

2. Karakteristik *Index Retained Strength*

Pada pengujian *Immersion*, nilai stabilitas diperoleh setelah perendaman selama 24 jam. Selanjutnya, nilai *Index Retained Strength* akan dihitung sesuai dengan Persamaan 3.14.

3. Karakteristik *Indirect Tensile Strength*

Nilai hasil pengujian *ITS* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.15.

4. Pengujian *Tensile Strength Ratio*

Nilai hasil pengujian *TSR* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.16.

5. Karakteristik *Cantabro Loss*

Nilai hasil pengujian *Cantabro Loss* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.17.

6. Karakteristik *Asphalt Flow Down*

Nilai hasil pengujian *AFD* diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.18.

7. Analisis Modulus Kekakuan (*Stiffness Modulus*)

Menghitung tingkat modulus kekakuan pada bitumen dan campuran dilakukan berdasarkan penjelasan yang terdapat pada subbab 3.16.

4.5 Analisis Statistik

Statistik merupakan salah satu cabang ilmu matematika yang mengkaji tentang bagaimana cara mengumpulkan, mengorganisasikan, mengolah, menyajikan, dan menganalisis data serta menyimpulkan hasil, sehingga dapat diperoleh keputusan yang dapat diterima.

Pada penelitian ini, menggunakan analisis statistik Anova satu arah (*One Way Anova*) dan Anova dua arah (*Two Way Anova*). Analisis ini digunakan untuk membandingkan perbedaan rata-rata untuk suatu kategori yang berbeda antara dua atau lebih kelompok data. Satu variabel terikat dan satu variabel bebas adalah komponen data yang akan dianalisis. Berikut ini prosedur uji hipotesis anova satu arah sebagai berikut.

1. Menentukan Hipotesis (H_0 dan H_1)

Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk menguji dampak dari faktor variabel yang berbeda, dapat ditemukan dalam Persamaan 4.4 dan Persamaan 4.5 berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \mu_k \quad (4.4)$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \neq \mu_k \quad (4.5)$$

2. Perbandingan nilai F-hitung dan F-tabel

Apabila nilai F-hitung lebih besar dari nilai F-tabel, maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.

Apabila nilai F-hitung lebih kecil dari nilai F-tabel, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3. Untuk menentukan tingkat signifikansi (α), biasanya menggunakan nilai 5% atau 0,05 sebagai standar umum.

Apabila nilai signifikan atau *P-Value* lebih kecil dari 0,05, maka H_1 diterima dan H_0 ditolak.

Apabila nilai signifikan atau *P-Value* lebih besar dari 0,05, maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

4. Keputusan H_0 dan H_1

H_0 : Tidak adanya perbedaan nilai yang signifikan, dan

H_1 : Adanya perbedaan nilai secara signifikan

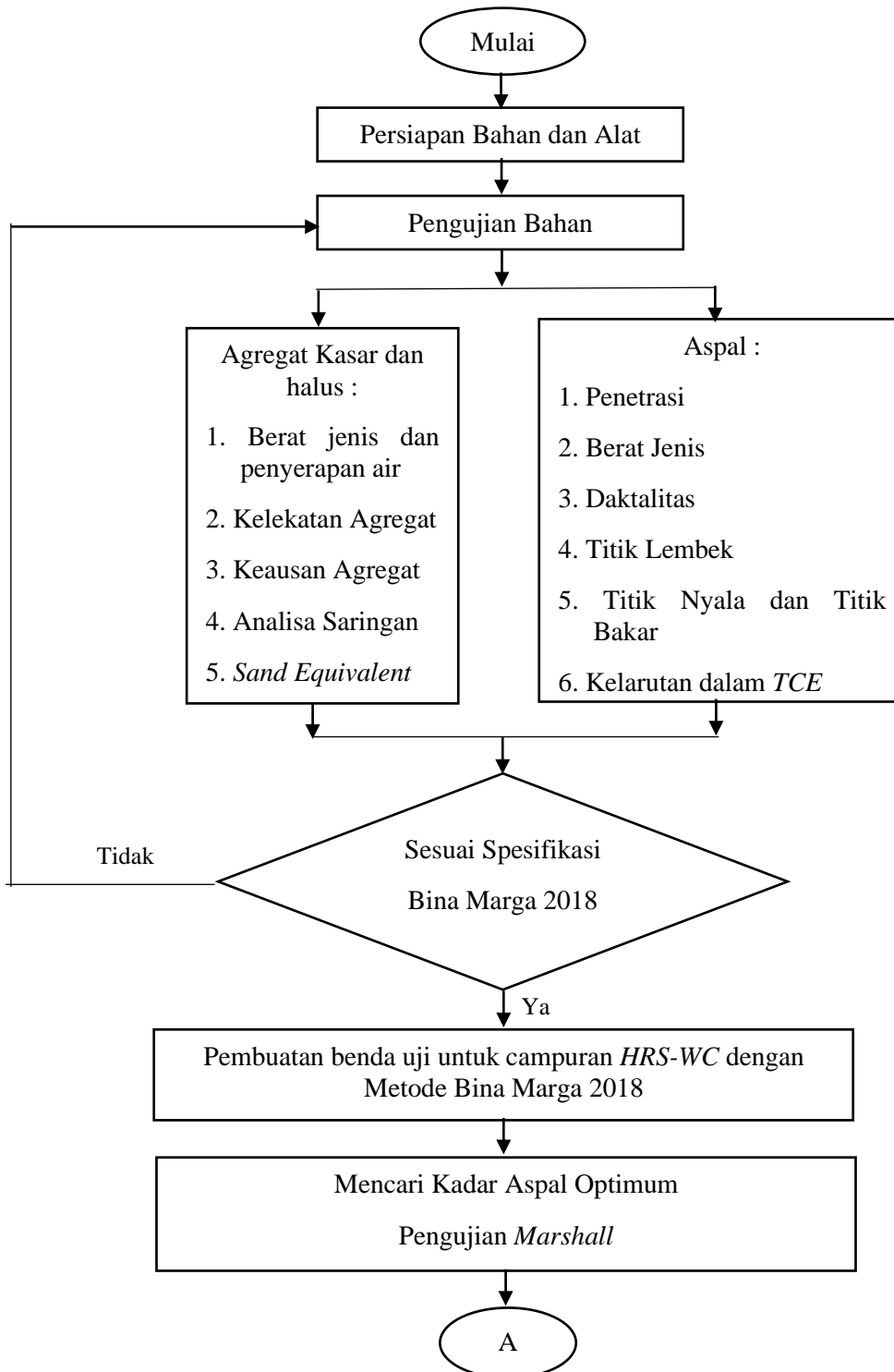
5. Keputusan

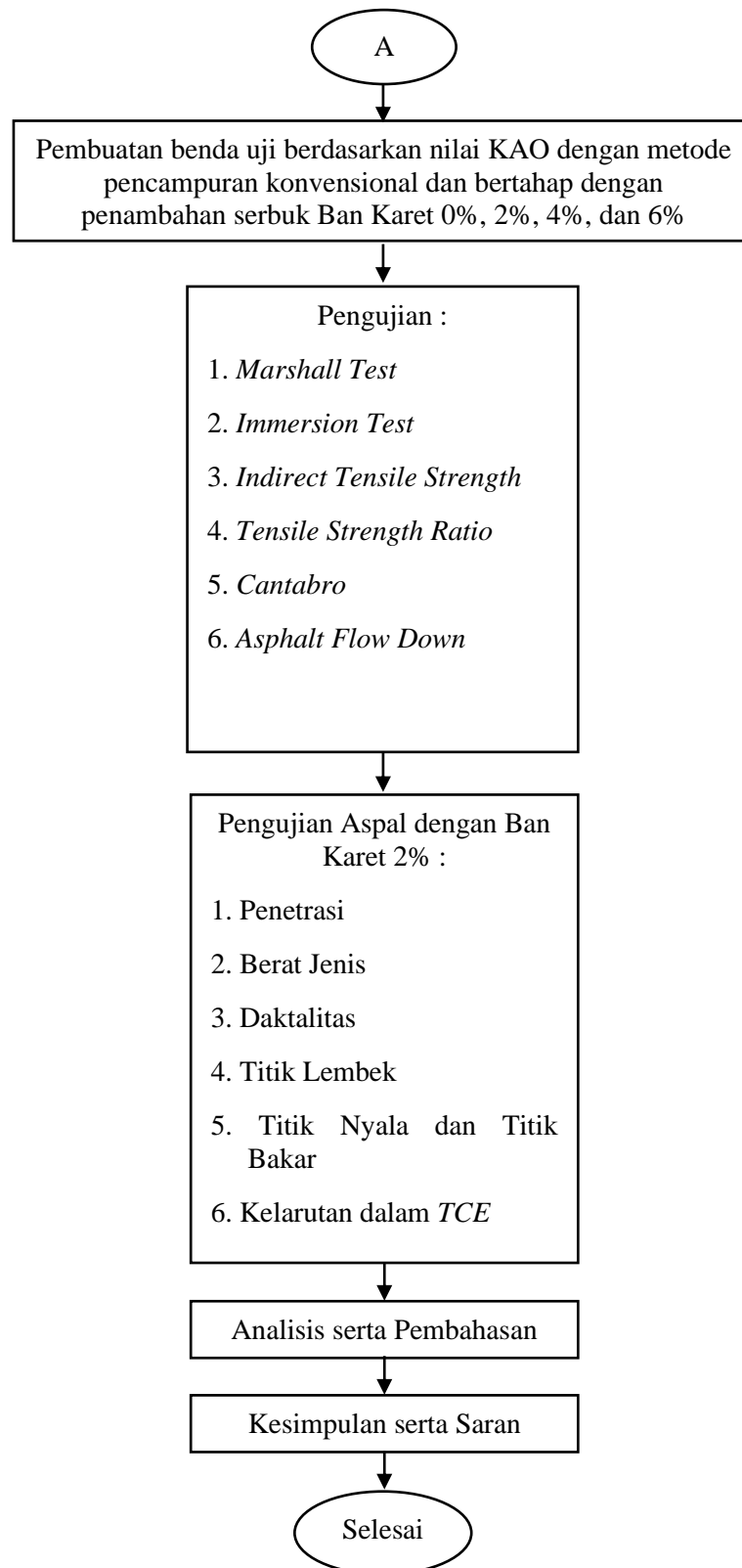
6. Pasca *Anova* (jika ada)

7. Kesimpulan

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir adalah proses dari suatu penelitian. Bagan alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 4.2** berikut ini.





Gambar 4.4 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Hasil pengujian dari serangkaian penelitian yang telah dilaksanakan adalah sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Sifat Fisik Aspal

Pengujian sifat fisik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dengan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis aspal pertama pen 60/70. Berikut adalah ringkasan hasil pengujian karakteristik aspal yang tersedia dalam **Tabel 5.1**.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Aspal Pertamina Pen 60/70		Keterangan
		Spesifikasi	Hasil	
1	Berat Jenis Aspal	$\geq 1,0$	1,06	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60-70	65,5	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	165	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	344	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	349	Memenuhi
7	Kelarutan <i>TCE</i> (%)	≥ 99	99,7	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Agregat yang digunakan dalam pengujian ini adalah agregat yang berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Berikut adalah rangkuman hasil

pengujian sifat-sifat agregat yang dapat ditemukan dalam **Tabel 5.2** dan **Tabel 5.3**.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,58	Memenuhi
2	Kelekatan Agregat terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
3	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 100 putaran (%)	≤ 8	5,75	Memenuhi
4	Keausan dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 500 putaran (%)	≤ 40	23,82	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

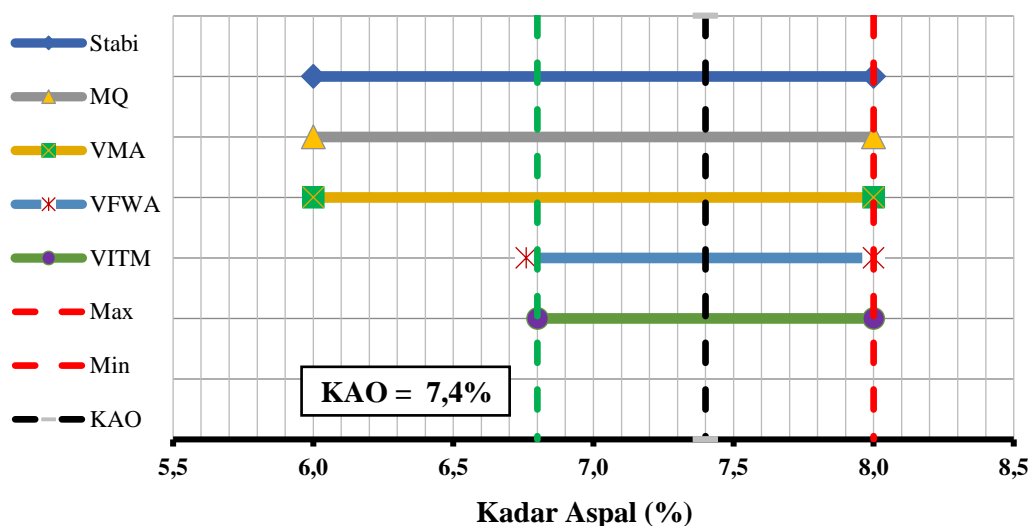
No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,81	Memenuhi
2	Nilai Setara Pasir (%)	≥ 50	90,61	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall Standard* Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum pada Campuran *HRS-WC*

Pengujian *Marshall Standard* bertujuan untuk menentukan nilai KAO pada campuran *HRS-WC*. Hasil pengujian yang didapat adalah berupa karakteristik *Marshall* diantaranya nilai stabilitas, *Flow*, *Marshall Quotient (MQ)*, *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)* *Void in Mineral Aggregate (VMA)* dan *Density*. Rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dapat dilihat pada Tabel 5.4 dan untuk penentuan nilai KAO dapat dilihat pada **Gambar 5.1** berikut ini.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (Gr/cc)
6,0	838,098	2,595	322,966	9,780	54,694	21,587	2,082
6,5	1018,004	2,650	384,152	7,399	64,208	20,364	2,125
7,0	1033,361	2,885	358,184	5,369	71,498	19,907	2,149
7,5	1046,525	3,020	346,522	4,466	77,451	19,805	2,163
8,0	983,837	3,285	299,494	4,363	78,737	20,668	2,152
Spesifikasi	> 600	-	> 250	4 – 6	> 68	> 18	-



Gambar 5.1 Penentuan Kadar Aspal Optimum Campuran HRS-WC

Berdasarkan Gambar 5.1 diperoleh nilai kadar aspal optimum untuk campuran *HRS-WC* menggunakan aspal Pertamina pen 60/70 yaitu sebesar 7,4% .

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *HRS-WC* dengan Penambahan Ban Karet dan Metode Pencampuran

Ada beberapa pengujian yang dilakukan pada campuran *HRS-WC* kondisi KAO yaitu diantaranya pengujian *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strenght*, *Tensile Strenght Ratio*, *Cantabro Loss*, *Asphalt Flow Down (AFD)*, dan *Stiffness Modulus*. Pada pengujian ini menggunakan bahan tambah serbuk ban karet dengan variasi kadar yang berbeda yaitu 0%, 2%, 4%, dan 6% dari berat total

kadar aspal optimum. Metode pencampuran yang digunakan dalam pengujian ini adalah metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Rekapitulasi hasil dari setiap pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sampai **Tabel 5.12** berikut ini.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian *Marshall* Penambahan Serbuk Ban Karet dengan Metode Pencampuran Konvensional pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (Gr/cc)
0	1055,147	3,845	274,421	5,069	74,818	20,126	2,153
2	1185,883	3,955	299,844	4,290	78,332	19,799	2,161
4	903,399	2,780	324,964	5,014	75,537	20,495	2,142
6	877,771	2,453	357,787	4,355	78,260	20,034	2,155
Spesifikasi	> 600	-	> 250	4 – 6	> 68	> 18	-

Tabel 5.6 Hasil Pengujian *Marshall* Penambahan Serbuk Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (Gr/cc)
0	1119,419	3,760	297,718	4,766	76,060	19,872	2,162
2	1204,524	3,837	313,951	4,161	78,870	19,691	2,164
4	911,781	2,535	359,677	4,708	76,776	20,239	2,160
6	892,104	2,330	382,877	4,046	79,550	19,776	2,148
Spesifikasi	> 600	-	> 250	4 – 6	> 68	> 18	-

Tabel 5.7 Hasil Pengujian *Index of Retained Strenght (IRS)* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Index of Retained Strenght (%)</i>	
	Konvensional	Bertahap
0	90,005	90,613
2	90,470	91,027
4	90,756	92,614
6	91,222	93,842

Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strenght (ITS)* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Indirect Tensile Strenght (KPa)</i>			
	Konvensional		Bertahap	
	0,5 jam	24 jam	0,5 jam	24 jam
0	61,207	42,823	68,375	59,019
2	93,210	73,880	100,328	88,733
4	62,411	43,952	74,793	53,605
6	57,847	32,274	63,823	39,523

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Tensile Strenght Ratio (TSR)* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Tensile Strenght Ratio (%)</i>	
	Konvensional	Bertahap
0	69,964	86,317
2	79,261	88,443
4	70,423	71,670
6	55,792	61,926

Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Cantabro Loss (CL)* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Cantabro Loss (%)</i>	
	Konvensional	Bertahap
0	2,60	1,94
2	2,50	1,82
4	2,47	1,74
6	2,52	1,87

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Asphalt Flow Down (%)</i>	
	Konvensional	Bertahap
0	0,08	0,06
2	0,06	0,04
4	0,05	0,03
6	0,04	0,01

Tabel 5.12 Hasil Analisis perhitungan *Stiffness Modulus* Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran pada Campuran *HRS-WC*

Kadar Karet (%)	<i>Stiffness Modulus of Bitumen (MPa)</i>	<i>Stiffness Modulus of Mixture (MPa)</i>	
		Konvensional	Bertahap
0	17,832	1955,601	2066,578
2	37,910	4984,396	5106,631
4	40,752	4656,164	4918,175
6	43,930	5605,876	5936,619

5.2 Hasil Analisis Statistik

Analisis statistik dilakukan untuk mengetahui signifikansi perubahan dari setiap parameter pengujian berdasarkan variabelnya. Hasil analisis statistik berupa

Uji Statistik *Anova*. Uji statistik menggunakan metode *One Way Anova* diterapkan pada data hasil uji sifat-sifat aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal yang telah dimodifikasi dengan penambahan serbuk ban karet. Sedangkan uji statistik dengan metode *Two Way Anova* diterapkan pada data hasil pengujian beberapa karakteristik pada campuran *HRS-WC* dengan penambahan bahan tambah dan metode pencampuran. Rekapitulasi hasil analisis statistik metode *One Way Anova* dan metode *Two Way Anova* dapat dilihat pada **Tabel 5.13** Sampai **Tabel 5.15** berikut ini.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Uji Statistik *One Way Anova* untuk Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi

No	Jenis Pengujian	Keterangan	Hasil Analisis
1	Berat Jenis Aspal	H0 diterima	Tidak Signifikan
2	Penetrasi (0,1 mm)	H0 ditolak	Signifikan
3	Daktalitas (cm)	H0 ditolak	Signifikan
4	Titik Lembek (°C)	H0 diterima	Tidak Signifikan
5	Titik Nyala (°C)	H0 ditolak	Signifikan
6	Titik Bakar (°C)	H0 ditolak	Signifikan
7	Kelarutan <i>TCE</i> (%)	H0 diterima	Tidak Signifikan

Tabel 5.14 Rekapitulasi Uji Statistik *Two Way Anova* Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Karakteristik Campuran *HRS-WC*

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
1	<i>Void in the Total Mix (VITM)</i>	H0 ditolak	Signifikan
2	<i>Void filled with Asphalt (VFWA)</i>	H0 ditolak	Signifikan
3	<i>Void in the Mineral Aggregate (VMA)</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
4	<i>Density</i>	H0 ditolak	Signifikan
5	Stabilitas	H0 ditolak	Signifikan
6	<i>Flow</i>	H0 ditolak	Signifikan
7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	H0 ditolak	Signifikan

Lanjutan Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Two Way Anova* untuk Kadar Serbuk Ban Karet Terhadap *Marshall Test, IRS, ITS, TSR, Cantabro Loss, Asphalt Flow Down* dan *Stiffness Modulus*

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
8	<i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	H0 ditolak	Signifikan
9	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	H0 ditolak	Signifikan
10	<i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	H0 ditolak	Signifikan
11	<i>Cantabro Loss (CL)</i>	H0 ditolak	Signifikan
12	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	H0 ditolak	Signifikan
13	<i>Stiffness Modulus</i>	H0 ditolak	Signifikan

Tabel 5.15 Rekapitulasi Uji Statistik *Two Way Anova* Pengaruh Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *HRS-WC*

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
1	<i>Void in the Total Mix (VITM)</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
2	<i>Void filled with Asphalt (VFWA)</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
3	<i>Void in the Mineral Aggregate (VMA)</i>	H0 diterima	Tidak Signifikan
4	<i>Density</i>	H0 ditolak	Signifikan
5	Stabilitas	H0 ditolak	Signifikan
6	<i>Flow</i>	H0 ditolak	Signifikan
7	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	H0 ditolak	Signifikan
8	<i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	H0 ditolak	Signifikan
9	<i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	H0 ditolak	Signifikan
10	<i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	H0 ditolak	Signifikan
11	<i>Cantabro Loss (CL)</i>	H0 ditolak	Signifikan
12	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	H0 ditolak	Signifikan
13	<i>Stiffness Modulus</i>	H0 ditolak	Signifikan

Berdasarkan hasil analisis uji statistik *One way Anova* pada Tabel 5.13 dapat dilihat bahwa hasil pengujian berat jenis, titik lembek dan kelarutan *TCE* menghasilkan nilai yang tidak signifikan, karena dari uji analisis menghasilkan nilai *P value* $> 0,05$. Hal ini menandakan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet pada aspal pen 60/70. Sedangkan pada pengujian penetrasi, daktilitas, titik nyala, dan titik bakar menghasilkan nilai *P value* $< 0,05$, sehingga ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet pada aspal pen 60/70.

Hasil analisis uji statistik *Two Way Anova* pada Tabel 5.14 dapat diketahui bahwa dari seluruh karakteristik menunjukkan adanya perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *HRS-WC*, kecuali pada parameter *VMA* yang tidak ada perbedaan nilai yang signifikan karena dari hasil uji statistik menghasilkan nilai *Pvalue* $> 0,05$. Sedangkan pada Tabel 5.15 dapat dilihat bahwa karakteristik volumetrik *marshall standard* yaitu *VITM*, *VFWA*, dan *VMA* dari hasil uji statistik menunjukkan tidak ada perbedaan nilai yang signifikan akibat pengaruh dari metode pencampuran.

5.3 Analisis Hasil Pengujian Material dan KAO

5.3.1 Analisis Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik pada agregat kasar dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat fisik dari agregat kasar. Agregat kasar yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo Yogyakarta. Adapun pembahasan karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat merupakan nilai perbandingan antara berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Agregat yang memiliki nilai berat jenis lebih rendah akan memiliki porositas yang besar, yang memungkinkan untuk penyerapan aspal yang lebih signifikan, sehingga menghasilkan lapisan aspal yang lebih tipis. Data berat jenis ini meliputi berat benda uji dalam kondisi basah jenuh (BJ), berat benda uji dalam air (BA), dan berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven (BK).

Berdasarkan hasil dari pengujian berat jenis pada agregat diperoleh nilai sebesar 2,58. Nilai tersebut memenuhi yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>2,5$.

2. Keausan Agregat

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengukur sejauh mana agregat dapat bertahan terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil pengujian keausan agregat menunjukkan bahwa nilai keausan adalah 5,75% setelah 100 putaran dan 23,82% setelah 500 putaran.. Nilai tersebut telah memenuhi yang disyaratkan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $< 40\%$.

3. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berapa persen luas permukaan agregat yang dilapisi oleh aspal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa 98% dari permukaan agregat terselimuti oleh aspal. Nilai tersebut memenuhi syarat dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 95\%$.

5.3.2 Analisis Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik pada agregat halus dilakukan dengan tujuan untuk mengetahui sifat fisik serta karakteristik agregat halus yang akan digunakan. Agregat halus yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari Clereng, Kulon Progo Yogyakarta. Adapun pembahasan karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut.

1. Berat Jenis Agregat Halus

Berat jenis agregat merupakan nilai perbandingan antara berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Agregat yang memiliki nilai berat jenis yang lebih rendah akan memiliki porositas yang besar, memungkinkan penyerapan aspal yang lebih banyak, sehingga menghasilkan selimut aspal yang lebih tipis. Data berat jenis yang dianalisis meliputi berat benda uji dalam kondisi basah jenuh (BJ), berat benda uji dalam air (BA), dan berat benda uji setelah dikeringkan dalam oven (BK). Berdasarkan hasil dari pengujian berat jenis pada agregat diperoleh nilai sebesar 2,813. Nilai tersebut memenuhi yang syarat dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 2,5$.

2. Nilai *Sand Equivalent*

Nilai *Sand Equivalent* adalah indikator untuk mengukur kandungan lumpur dan debu dalam agregat halus. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menilai sejauh mana agregat bersih dari butiran-butiran halus yang dapat melewati saringan no. 200 dalam campuran agregat. Jika campuran tersebut memiliki kandungan lempung dan lanau yang berlebih, maka akan menghasilkan beton aspal dengan kualitas yang rendah. Hasil pengujian diperoleh nilai *Sand Equivalent* sebesar 90,61 %. Nilai tersebut memenuhi syarat dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 50\%$.

5.3.3 Analisis Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi

Pengujian sifat-sifat aspal ini dilakukan untuk mengidentifikasi sifat fisik dan karakteristik dari jenis aspal yang digunakan. Berikut pembahasan dari hasil pengujian karakteristik aspal.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan berat aspal dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Nilai berat jenis aspal menjadi penting dalam proses perancangan agregat dan aspal, khususnya dalam menentukan jumlah aspal yang dibutuhkan. Hasil dari pengujian berat jenis aspal Pen 60/70 didapatkan nilai sebesar 1,058. Sedangkan nilai berat jenis aspal modifikasi serbuk ban karet 2% sebesar 1,031. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet. Nilai dari kedua berat jenis tersebut memenuhi syarat dalam Spesifikasi Bina Marga 2018.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal dilaksanakan untuk mengevaluasi tingkat kekerasan aspal dengan menerapkan tekanan dan waktu tertentu pada suhu ruangan. Apabila nilai penetrasi yang dihasilkan semakin rendah, maka dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan aspal tersebut lebih tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Hasil pengujian Penetrasi aspal Pen 60/70 diperoleh nilai sebesar 65,5 mm. Sedangkan nilai penetrasi aspal dengan bahan tambah serbuk ban karet kadar 2% sebesar 40 mm. Berdasarkan hasil analisis statistik *One*

Way Anova menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

3. Daktilitas

Tujuan dari pengujian daktilitas adalah untuk mengevaluasi karakteristik kohesi aspal yang dapat memengaruhi fleksibilitas campuran, sehingga campuran memiliki kemampuan untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Nilai daktilitas aspal merupakan nilai yang menunjukkan tingkat kekenyalan pada aspal. Hasil pengujian daktilitas aspal Pen 60/70 didapat nilai sebesar 165 cm. Sedangkan nilai daktilitas aspal modifikasi serbuk ban karet 2% sebesar 43 cm. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

4. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal dilakukan untuk menentukan suhu ketika aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Hasil dari pengujian titik lembek pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 48°C. Sedangkan nilai titik lembek pada aspal modifikasi serbuk ban karet 2% sebesar 51°C. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

5. Titik Nyala Aspal

Pengujian titik nyala aspal dilakukan untuk mengetahui batas temperatur ketika aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Hasil pengujian titik nyala pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 344°C. Sedangkan nilai nyala pada aspal modifikasi serbuk ban karet 2% sebesar 314°C. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

6. Titik Bakar Aspal

Pengujian titik bakar aspal digunakan untuk mengidentifikasi suhu ketika aspal mulai menghasilkan nyala api yang tetap menyala selama sekitar ± 5 detik pada permukaan aspal tersebut. Hasil dari pengujian titik bakar pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 349°C. Sedangkan nilai nyala pada aspal modifikasi serbuk ban

karet 2% sebesar 321°C. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

7. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

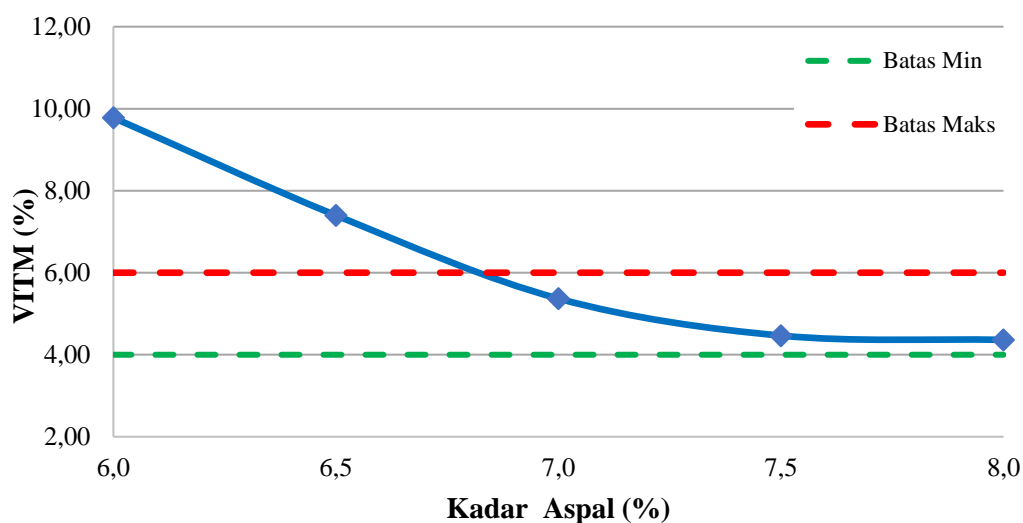
Kelarutan aspal dalam TCE adalah persentase dari jumlah aspal yang dapat larut dalam TCE, dan nilai ini akan mempengaruhi ikatan aspal dengan batuan. Semakin besar nilai kelarutan aspal dalam *TCE* maka dapat mengakibatkan kandungan mineral lain pada aspal semakin kecil. Hasil dari pengujian Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)* pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai sebesar 100% sedangkan Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)* aspal modifikasi serbuk ban karet 2% sebesar 98%. Berdasarkan hasil analisis statistik *One Way Anova* menunjukkan bahwa tidak ada perbedaan nilai yang signifikan akibat penambahan serbuk ban karet.

5.3.4 Analisis Karakteristik *Marshall Standard* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Nilai Kadar Aspal Optimum pada campuran *Hot Rolled Sheet Wearing Course* ditentukan dengan memeriksa parameter-parameter kriteria dari karakteristik *Marshall*, termasuk *Void In Total Mix*, *Void Filled with Asphalt*, *Void in Mineral Aggregate*, stabilitas, *Flow* dan *Marshall Quotient*. Berikut adalah pembahasan hasil pengujian karakteristik *Marshall* yang digunakan untuk menentukan nilai KAO dalam campuran *HRS-WC*.

1. *Void In Total Mix (VITM)*

VITM merupakan persentase rongga yang terdapat pada suatu campuran diukur terhadap volume total campuran. Besarnya nilai *VITM* dipengaruhi oleh bentuk agregat, gradasi agregat, temperatur pemadatan, energi pemadatan dan jenis aspal yang digunakan. Nilai *VITM* juga berpengaruh terhadap kekedapan campuran terhadap air. Persyaratan dalam Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk nilai *VITM* pada campuran *HRS-WC* adalah sebesar 4% - 6%. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VITM* dapat dilihat pada **Gambar 5.2**.

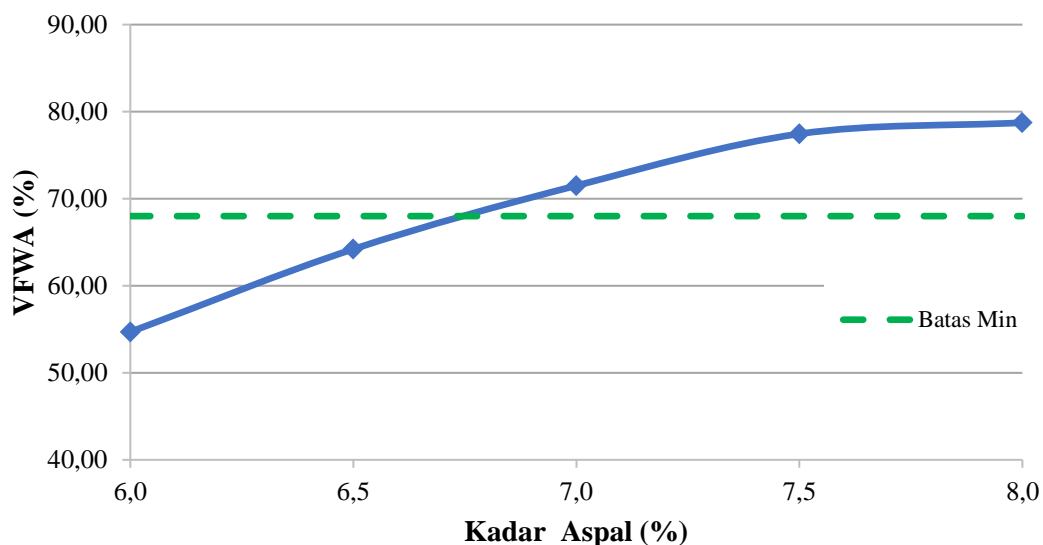


Gambar 5.2 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *VITM* pada Campuran *HRS-WC*

Pada Gambar 5.2 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya kadar aspal, maka nilai *VITM* pada campuran *HRS-WC* semakin menurun. Dapat diperhatikan tren penurunan nilai *VITM* pada kadar 7% menuju 8% cenderung melambat. Hasil ini sesuai dengan temuan dalam penelitian yang telah dilakukan oleh Ramadhan dan Iduwin (2022), yang menyimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan maka pengaruh nilai *VITM* menjadi semakin kecil. Berdasarkan Gambar 5.2 dapat disimpulkan bahwa pada kadar aspal 6,8% sampai 8% nilai *VITM* untuk campuran *HRS-WC* telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 4% - 6%.

2. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah banyaknya persentase rongga yang terisi oleh aspal pada campuran setelah melalui proses pemadatan. Nilai *VFWA* yang terlalu rendah dapat mengakibatkan nilai stabilitas menjadi rendah, menurunkan kekedapan terhadap air dan dapat pula meningkatkan oksidasi sehingga aspal akan mudah mengeras dan tidak awet. Sebaliknya nilai *VFWA* yang besar menunjukkan banyak rongga yang terisi oleh aspal, sehingga mengakibatkan kekedapan campuran terhadap air dan udara menjadi baik. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai *VFWA* dapat dilihat pada **Gambar 5.3**.

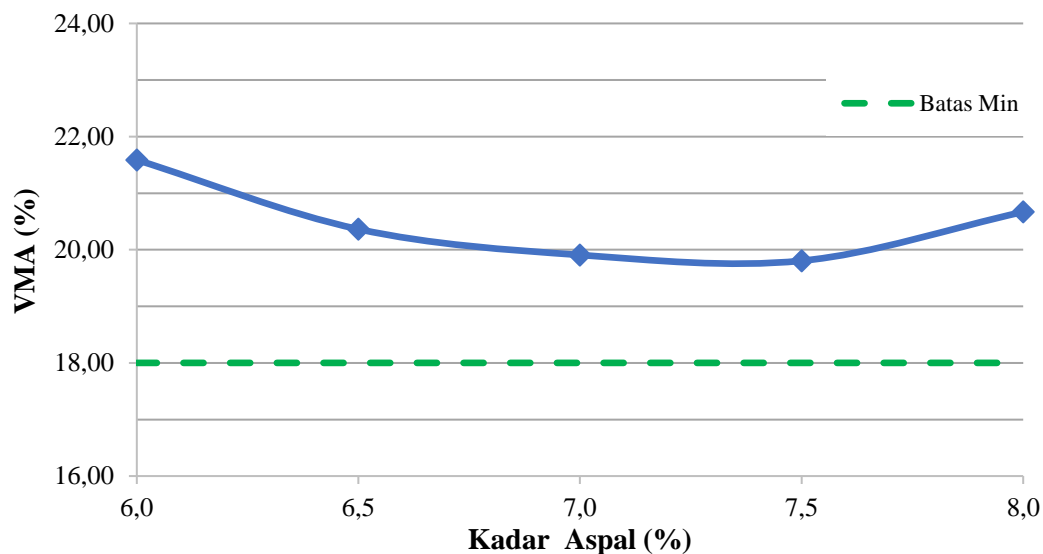


Gambar 5.3 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VFWA pada Campuran HRS-WC

Berdasarkan Gambar 5.3 dapat dilihat bahwa semakin bertambahnya kadar, maka nilai VFWA pada campuran HRS-WC akan semakin meningkat, hal ini disebabkan karena aspal yang mengisi rongga semakin banyak. Hasil ini senada dengan penelitian Ramadhan dan Iduwin (2022), yang menyatakan Semakin besar jumlah aspal yang digunakan, maka nilai VFWA akan meningkat, karena proporsi aspal yang masuk ke dalam rongga campuran akan semakin besar. Dapat dilihat pada Gambar 5.3 dapat ditarik kesimpulan bahwa pada kadar aspal 6,8% sampai 8% nilai VFWA untuk campuran HRS-WC telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 68\%$.

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA merupakan rongga udara di antara agregat dalam campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai VMA maka kerenggangan antar butir agregat juga semakin besar. Nilai VMA yang besar disebabkan oleh dua hal yaitu, tebalnya selimut aspal pada agregat dan besarnya nilai pori pada campuran. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai VMA dapat dilihat pada **Gambar 5.4**.

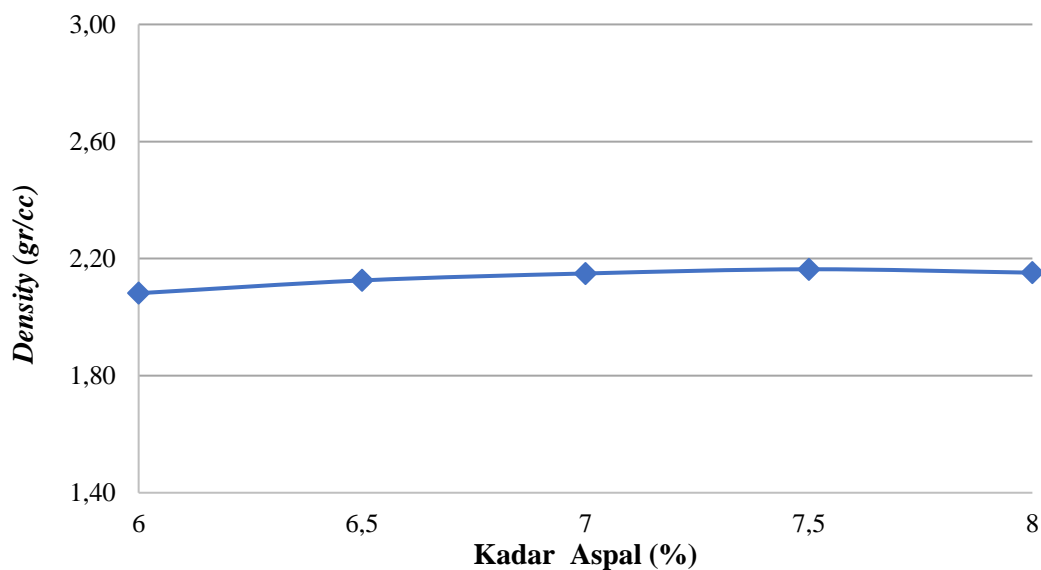


Gambar 5.4 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai VMA pada Campuran HRS-WC

Berdasarkan gambar 5.4 dapat dilihat bahwa seiring bertambahnya jumlah aspal, maka nilai *VMA* akan mengalami penurunan dan meningkat setelah melewati batas optimum. Hal tersebut dikarenakan aspal memiliki peran ganda, tidak hanya sebagai bahan pengikat tetapi juga sebagai pelumas saat proses pemadatan. Ini membantu agregat untuk menempati posisinya dengan lebih baik dan menghasilkan campuran yang lebih padat. Berbeda dengan penelitian Ramadhan dan Iduwin (2022), dimana nilai *VMA* semakin meningkat seiring bertambahnya jumlah aspal dalam campuran. Berdasarkan gambar 5.4 semua kadar aspal telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 18\%$.

4. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Nilai kepadatan menunjukkan kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Nilai kepadatan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu suhu pemadatan, komposisi penyusunan, jumlah *filler* dan kadar aspal. Semakin besar nilai kepadatan (*density*) maka semakin baik kerapatannya. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai kepadatan (*density*) dapat dilihat pada **Gambar 5.5**.

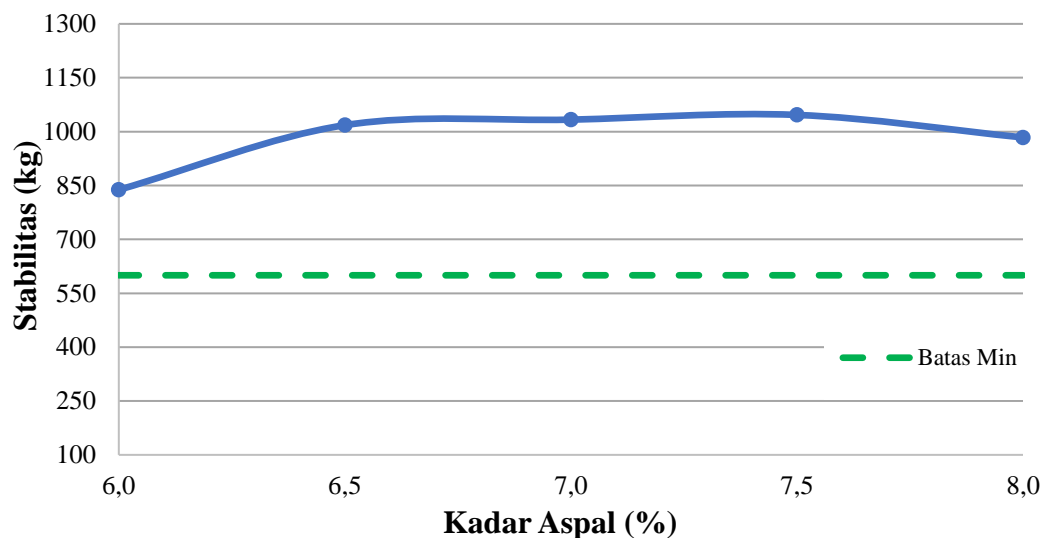


Gambar 5.5 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Density* pada Campuran HRS-WC

Pada gambar 5.5 dapat dilihat bahwa nilai *density* cenderung meningkat seiring dengan bertambahnya jumlah aspal. Peningkatan nilai *density* disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar butir sama besarnya, sehingga membuat campuran menjadi rapat dan kedap terhadap air. Secara umum peningkatan jumlah aspal dalam campuran cenderung meningkatkan nilai *density*. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal yang cair dan dapat mengisi ruang kosong antara agregat dengan lebih baik. Peningkatan nilai *density* menandakan campuran menjadi lebih kokoh dan memiliki kekuatan yang lebih baik untuk menahan beban lalu lintas.

5. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menahan deformasi akibat pembebanan lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk yang dinyatakan dalam satuan kg. Besarnya nilai stabilitas menunjukkan bahwa suatu perkerasan memiliki kemampuan menahan beban lalu lintas yang besar. Beberapa faktor yang dapat memengaruhi stabilitas termasuk tipe gradasi agregat, bentuk fisik agregat, dan tingkat kekasaran permukaan agregat. Grafik hubungan antara kadar aspal dan nilai stabilitas dapat dilihat pada **Gambar 5.6**.



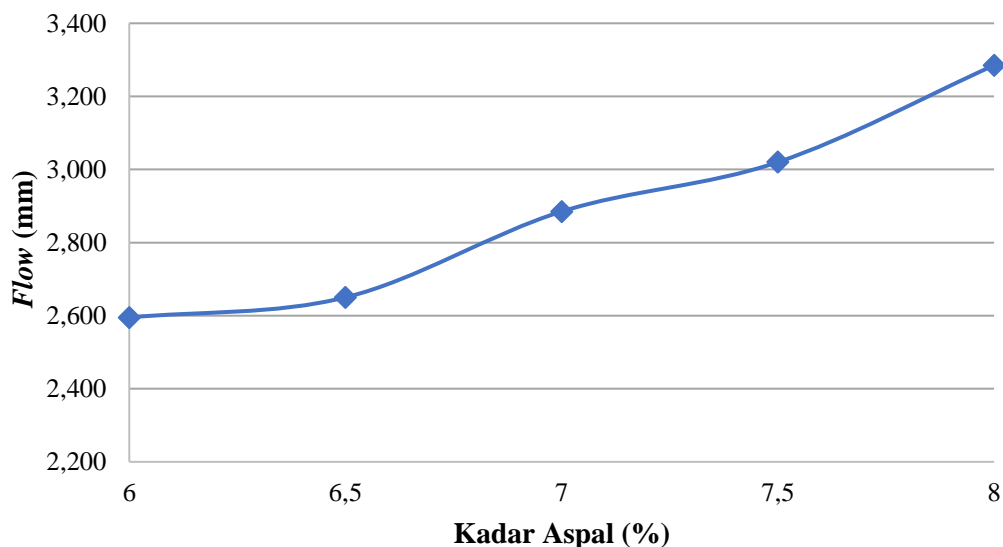
Gambar 5.6 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas pada Campuran *HRS-WC*

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas pada campuran *HRS-WC* terus meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal, selanjutnya nilai stabilitas mengalami penurunan setelah melewati kondisi optimum. Ini terjadi karena adanya kelebihan aspal, yang mengakibatkan aspal yang semula berperan sebagai pengikat antara agregat berubah fungsinya menjadi pelicin. Adapun penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Iduwin (2022), juga menyatakan bahwa Stabilitas akan meningkat sejalan dengan peningkatan kadar aspal sampai mencapai titik optimum, setelah itu akan mengalami penurunan. Berdasarkan grafik tersebut dapat disimpulkan nilai stabilitas optimum untuk campuran *HRS-WC* sebesar 1046,525 pada kadar 7,5%. Berdasarkan Gambar 5.6 semua kadar aspal telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 600 kg.

6. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam satuan panjang (mm). *Flow* menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada suatu lapis perkerasan pada kondisi beban runtuh. Nilai *flow* pada suatu jenis campuran akan meningkat apabila kadar aspal semakin banyak. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *flow* adalah gradasi campuran, kadar aspal, bentuk agregat dan

temperatur pemadatan. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan nilai *flow* dapat dilihat pada **Gambar 5.7**.

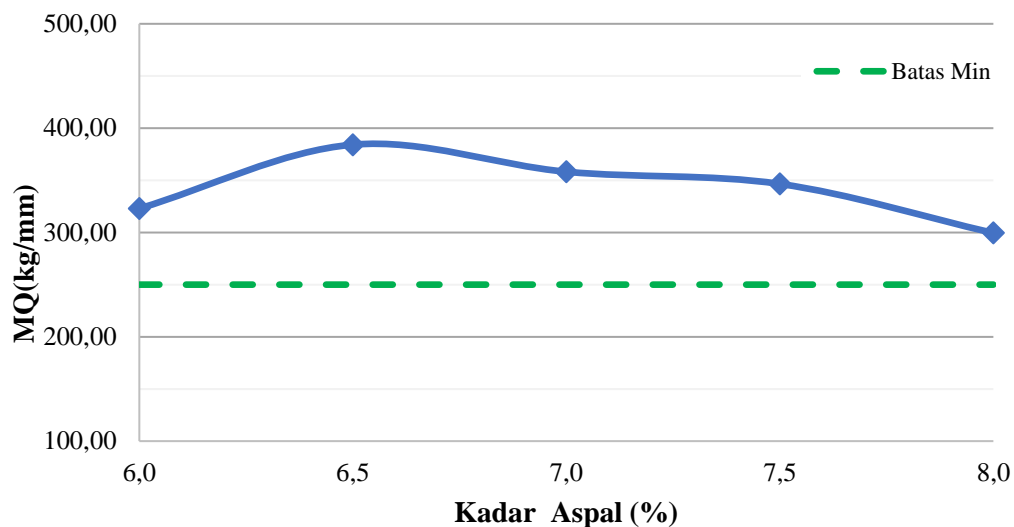


Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai *Flow* pada Campuran HRS-WC

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.7 dapat dilihat bahwa seiring dengan bertambahnya jumlah aspal, maka nilai *flow* akan terus mengalami peningkatan. Hal tersebut disebabkan meningkatnya kadar aspal yang menyelimuti agregat pada campuran dapat membuat campuran menjadi plastis yang mengakibatkan terjadinya perubahan bentuk (*deformasi*). Kadar aspal yang tinggi mengakibatkan campuran menjadi lebih lembek dan tidak stabil. Hal ini dapat menimbulkan masalah seperti *deformasi* permanen dan retak pada permukaan jalan.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan tingkat kekakuan dan fleksibilitas dari suatu campuran. Semakin tinggi nilai *MQ* pada suatu campuran maka campuran tersebut cenderung kaku dan memiliki fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya, jika nilai *MQ* yang rendah, maka campuran tersebut memiliki tingkat fleksibilitas yang tinggi. Grafik yang menunjukkan hubungan antara kadar aspal dan nilai *MQ* dapat dilihat pada **Gambar 5.8**.



Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dan Nilai MQ pada Campuran $HRS-WC$

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat dilihat bahwa semakin besar jumlah aspal maka nilai MQ akan semakin rendah. Hal ini terjadi karena peningkatan kadar aspal dapat mengakibatkan peningkatan nilai *flow* dalam campuran, sehingga fleksibilitasnya semakin tinggi. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Iduwin (2022), yang menyatakan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai MQ semakin rendah. Hal ini disebabkan oleh semakin banyaknya kandungan aspal pada campuran sehingga menjadi sangat lentur. Berdasarkan Gambar 5.8 semua kadar aspal telah memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 250 kg/mm.

5.4 Pembahasan

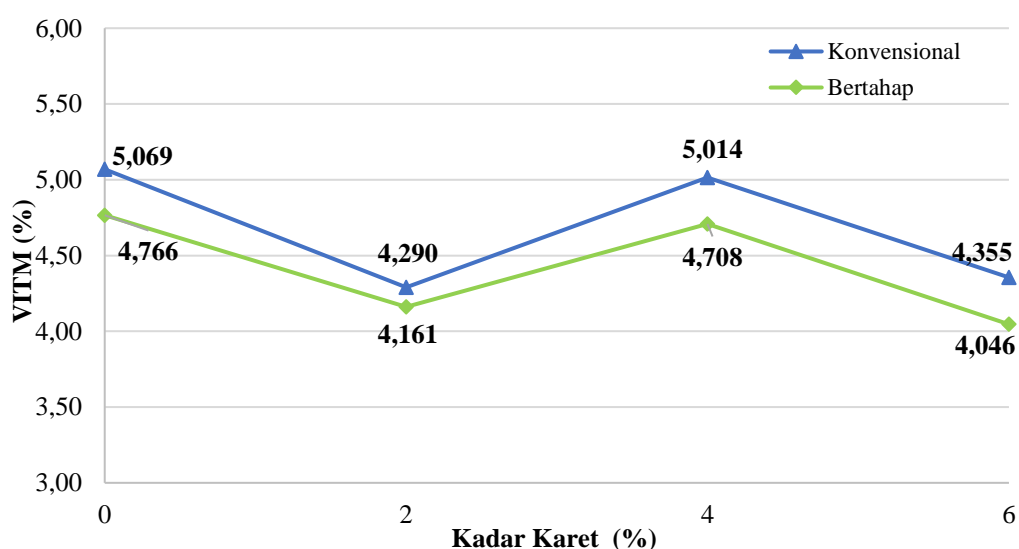
5.4.1 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik *Marshall Standard* pada Campuran $HRS-WC$

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall* pada campuran $HRS-WC$, diperoleh nilai KAO sebesar 7,4 %. Setelah nilai KAO diperoleh, selanjutnya dilakukan pengujian *Marshall Standard*. Pembuatan benda uji dilakukan dengan dua metode pencampuran, yakni metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Pengujian *Marshall Standard* pada kondisi KAO menggunakan bahan ikat aspal pen 60/70 dengan dan tanpa bahan tambah serbuk ban karet. Tinjauan

pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran pada kinerja campuran *HRS-WC* terhadap karakteristik *Marshall Standard* adalah sebagai berikut.

1. *Void In Total Mix (VITM)*

VITM merupakan jumlah rongga udara dalam campuran agregat aspal dalam bentuk persentase terhadap total volume campuran. Nilai *VITM* memiliki korelasi yang kuat dengan ketahanan campuran terhadap deformasi plastis. Berikut adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *VITM* dapat dilihat pada **Gambar 5.9**.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *VITM* pada Campuran *HRS-WC*

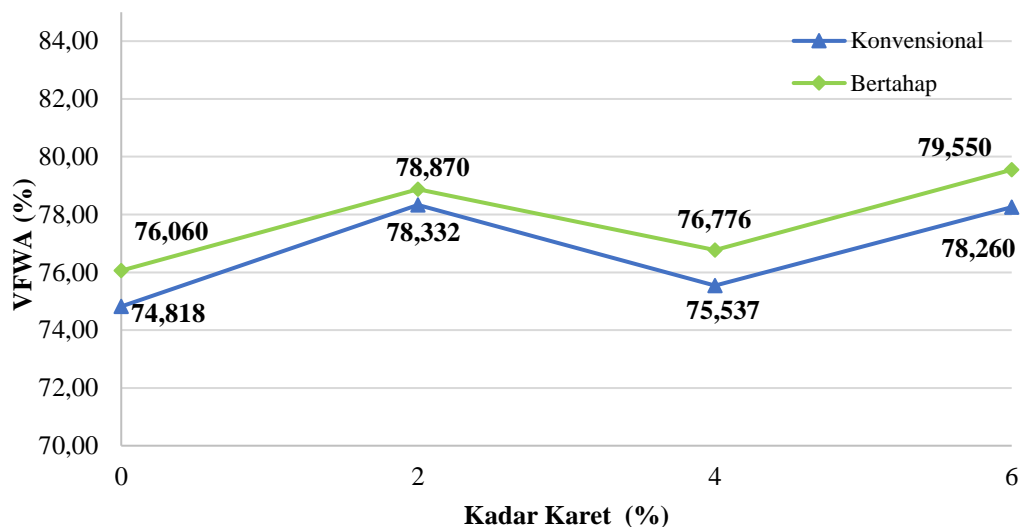
Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai *VITM* mengalami penurunan yang tidak signifikan dengan penambahan serbuk ban karet baik menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Penurunan nilai *VITM* ini disebabkan oleh peningkatan kandungan serbuk ban karet dalam campuran, yang secara efektif memudahkan proses pengisian rongga dalam campuran. Penelitian yang dilakukan oleh Faisal (2014) menyatakan bahwa nilai *VITM* cenderung mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar serbuk ban. Menurut Faisal

penurunan ini disebabkan semakin banyak bahan pengikat terutama bahan aditif parutan ban yang mengisi pori-pori atau rongga antar agregat. Oktaviastuti (2020), juga menyatakan bahwa semakin besar penambahan serbuk ban yang digunakan, maka akan berpengaruh terhadap nilai *VITM*.

Pada Gambar 5.9 dapat diketahui bahwa penggunaan metode pencampuran secara bertahap menghasilkan nilai *VITM* yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional pada campuran *HRS-WC* dengan penambahan serbuk ban. Dari hasil pengujian menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan dalam pengaruh kedua metode tersebut terhadap nilai *VITM*. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021) mengenai dampak dari penerapan metode pencampuran dua tahap menunjukkan bahwa nilai *VITM* yang diperoleh dengan pencampuran dua tahap cenderung mengalami penurunan lebih signifikan jika dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan oleh proses pelapisan awal pada agregat kasar dengan aspal, yang mengakibatkan pengisian pori-pori atau rongga. Menurut Kok dan Kuloglu (2011) dalam penelitiannya menyatakan bahwa penggunaan metode dua fase menghasilkan rongga yang cenderung lebih rendah dikarenakan pelapisan awal oleh aspal terhadap agregat kasar. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode pencampuran dapat mengubah besarnya nilai *VITM* karena berpengaruh terhadap tebal penyalutan oleh aspal.

2. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga yang terisi aspal pada total campuran dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. Nilai *VFWA* mampu memberi dampak terhadap sifat kedap air dan udara serta sifat elastis pada campuran. Nilai *VFWA* yang besar menandakan bahwa banyaknya rongga yang terisi oleh aspal, sehingga menghasilkan kedap air dan udara terhadap air dan udara menjadi lebih baik. Grafik nilai *VFWA* terhadap penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran dapat dilihat pada **Gambar 5.10** berikut.



Gambar 5.10 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai VFWA pada Campuran HRS-WC

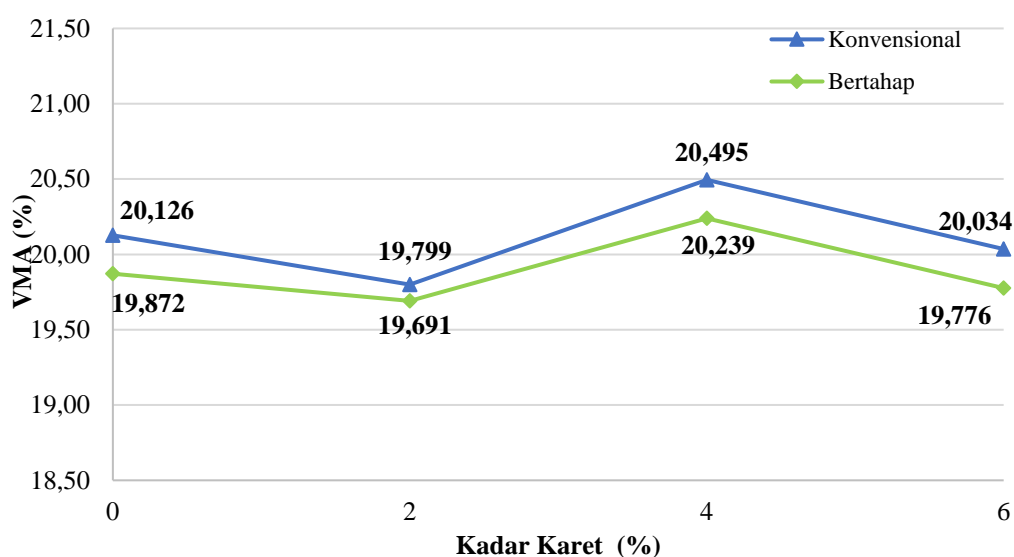
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.10 dapat dilihat bahwa nilai VFWA mengalami peningkatan dengan penambahan serbuk ban karet baik menggunakan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap. Peningkatan nilai VFWA disebabkan oleh partikel karet yang memenuhi ruang antara partikel-partikel aspal pada saat proses pencampuran dengan agregat, sehingga membuat penyalutan aspal menjadi tinggi. Selaras dengan penelitian Oktaviastuti (2020), yang menyatakan bahwa seiring penambahan serbuk ban pada campuran mengakibatkan banyaknya rongga yang terisi oleh aspal (VFWA). Penelitian Faisal (2014), juga menyatakan bahwa peningkatan nilai VFWA disebabkan bertambahnya persentase parutan ban dalam bekas yang mengakibatkan pori-pori atau rongga terisi serta semakin tebalnya selimut pada material.

Dapat dilihat pula pada Gambar 5.10 bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap mengakibatkan peningkatan nilai VFWA dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional pada campuran HRS-WC. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021), penggunaan pencampuran dua tahap menghasilkan pengisian aspal yang tinggi pada volume pori-pori dalam campuran beton aspal. Kok dan Kuloglu (2011), menyatakan bahwa penggunaan

metode pencampuran dua fase dapat mengurangi rongga sehingga menghasilkan campuran yang lebih kedap air dan udara.

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah rongga udara yang di antara agregat dalam campuran agregat dan aspal yang telah dipadatkan, dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. Berikut adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *VMA* dapat dilihat pada **Gambar 5.11**.



Gambar 5.11 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *VMA* pada Campuran *HRS-WC*

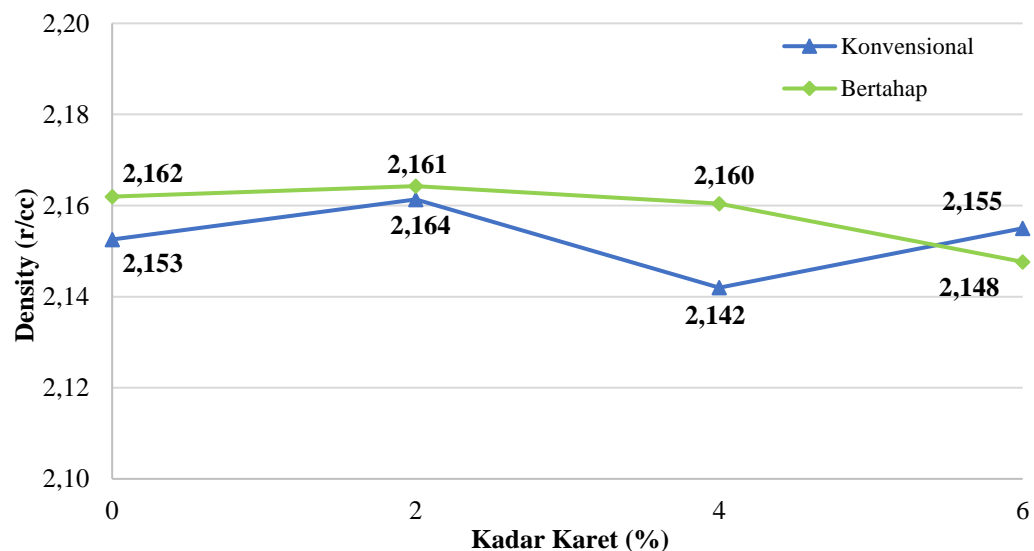
Pada Gambar 5.11 dapat dilihat bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan pada kadar penambahan 2%, selanjutnya pada kadar penambahan 4% terjadi kenaikan nilai yang tidak signifikan, selanjutnya mengalami penurunan kembali pada kadar penambahan 6%. Secara keseluruhan nilai *VMA* mengalami penurunan dengan penambahan serbuk ban baik dengan penggunaan metode pencampuran konvensional maupun dengan metode bertahap. Sejalan dengan penelitian Oktaviastuti (2020), menyatakan bahwa semakin bertambahnya kadar serbuk ban, maka jumlah rongga dalam campuran akan berkurang.

Dapat dilihat grafik perbandingan pada Gambar 5.11 bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan penurunan nilai *VMA* dibandingkan

dengan penggunaan metode konvensional. Selaras dengan penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021), mengenai efek dari penggunaan metode pencampuran dua tahap mengakibatkan penurunan nilai *VMA*. Menurut Hidayat hal ini disebabkan metode pencampuran dua tahap menghasilkan campuran dengan jarak antar butir agregat menjadi lebih rapat. Kok dan Kuloglu (2011), menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua fase dapat meningkatkan ikatan adhesi, sehingga kemampuan campuran untuk mengikat agregat dalam campuran menjadi lebih tinggi.

4. Kepadatan (*Density*)

Nilai kepadatan merupakan tingkat kepadatan suatu campuran beton aspal antara agregat dengan aspal yang dinyatakan dalam satuan g/cc. Semakin besar nilai kepadatan suatu campuran maka semakin padat atau rapat begitupun sebaliknya. Berikut adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *density* dapat dilihat pada **Gambar 5.12**.



Gambar 5.12 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Density* pada Campuran *HRS-WC*

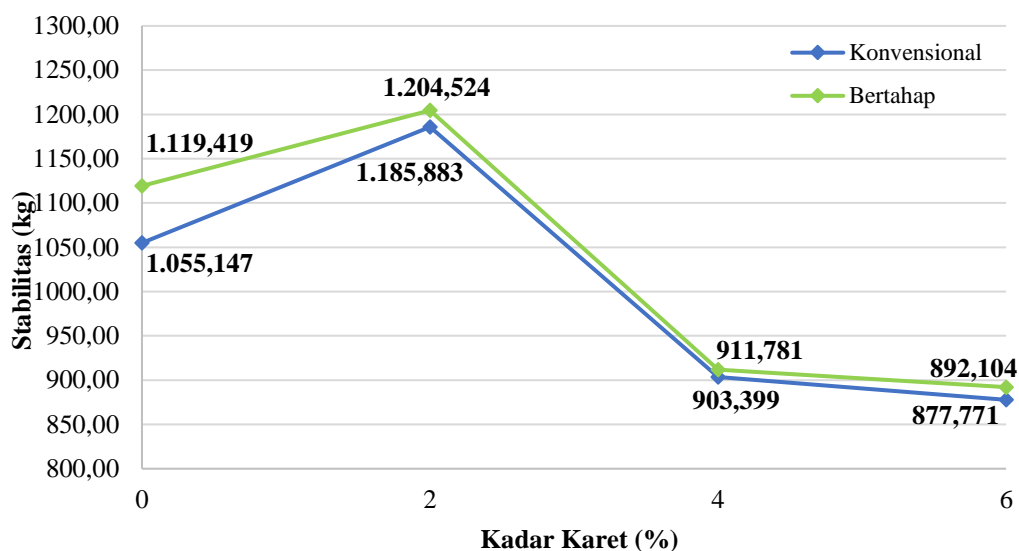
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.12 dapat dilihat bahwa nilai kepadatan mengalami peningkatan pada kadar penambahan serbuk ban karet sebesar 2% dan pada kadar penambahan 4% terjadi penurunan nilai kepadatan yang tidak

signifikan. Penurunan nilai kepadatan pada campuran terjadi karena semakin bertambahnya serbuk ban menyebabkan kepadatan campuran menjadi lebih rendah. Menurut Hidayat (2021), aspal *crumb rubber* memiliki sifat yang sulit mencair dibandingkan dengan aspal penetrasi 60/70, yang akhirnya menyebabkan kepadatan campuran menjadi sedikit lebih rendah meskipun perbedaannya tidak begitu signifikan.

Dapat dilihat grafik perbandingan pada Gambar 5.12 bahwa secara keseluruhan penerapan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai kepadatan yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode konvensional walaupun perbedaannya tidak signifikan. Senada dengan penelitian Hidayat (2021), menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap menghasilkan jumlah rongga antar butiran lebih kecil, sehingga kepadatan pada campuran menjadi meningkat. Huang (2005) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa pelapisan awal agregat dengan aspal dapat mengurangi jumlah rongga antar butiran dalam campuran.

5. Stabilitas (*Stability*)

Menurut Sukirman (2007), pengujian nilai stabilitas adalah kemampuan maksimum beton aspal padat menerima beban sampai terjadi kelelahan plastis. Nilai stabilitas berkaitan erat dengan kemampuan campuran dalam melakukan *interlocking* dan gaya gesek. Nilai stabilitas yang tinggi menandakan bahwa suatu perkerasan mampu menahan beban lalu lintas yang besar. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu bentuk agregat, kekasaran permukaan agregat, dan jenis gradasi agregat yang digunakan. Berikut adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai stabilitas pada campuran *HRS-WC* dapat dilihat pada **Gambar 5.13**.



Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas pada Campuran *HRS-WC*

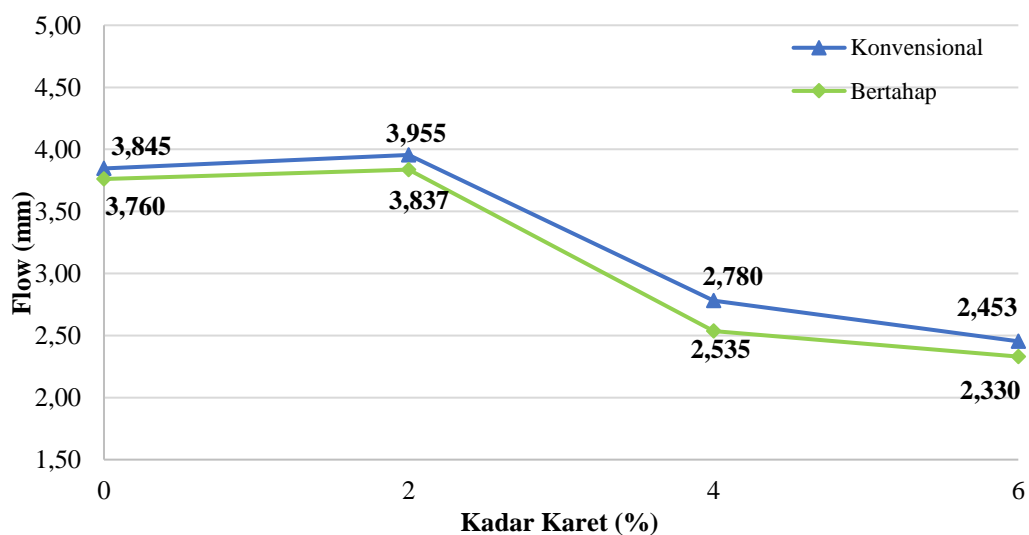
Dari grafik yang tercantum pada Gambar 5.13 terlihat bahwa nilai stabilitas dari campuran *HRS-WC* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap mengalami peningkatan pada kadar serbuk ban karet 2% sebesar 1185,88 kg dan 1204,52 kg. Selanjutnya seiring penambahan kadar serbuk ban yaitu pada kadar karet 4% hingga 6% mengalami penurunan. Hal tersebut disebabkan karena semakin banyak jumlah serbuk ban dapat menyebabkan film aspal semakin menipis sehingga mempengaruhi daya ikat aspal dan penguncian antar agregat semakin berkurang. Penelitian Oktaviastuti (2020), mengenai pengaruh penambahan serbuk ban bekas pada campuran *HRS-WC* menunjukkan hal yang tidak jauh berbeda, bahwa nilai stabilitas mengalami peningkatan pada kadar serbuk ban 1,5% dan mengalami penurunan setelah penambahan 3% sampai 6%. Seluruh kadar penambahan serbuk ban memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 untuk nilai stabilitas yaitu > 600 . Hal tersebut sejalan dengan penelitian Faisal (2014), bahwa penambahan parutan ban bekas dapat membantu meningkatkan nilai stabilitas.

Berdasarkan Gambar 5.13 terkait perbandingan berdasarkan metode pencampuran, diketahui bahwa nilai stabilitas pada campuran *HRS-WC* dengan penggunaan metode pencampuran bertahap memiliki kinerja yang lebih baik

dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa metode pencampuran bertahap mampu menambah nilai stabilitas sehingga campuran dapat menerima beban lalu lintas yang lebih tinggi. Hal tersebut senada dengan penelitian Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik dalam menahan beban karena mampu memperkecil rongga antar campuran. Kok dan Kuloglu (2011), dalam penelitiannya menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan *interlocking* yang sangat baik pada agregat kasar sehingga mampu meningkatkan nilai stabilitas.

6. Kelelahan (*Flow*)

Flow merupakan besarnya perubahan plastis dari beton aspal akibat adanya beban hingga mencapai batas keruntuhan (Sukirman, 2007). Dengan nilai *flow* yang lebih tinggi, campuran akan lebih cenderung mengalami deformasi, sedangkan jika nilai *flow* lebih rendah, campuran akan memiliki sifat yang lebih kaku. Berikut adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *Flow* dapat dilihat pada **Gambar 5.14**.



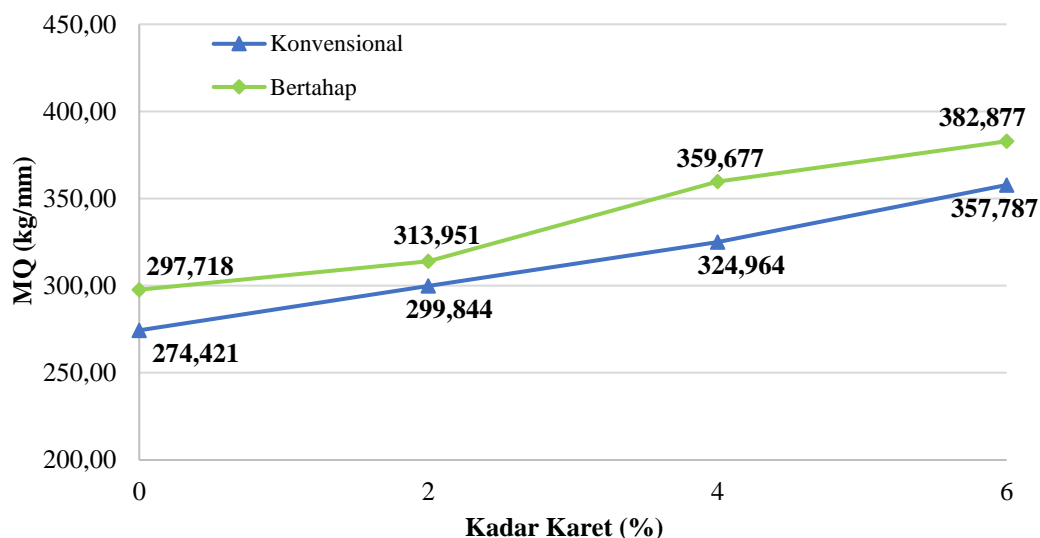
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Flow* pada Campuran *HRS-WC*

Pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai *flow* untuk campuran *HRS-WC* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap menunjukkan peningkatan pada kadar penambahan serbuk ban sebesar 2%, kemudian pada kadar 4% dan 6% mengalami penurunan. Hal tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian Oktaviastuti (2020) yang menunjukkan nilai *flow* mengalami peningkatan pada penambahan serbuk ban 1,5% dan 3%, selanjutnya mengalami penurunan nilai pada kadar 4,5%. Adapun penelitian Faisal (2014) penambahan parutan ban bekas pada kadar 1% mampu meningkatkan nilai *flow*, dan selanjutnya akan mengalami penurunan secara signifikan mulai dari penambahan 2% sampai 5%.

Berdasarkan grafik pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai *flow* untuk campuran *HRS-WC* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap lebih rendah dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Namun nilai perbedaan tidak terlalu signifikan. Sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa Penggunaan metode pencampuran dua tahap mengakibatkan penurunan nilai *flow* dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional. Hal ini terjadi karena adhesi antara agregat dan aspal meningkat, yang menghasilkan campuran yang lebih kaku, tetapi memiliki potensi untuk mengalami retakan. Hesami (2015), menyimpulkan bahwa pengaruh dari urutan pencampuran dapat mengakibatkan perilaku campuran menjadi lebih kaku.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan hasil perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*Flow*). Nilai *MQ* biasa digunakan untuk menunjukkan tingkat kekakuan atau kelenturan pada suatu campuran beton aspal. Besarnya nilai *MQ* menandakan bahwa kelenturan pada campuran semakin berkurang, sebaliknya kecilnya nilai *MQ* maka campuran semakin lentur. Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *MQ* dapat dilihat pada **Gambar 5.15**.



Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai MQ pada Campuran *HRS-WC*

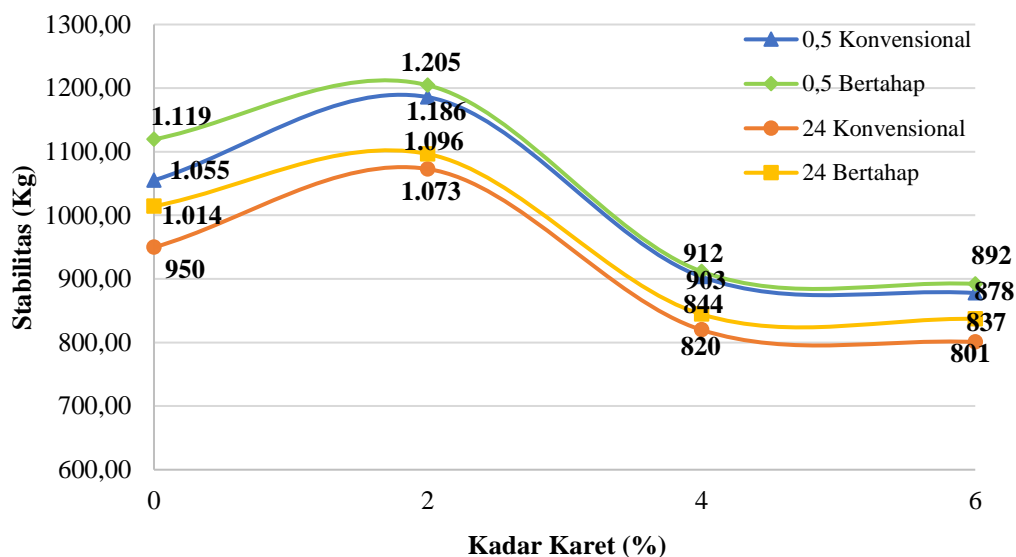
Dapat dilihat pada Gambar 5.15 bahwa nilai MQ pada campuran *HRS-WC* dengan penggunaan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap meningkat seiring dengan bertambahnya kandungan serbuk ban karet. Hal ini disebabkan oleh besarnya nilai stabilitas. Tingginya nilai MQ mengindikasikan tingkat kekakuan campuran yang tinggi. Sejalan dengan penelitian Hardwiyono (2012) yang menunjukkan bahwa seiring penambahan serbuk ban karet maka nilai MQ semakin meningkat.

Pada gambar 5.15 dapat dilihat bahwa nilai MQ campuran *HRS-WC* dengan menggunakan metode pencampuran bertahap memiliki nilai lebih baik namun tidak signifikan dibanding dengan menggunakan metode pencampuran konvensional. Sehingga dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dapat membuat campuran bersifat kaku dan tidak mudah mengalami deformasi. Hidayat (2021) juga menyatakan bahwa penerapan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap beban berat, sehingga cocok digunakan pada konstruksi jalan raya. Senada dengan penelitian Kok dan Kologlu (2011) bahwa metode pencampuran dua fase dapat meningkatkan nilai MQ .

5.4.2 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik *Immersion Test* pada Campuran *HRS-WC*

1. Stabilitas Perendaman

Pengujian stabilitas rendaman bertujuan untuk mengetahui karakteristik dari campuran akibat perubahan suhu, kondisi cuaca dan air. Pengujian rendaman dilakukan dengan 2 kondisi, yaitu perendaman pada suhu 60°C di *waterbath* selama 30 menit dan perendaman pada suhu 60°C di *waterbath* selama 24 jam. Grafik perbandingan nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dan 24 jam terhadap metode pencampuran dan penambahan serbuk ban karet dapat dilihat pada **Gambar 5.16** berikut.



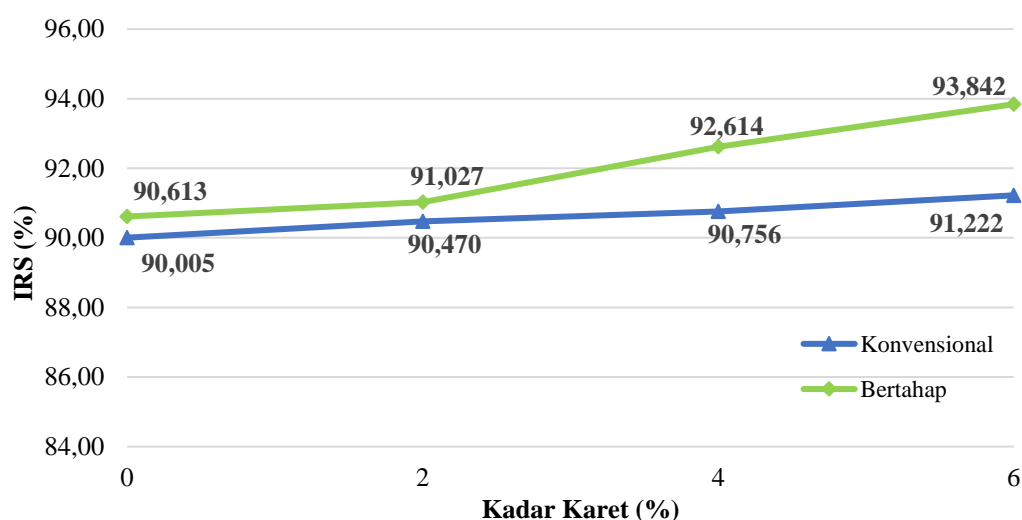
Gambar 5.16 Grafik Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai Stabilitas dengan Durasi Perendaman

Berdasarkan grafik perbandingan yang disajikan pada Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas rendaman 24 jam pada campuran *HRS-WC* lebih rendah dibandingkan dengan nilai stabilitas rendaman 0,5 jam untuk semua kadar penambahan serbuk ban karet. Penurunan nilai stabilitas terjadi akibat waktu perendaman dan menurunnya kerekatan antara aspal dan agregat yang disebabkan oleh pori-pori campuran yang terisi oleh air. Nilai stabilitas perendaman dengan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai stabilitas yang lebih tinggi

dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) yang menyimpulkan bahwa penggunaan metode dua tahap lebih baik dikarenakan pelapisan awal agregat kasar dengan aspal membuat pori-pori campuran lebih terisi oleh aspal sehingga selimut aspal menjadi lebih tebal.

2. *Index of Retained Strength (IRS)*

Nilai *IRS* merupakan hasil perbandingan dari nilai stabilitas rendaman 0,5 jam dengan rendaman 24 jam dalam satuan persen (%). Nilai *IRS* didapat melalui proses perendaman yang bertujuan untuk mengukur ketahanan campuran setelah mengalami perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam terhadap perendaman selama 0,5 jam. Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *Index of Retained Strength (IRS)* dapat dilihat pada **Gambar 5.17**.



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *IRS* pada Campuran *HRS-WC*

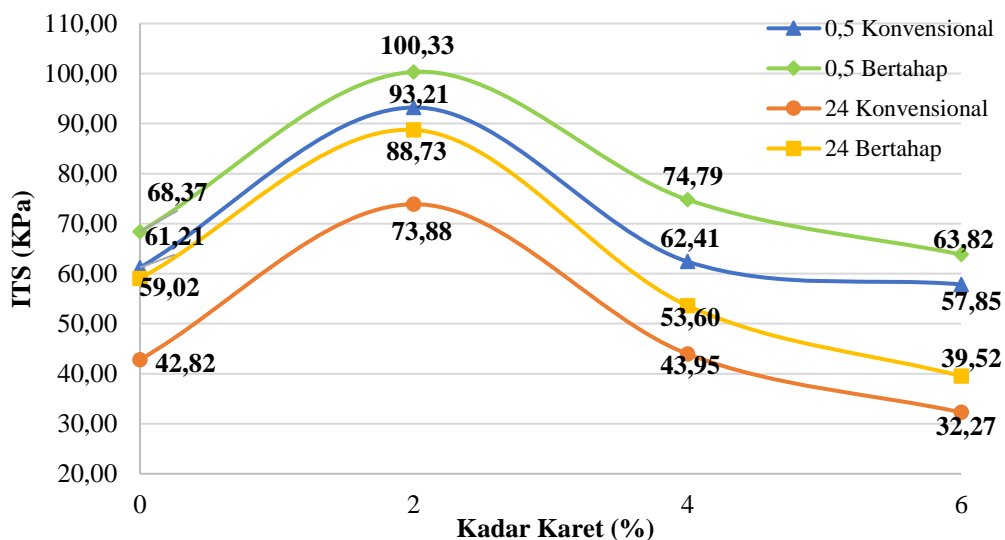
Pada Gambar 5.17 dapat dilihat bahwa bahwa nilai *IRS* untuk campuran *HRS-WC* dengan penggunaan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap mengalami peningkatan seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet secara signifikan. Peningkatan nilai *IRS* dikarenakan

serbuk ban pada aspal dapat memberikan indikasi untuk memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi sehingga mencegah terjadinya kerusakan. Sejalan dengan penelitian Maulana (2018) yang menyimpulkan penambahan serbuk ban bekas pada kondisi optimum dapat meningkatkan nilai *IRS* pada campuran.

Berdasarkan grafik yang disajikan Dalam Gambar 5.17, terlihat bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *IRS* yang lebih tinggi dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional, meskipun perbedaannya tidak begitu besar. Dengan demikian dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap pada campuran *HRS-WC* dapat meningkatkan ketahanan aspal terhadap pengaruh cuaca dan perubahan suhu.. Hasil ini senada dengan temuan dalam penelitian Hidayat (2021) yang menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap air, perubahan suhu, dan pengaruh cuaca, hal tersebut dikarenakan efek dari pelapisan awal agregat kasar dengan aspal memungkinkan aspal untuk menembus ke dalam *mikro-void* pada agregat kasar, sehingga mengisi pori-pori campuran secara lebih baik.. Wahyudi (2019) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa metode pencampuran bertahap mampu menghasilkan nilai *IRS* yang lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional.

5.4.3 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Campuran *HRS-WC*

Pengujian *ITS* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran beton aspal dalam menahan gaya tarik. Semakin tinggi nilai *ITS* pada campuran maka semakin baik dalam menahan gaya tarik. Grafik perbandingan nilai *Indirect Tensile Strength (ITS)* terhadap penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran dapat dilihat pada **Gambar 5.18** berikut.



Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *ITS* pada Campuran *HRS-WC*

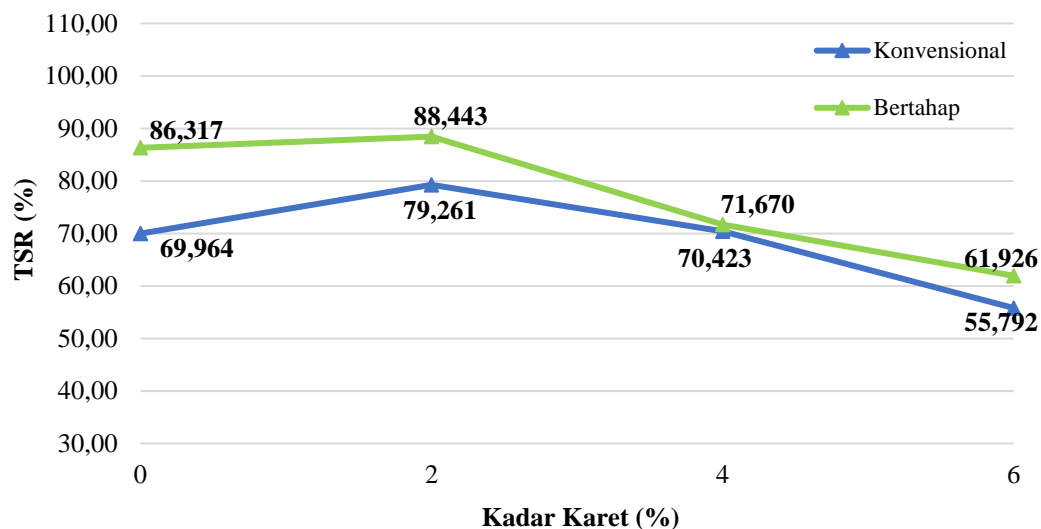
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.18 dapat diketahui bahwa nilai *ITS condition* dan *ITS uncondition* pada campuran *HRS-WC* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap mengalami peningkatan pada kadar serbuk ban karet sebesar 2%, dan selanjutnya seiring penambahan kadar serbuk ban yaitu dengan kadar 4% dan 6% mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk ban pada kadar 2% menghasilkan nilai titik lembek yang tinggi dan nilai penetrasi yang rendah. Hal tersebut membuat aspal menjadi keras, serta tahan terhadap perubahan suhu. Yusuf (2015) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa penambahan karet remah dapat meningkatkan kemampuan pada campuran terhadap kuat tarik tidak langsung. Nilai kohesi yang tinggi akan membuat daya lekat antar agregat semakin tinggi sehingga membuat campuran aspal semakin kuat. Sebaliknya jika daya lekat antar agregat semakin rendah maka campuran aspal akan mudah mengalami keretakan.

Pada Gambar 5.18 juga dapat dilihat bahwa nilai *ITS condition* lebih rendah dari pada nilai *ITS uncondition* baik dengan penggunaan metode pencampuran bertahap maupun dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini dapat terjadi karena proses perendaman di dalam *waterbath* selama 24 jam

dapat menurunkan kinerja campuran perkerasan seperti menurunkan daya ikat antar aspal dan agregat, perkerasan yang melunak serta dapat mengalami keretakan. Dari grafik perbandingan diatas dapat diketahui bahwa penggunaan metode bertahap menghasilkan nilai *ITS* yang lebih tinggi dibanding dengan metode konvensional baik pada nilai *ITS condition* maupun *ITS uncondition*. Dapat disimpulkan bahwa campuran dengan metode pencampuran bertahap memiliki kemampuan yang lebih efektif dalam mengurangi risiko terjadinya retak akibat kegagalan gaya tarik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hasil ini senada dengan temuan dalam penelitian Yaro (2021) mengenai pengaruh metode pencampuran terhadap kinerja campuran. Yaro menyimpulkan bahwa penggunaan metode pencampuran bergradasi menghasilkan nilai *ITS* yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional. Hal ini disebabkan oleh peningkatan penyebaran agregat dan aspal dalam campuran, sehingga menghasilkan campuran yang lebih baik. Hesami (2015) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa efek dari penggunaan metode 2 fase lebih baik dan mampu meningkatkan nilai kuat tarik tidak langsung, serta mampu mengurangi peluang terjadinya keretakan yang besar.

5.4.4 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Tensile Strenght Ratio (TSR)* pada Campuran *HRS-WC*

Nilai *TSR* merupakan hasil perbandingan antara nilai *ITS uncondition* dan nilai *ITS condition* dalam satuan persen (%). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dampak rendaman terhadap kemungkinan terjadinya retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*). Nilai *TSR* diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strenght*). Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *Tensile Strenght Ratio (TSR)* dapat dilihat pada **Gambar 5.19**.



Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *TSR* pada Campuran *HRS-WC*

Grafik perbandingan yang disajikan pada Gambar 5.19 dapat dilihat bahwa nilai *TSR* dengan metode pencampuran konvensional dan metode pencampuran bertahap mengalami peningkatan pada kadar penambahan serbuk ban karet sebesar 2% dan terjadi penurunan pada penambahan sebesar 4% dan 6%. Peningkatan nilai *TSR* pada kadar 2% dikarenakan nilai *PI* yang tinggi sehingga memungkinkan campuran memiliki ikatan antar agregat yang kuat karena kepekaan yang rendah terhadap temperatur dan kelembaban. Wiranata (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa mastikasi karet memiliki efek meningkatkan kekuatan tarik campuran aspal selama perendaman sehingga menghasilkan daya rekat dan daya dukung yang optimal.

Berdasarkan Gambar 5.19 juga dapat diketahui bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *TSR* yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap memiliki kemampuan mempertahankan kekuatan ikatan antar aspal dan agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik yang disimulasikan dengan perendaman. Penelitian ini sejalan dengan Hidayat (2021) yang menyatakan Penggunaan metode pencampuran dua tahap dapat mengurangi risiko terjadinya

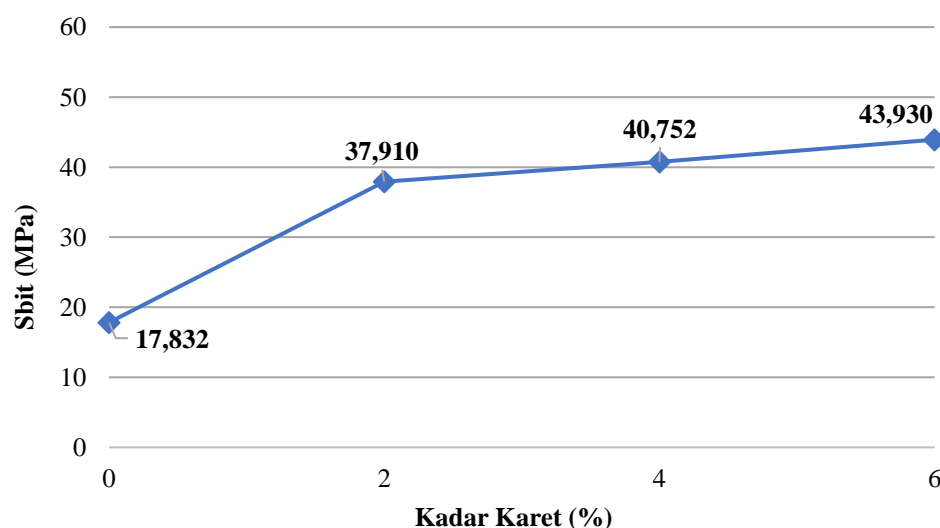
retak akibat kegagalan gaya tarik yang disebabkan oleh efek temperatur atau perubahan suhu. Kok dan Kologlu (2011) menyatakan bahwa metode pencampuran dua tahap memiliki kemampuan untuk meningkatkan adhesi antara agregat dan aspal, sehingga campuran menjadi lebih tahan terhadap pengaruh suhu dan air. Wahyudi (2019) menyatakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *TSR* lebih baik jika dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional. Sehingga penurunan daya tahan tarik sisa pada campuran lebih kecil.

5.4.5 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Stiffness Modulus* pada Campuran *HRS-WC*

Modulus kekakuan (*Stiffness modulus*) terbagi menjadi dua bagian, yaitu modulus kekakuan bitumen dan modulus kekakuan campuran.

1. Modulus Kekakuan Bitumen (*Stiffness Modulus of Bitumen*)

Nilai modulus kekakuan bitumen (*Sbit*) dipengaruhi oleh beberapa faktor, selain perubahan suhu dan lama pembebanan. Hal ini juga dapat bergantung pada jenis bitumen yang digunakan dan jenis modifikasi yang diterapkan. Berikut grafik hasil perhitungan modulus kekakuan bitumen dengan penambahan serbuk ban karet pada **Gambar 5.20**.

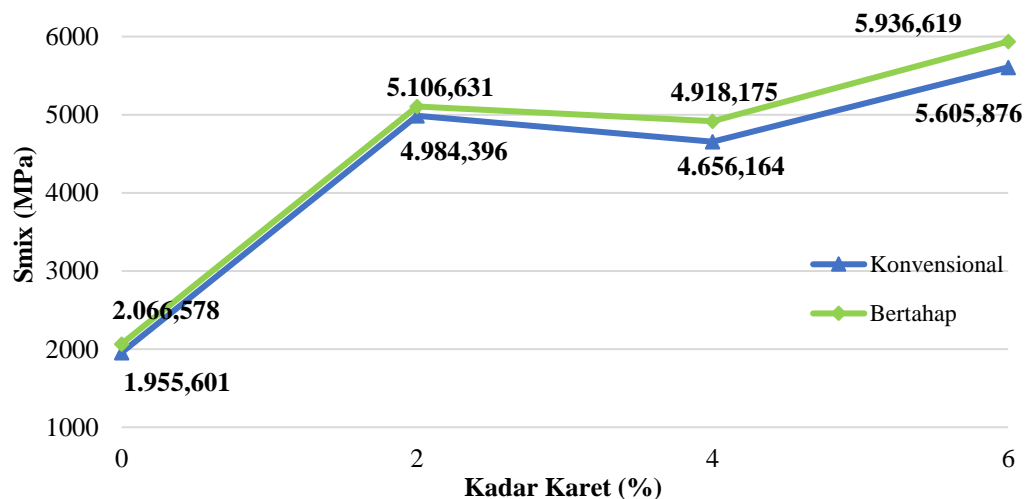


Gambar 5.20 Grafik Hubungan Nilai *Sbit* Campuran *HRS-WC* dengan Penambahan Serbuk Ban Karet

Pada Gambar 5.20 terlihat bahwa nilai *Sbit* meningkat seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet. Peningkatan nilai *Sbit* dengan penambahan serbuk ban karet disebabkan oleh 2 faktor, yaitu meningkatnya nilai titik lembek dan nilai penetrasi yang semakin rendah. Penelitian yang dilakukan oleh Hidayat (2021) menunjukkan bahwa modulus kekakuan pada aspal karet memiliki nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal pen 60/70.

2. Modulus Kekakuan Campuran (*Stiffness Modulus of Mixture*)

Nilai modulus kekakuan campuran (S_{mix}) mengindikasikan kemampuan perkerasan dalam mendukung beban, dan hal ini sering disebut sebagai kapasitas dukung perkerasan dalam menahan beban roda kendaraan. Nilai modulus kekakuan campuran dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk modulus kekakuan bitumen (*Sbit*), volume agregat padat (C_v), volume bitumen (C_b), dan volume rongga dalam campuran. Berikut grafik hasil perhitungan modulus kekakuan campuran dengan penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran pada **Gambar 5.21**.

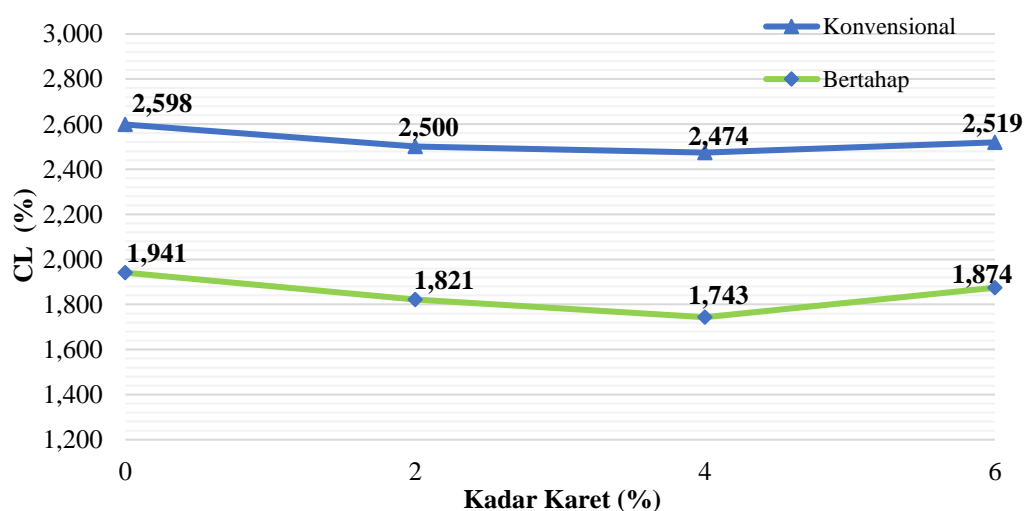


Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai S_{mix} pada Campuran HRS-WC

Berdasarkan Gambar 5.21 terlihat bahwa metode pencampuran bertahap memiliki nilai *Smix* yang cenderung lebih tinggi jika dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Sejalan dengan penelitian Hidayat (2021) yang menyimpulkan bahwa penerapan metode pencampuran dua tahap pada campuran *HRS-WC* menghasilkan nilai *Smix* yang lebih tinggi dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Tingginya nilai *Smix* pada campuran disetiap penambahan serbuk ban karet menandakan bahwa campuran tersebut mempunyai kemampuan penyebaran pembebanan pada perkerasan dan kembali ke bentuk semula dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan karet. Menurut Hadi dan Fauziah (2020), tingkat kekakuan yang tinggi, baik pada nilai *Sbit* maupun *Smix* dalam campuran, akan menghasilkan struktur perkerasan yang memiliki keunggulan, yaitu ketahanan terhadap perubahan distribusi beban yang disebabkan oleh kecepatan kendaraan.

5.4.6 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Cantabro Loss (CL)* pada Campuran *HRS-WC*

Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *Cantabro Loss (CL)* dapat dilihat pada Gambar 5.22.



Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *Cantabro* pada Campuran *HRS-WC*

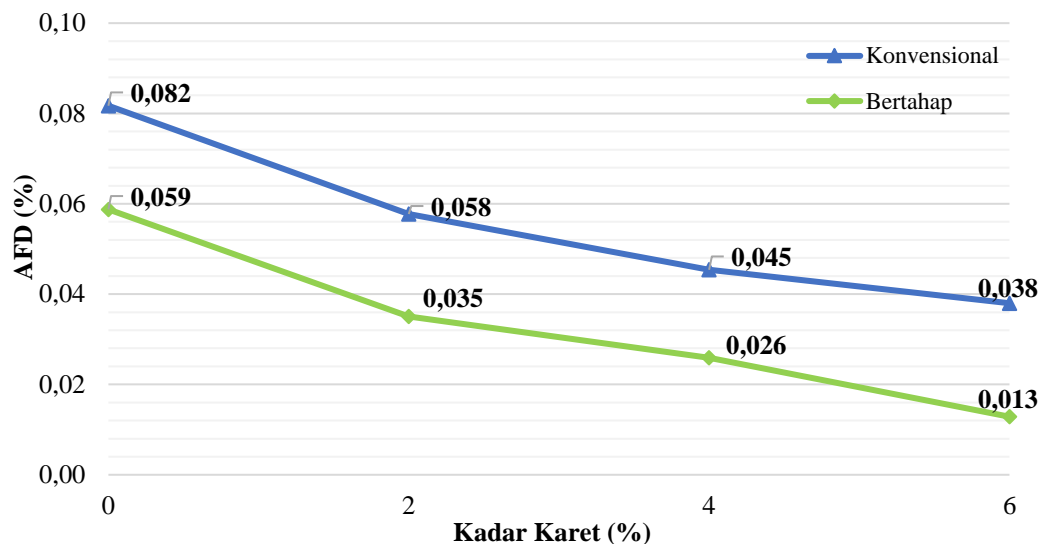
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.22 terlihat bahwa dengan penambahan serbuk ban karet pada campuran *HRS-WC*, mengakibatkan nilai *CL* mengalami penurunan baik dengan penggunaan metode pencampuran konvensional maupun dengan metode pencampuran bertahap namun tidak signifikan. Penambahan serbuk ban karet memiliki pengaruh terhadap nilai *CL*, seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet maka nilai *CL* semakin rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan kehilangan berat terhadap keausan. Sejalan dengan penelitian Mawarni (2019) yang menyatakan penambahan ban karet pada campuran mengakibatkan nilai *CL* lebih rendah. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ban karet dapat meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan beban yang berulang.

Hasil nilai *Cantabro Loss* pada Gambar 5.22 menunjukkan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *CL* yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Nilai *CL* yang rendah ini menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap dapat menghasilkan penguncian yang lebih baik antara aspal dan agregat, sehingga campuran tetap dalam kondisi awalnya dan tidak terpengaruh oleh dampak benturan. Senada dengan penelitian Hidayat (2021) yang menyatakan metode pencampuran dua tahap menghasilkan kemampuan daya rekat dan daya dukung yang lebih baik, sehingga dapat mengurangi pengelupasan aspal dari campuran akibat beban yang berulang.. Yaro (2021) dalam penelitiannya juga menyatakan bahwa proses pencampuran yang berurutan memiliki persentase kehilangan berat yang lebih rendah dan memiliki kemampuan menahan keausan.

5.4.7 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap *Asphalt Flow Down (AFD)* pada Campuran *HRS-WC*

Pengujian *AFD* dilakukan untuk menentukan kadar maksimum aspal yang dapat bercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *AFD* merupakan parameter untuk mengevaluasi sejauh mana aspal efektif dalam melapisi agregat atau berperan sebagai lapisan film pada

campuran. Berikut ini adalah grafik pengaruh penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran terhadap nilai *AFD* dapat dilihat pada **Gambar 5.23**.



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Nilai *AFD* pada Campuran *HRS-WC*

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.23, terlihat bahwa dengan penambahan serbuk ban karet pada campuran *HRS-WC* dapat menurunkan nilai *AFD* baik dengan penggunaan metode pencampuran konvensional maupun dengan metode pencampuran bertahap. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kohesi pada aspal sehingga ikatan antar aspal juga akan tetap kuat walaupun film aspal pada agregat cukup tebal. Dari Gambar 5.23 juga dapat dilihat bahwa nilai *AFD* dengan Penerapan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan metode pencampuran konvensional. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dapat menghasilkan campuran yang lebih homogen sehingga mampu mengurangi terjadinya pemisahan aspal.

5.5 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet dan Metode Pencampuran Terhadap Seluruh Kinerja Campuran *HRS-WC*

Berikut rekapitulasi hasil pengujian keseluruhan karakteristik pada campuran *HRS-WC* dengan penambahan serbuk ban karet dan metode pencampuran dapat dilihat pada **Tabel 5.16** dan **Tabel 5.17**.

Tabel 5.16 Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran HRS-WC

No	Kinerja Campuran	Pengaruh Kadar Serbuk Ban Karet (0%, 2%, 4%, dan 6%)
1	Karakteristik <i>Marshall</i>	
	Stabilitas	Mampu memperbaiki kinerja stabilitas campuran pada penambahan 2% serbuk ban karet
	<i>Flow</i>	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada penambahan 2% serbuk ban karet
	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	Semua kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran
	<i>Void In Total Mix (VITM)</i>	Penambahan serbuk ban karet mampu mengurangi rongga dalam campuran
	<i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	Penambahan serbuk ban karet mampu meningkatkan penyelimutan aspal pada campuran
	<i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	Penambahan 2% dan 6% mampu mengurangi rongga antar agregat pada campuran
	Kepadatan (<i>Density</i>)	Menurunkan tingkat kepadatan pada campuran
2	<i>Index Retained Strenght (IRS)</i>	Semua kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja daya tahan pada campuran
3	<i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	Mampu memperbaiki kinerja kuat tarik pada campuran dengan penambahan 2% dan 4% serbuk ban karet
4	<i>Tensile Strenght Ratio</i>	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada penambahan 2% serbuk ban karet
5	<i>Stiffness Modulus of Bitument (Sbit)</i>	Semua kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran
6	<i>Stiffness Modulus of Mixture (Smix)</i>	Semua kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran
7	<i>Cantabro Loss (CL)</i>	Penambahan serbuk ban karet memiliki kemampuan ketahanan terhadap keausan
8	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	Penambahan serbuk ban karet meningkatkan ikatan antar aspal menjadi lebih kuat

Tabel 5.17 Pengaruh Metode Pencampuran Konvensional dan Bertahap Terhadap Kinerja Campuran HRS-WC

No	Kinerja Campuran	Pengaruh Metode Pencampuran Konvensional dan bertahap
1	Karakteristik <i>Marshall</i>	
	Stabilitas	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	<i>Flow</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	<i>Marshall Quotient (MQ)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	<i>Void In Total Mix (VITM)</i>	Metode bertahap mampu mengurangi rongga dalam campuran lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	<i>Void Filled With Asphalt (VFWA)</i>	Metode bertahap mampu meningkatkan penyelimutan aspal pada campuran lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	<i>Void in Mineral Aggregate (VMA)</i>	Metode bertahap mampu mengurangi rongga antar agregat pada campuran lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
	Kepadatan (<i>Density</i>)	Metode pencampuran bertahap memiliki kepadatan yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
2	<i>Index Retained Strenght (IRS)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja daya tahan yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
3	<i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja kuat tarik yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
4	<i>Tensile Strenght Ratio</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
5	<i>Stiffness Modulus of Mixture (Smix)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan metode konvensional
6	<i>Cantabro Loss (CL)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja kemampuan ketahanan terhadap keausan yang lebih baik
7	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	Metode pencampuran bertahap memiliki kinerja meningkatkan ikatan antar aspal menjadi lebih kuat.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis data pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* dengan metode pencampuran konvensional dan metode bertahap, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua jenis metode pencampuran terhadap nilai *VITM*, *VFWA*, dan *VMA* baik dengan metode pencampuran konvensional atau dengan metode pencampuran bertahap. Namun dilihat dari penambahan serbuk ban ada perbedaan yang signifikan pada nilai *VITM*, *VFWA*, dan *Density*. Dari segi parameter mekanisnya, nilai stabilitas, *flow*, dan *MQ* memiliki perbedaan yang signifikan baik dengan penambahan serbuk ban karet maupun dengan penggunaan metode pencampuran. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kinerja *Hot Rolled Sheet (HRS-WC)*.
2. Penambahan serbuk ban karet pada campuran *Hot Rolled Sheet (HRS-WC)* dengan penggunaan metode pencampuran bertahap menghasilkan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* yang signifikan lebih tinggi dari penggunaan metode pencampuran konvensional. Pelapisan awal agregat kasar dengan aspal memungkinkan aspal untuk menembus *microvoid* agregat kasar. Hal tersebut membuat pori-pori pada campuran lebih terisi dan meningkatkan film atau selimut aspal, serta mengurangi kelembaban agregat. Akibatnya metode pencampuran bertahap dapat meningkatkan daya tahan campuran beraspal terhadap pengaruh air, suhu, dan cuaca.
3. Metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet menghasilkan peningkatan nilai *ITS* campuran *HRS-WC* yang signifikan. Nilai *ITS* optimum berada pada kadar penambahan serbuk ban karet sebesar

2%. Nilai *ITS* meningkat dengan penambahan serbuk ban karet sampai pada nilai optimum, selanjutnya mengalami penurunan dengan penambahan serbuk ban karet.

4. Metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet menghasilkan nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* yang lebih baik dibandingkan dengan penggunaan metode konvensional. Hal ini dikarenakan efek dari pelapisan awal agregat dengan aspal menghasilkan campuran yang lebih homogen dan kedap air, sehingga mampu meningkatkan daya lekat aspal dengan agregat dan mengurangi keretakan akibat kegagalan gaya tarik yang dipengaruhi oleh cuaca, iklim, dan perubahan suhu.
5. Penambahan serbuk ban karet terhadap modulus kekakuan bitumen (*Sbit*) menghasilkan peningkatan nilai *Sbit* seiring dengan penambahan serbuk ban karet. Peningkatan nilai modulus kekakuan bitumen (*Sbit*) disebabkan oleh 2 faktor yaitu, semakin rendahnya nilai penetrasi dan meningkatnya nilai titik lembek. Dilihat dari perbandingan nilai modulus kekakuan campuran (*Smix*), Penggunaan metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet pada campuran *HRS-WC* menghasilkan nilai yang lebih tinggi daripada metode pencampuran konvensional. Hal ini menunjukkan bahwa metode pencampuran bertahap menghasilkan campuran yang memiliki keunggulan, yaitu ketahanan terhadap perubahan distribusi beban yang berasal dari kecepatan kendaraan.
6. Metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet menghasilkan nilai *Cantabro Loss* secara signifikan lebih rendah dari metode pencampuran konvensional. Nilai *Cantabro Loss* menurun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Penurunan nilai *Cantabro Loss* menandakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet mampu menghasilkan campuran yang memiliki daya dukung dan daya lekat yang lebih baik sehingga mampu memperlambat pengelupasan aspal dari campuran.
7. Metode pencampuran bertahap dan penambahan serbuk ban karet menghasilkan nilai *Asphalt Flow Down* secara signifikan lebih rendah dari

penggunaan metode pencampuran konvensional. *Nilai Asphalt Flow Down* dengan metode pencampuran bertahap lebih baik dibandingkan dengan metode pencampuran konvensional. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan metode pencampuran bertahap dapat menghasilkan campuran yang homogen sehingga mampu mengurangi terjadinya pemisahan aspal.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dari pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran *Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC)* dengan metode pencampuran konvensional dan metode bertahap, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Metode pencampuran bertahap dapat digunakan pada campuran *HRS-WC* karena mampu meningkatkan nilai stabilitas, durabilitas, ketahanan geser, dan mengurangi terjadinya pelepasan butir pada campuran beraspal.
2. Perlu dilakukan analisis lebih lanjut untuk mengetahui efektivitas penggunaan metode pencampuran bertahap terhadap metode pencampuran konvensional.
3. Penambahan serbuk ban karet sebagai bahan tambah dapat digunakan pada campuran *HRS-WC* dengan penambahan kadar optimum sebesar 2% terhadap nilai KAO. tidak berbeda jauh dengan penelitian terdahulu dengan penambahan kadar optimum sebesar 1,5% - 3%.
4. Perlu diteliti lebih lanjut kandungan kimia yang ada dalam serbuk ban karet yang digunakan.
5. Perlu dilakukan pengujian permeabilitas pada campuran *HRS-WC* untuk mengetahui tingkat kerapatan atau seberapa kedap campuran untuk dapat ditembus oleh air.
6. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai karakteristik campuran aspal dengan campuran gradasi lain sebagai pembanding tambahan dalam penggunaan serbuk ban karet sebagai bahan tambah dengan metode pencampuran bertahap.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1982. *Standar Spesification For Transportation Materials and Method of Sampling and testing*. Washington D. C
- Azizah, N., dan Rahardjo, B. (2017). Kinerja Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course (HRS-WC) Dengan Filler Abu Ampas Tebu. *Jurnal Bangunan*, 22(2), 11–20.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). Campuran Beraspal Panas (Hotmix). In *Spesifikasi Umum 2018*. Departemen Pekerjaan Umum.
- Faisal, Shaleh S. M, dan Isya M. (2014). Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen. 60/70 Dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4. *Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 11, 38–48.
- Fithra H. (2019). *Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)* (Ismail, Ed.; Cetakan Pertama). Unimal Press.
- Hadi, M. A., dan Fauziah, M. (2020). Sensitivitas Kinerja Struktur Campuran Superpave Terhadap Pengaruh Variasi Tipe Bahan Ikat dan Kecepatan Kendaraan. *Civil Engineering, Environmental, Disaster and Risk Management Symposium 2020*. Univeritas Islam Indonesia. Yogyakarta
- Hardiyatmo, H. C. (2011). *Perancangan Perkerasan Jalan dan Penyelidikan Tanah*, Yogyakarta, Gadjah Mada University Press
- Hardwiyono. (2012). Pengaruh Penambahan Parutan Karet Ban Gradasi Tipe 2 terhadap Parameter Marshall pada Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course. *Jurnal Ilmiah Semesta Teknika*, 15(2), 149–157.
- Hesami E, Birgisson B, and Kringos N. (2015). Effect of mixing sequence on the workability and performance of asphalt mixtures. *Asphalt Paving*

Technology: Association of Asphalt Paving Technologists-Proceedings of the Technical Sessions, 84, 413–438.

- Hidayat M. I. (2021). *Pengaruh Metode Pencampuran Dua Tahap Terhadap Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Aspal Crumb Rubber* [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia.
- Jatmiko M, dan Marianti A. (2019). Pengujian Marshall HRS-WC Dengan Campuran Serbuk Ban Luar. *Jurnal Sondir*, 2, 1–5.
- Kok, B. V., and Kuloglu, N. (2011). Effects of Two-Phase Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. *Road Materials and Pavement Design*, 12(4), 721–738.
- Maulana, R. G., Arrofif, Z., Warsiti, W., Kusdiyono, K., dan Risman, R. (2018). Meningkatkan Karakteristik Marshall Dengan Menambah Serbuk Ban Bekas Ke Dalam Campuran Laston AC-WC. *Bangun Rekaprima: Majalah Ilmiah Pengembangan Rekayasa, Sosial dan Humaniora*, 4(2, Oktober), 11-24.
- Mulyono A.T. (2006). Kinerja Pemberlakuan Standar Mutu Perkerasan Pada Peningkatan Dan Pemeliharaan Jalan Nasional – Provinsi. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 14(3), 309–328.
- Oktaviastuti, B., Leliana, A., dan Luthfil A. (2020). Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Ban Bekas Pada Konstruksi Hot Rolled Sheet-Wearing Course. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, 5(Juni). <https://www.liputan6.com>,
- Prabudi D, dan Kosim. (2015). Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas Sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beraspal Daur Ulang Pada Lapis Permukaan Atas. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 12(2). www.pu.go.id
- Purnomo, W., Evaldo, B., dan Suparma, L.B. (2014). Pemanfaatan Crumb Rubber (Tyre Rubber) Sebagai Aditif pada Aspal Modifikasi Polimer. *Tesis*. Yogyakarta. Universitas Gadjah Mada

- Ramadhan, M. Z., dan Iduwin T. (2022). Pengaruh PRD Dan Karakteristik Marshall Pada Serbuk Karet Ban Terhadap Campuran HRS-WC. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(1), 1–8.
- Ridha, R., Salonten, dan Murniati. (2021). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Menggunakan Bahan Tambah Karet Padat. *Jurnal Kacapuri* , 4(2), 1–12.
- Sugiyanto, G. (2009). Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(2).
- Subarkah. (2021). Materi Perkuliahan Bahan Perkerasan Jalan. Revisi 5. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Sugiyanto, G. (2009). Kajian Karakteristik Campuran Hot Rolled Asphalt Akibat Penambahan Limbah Serbuk Ban Bekas. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Atma Jaya Yogyakarta*, 8(2).
- Sukirman, S. (1992). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova. Bandung.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*, Nova. Bandung
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Yayasan Obor Indonesia. Jakarta.
- US Departemen of Transportation.1986. Higway Administration. Amerika.*
- Wahyudi, A. T. (2020). Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran Superpave Dan Aspal Porus. [Skripsi]. Universitas Islam Indonesia
- Wijanarko F.H, dan Mulia M. B. (2013). Pemanfaatan Limbah Ampas Tebu Sebagai Pengganti Filler Untuk Campuran Aspal Beton Jenis “Hot Rolled Sheet-Wearing Course.” *Jurnal Karya Teknik Sipil*, 2, 363–369.
- Yahya Y, Desriantomy, dan Robby. (2019). Analisis Karakteristik Marshall Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC) Menggunakan

BahanTambah Plastik Bekas Jenis Polyethylene Terephthalate (PET).
Prosiding Simposium Forum Studi Transportasi Antar Perguruan Tinggi, 1–10.

Yaro, N. S. A., Napiah, M. B., Sutanto, M. H., Usman, A., and Saeed, S. M. (2021). Performance evaluation of waste palm oil fiber reinforced stone matrix asphalt mixtures using traditional and sequential mixing processes. *Case Studies in Construction Materials*, 15.

Yu, H., Zhu, Z., Leng, Z., Wu, C., Zhang, Z., Wang, D., and Oeser, M. (2020). Effect of mixing sequence on asphalt mixtures containing waste tire rubber and warm mix surfactants. *Journal of Cleaner Production*, 246.

Yusuf, M., Setyawan, A., dan Sarwono, D. (2014). Kekuatan dan Ketahanan Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Dengan Penambahan Karet Remah. *Matriks Teknik Sipil*, 3(1).

LAMPIRAN

Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 1. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pertamina Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	10.00 WIB
	Selesai	130	10.30 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130	10.30 WIB
	Selesai	27	13.00 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	13.00 WIB
	Selesai	27	13.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	61		
2	70	64,5		
3	62	65		
4	63,5	70		
5	67	70		
Rata2	64,9	66,1		
Rerata	65,5			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 2. Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

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

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet

Sumber : Pertamina

Tahun Uj : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	13.00 WIB
	Selesai	180	13.30 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	180	13.30 WIB
	Selesai	27	14.10 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	14.10 WIB
	Selesai	27	14.25 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	39	40		
2	40	39		
3	40	40		
4	40	40		
5	41	40		
Rata2	40	40		
Rerata	40			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 3. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pertamina Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL DAN TER

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu (°C)	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	13.30 WIB
	Selesai	50	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	50	13.30 WIB
	Selesai	27	15.00 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	15.00 WIB
	Selesai	52	15.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemasanan (dtk)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C				
2	10°C	138	139		
3	15°C	209	210		
4	20°C	310	310		
5	25°C	373	374		
6	30°C	443	443		
7	35°C	516	515		
8	40°C	612	611		
9	45°C	680	677		
10	50°C	762	763	47	49

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 4. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pertamina Pen 60/70 Modifikasi

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL DAN TER

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu (°C)	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji			
		Mulai	27	09.00 WIB
		Selesai	180	09.35 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
		Mulai	180	09.50 WIB
		Selesai	27	10.40 WIB
3	Diperiksa			
		Mulai	27	10.40 WIB
		Selesai	54	11.55 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemasanan (dtk)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C				
2	10°C	157	157		
3	15°C	292	292		
4	20°C	420	420		
5	25°C	575	575		
6	30°C	723	723		
7	35°C	890	890		
8	40°C	1050	1050		
9	45°C	1219	1219		
10	50°C	1405	1405	48	50

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIK : 20914026

Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 5. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pen 60/70

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Pembacaan Suhu Oven $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath pada suhu 25°C	60 Menit	Pembacaan Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	Pembacaan Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	keterangan
1	Sampel 1	165	Tidak Putus
2	Sampel 2	165	Tidak Putus

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 6. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 6. Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pertamina Pen 60/70 Modifikasi

PEMERIKSAAN DAKTILITAS

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet

Sumber : Pertamina

Tahun Uj : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Pembacaan Suhu Oven $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Didiamkan Pada Suhu Ruang	60 Menit	
3	Perendaman Benda Uji	Direndam Dalam Waterbath pada suhu 25°C	60 Menit	Pembacaan Suhu waterbath $\pm 25^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Daktilitas pada suhu 25°C , kecepatan 5 cm per menit	20 menit	Pembacaan Suhu alat $\pm 25^{\circ}\text{C}$

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian	keterangan
1	Sampel 1	39	Putus
2	Sampel 2	43	Putus

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIK : 20914026

Lampiran 7. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext.3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 7. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	13.00 WIB
	Selesai	130	13.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	130	13.15 WIB
	Selesai	27	13.45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	13.45 WIB
	Selesai	300	14.15 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	344	349

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 8. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 8. Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Pen 60/70 Modifikasi

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	11.30 WIB
	Selesai	180	11.45 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai	180	11.45 WIB
	Selesai	27	12.20 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	12.30 WIB
	Selesai	300	13.10 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji 1	314	322
2	Benda Uji 2	314	321
3	Rata-rata	314	321,5

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 9. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam CCL4



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 9. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 Dalam CCL4

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan Waktu	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	14.30	27
2	Pelarutan	Mulai	14.40	27
3	Penyaringan	Mulai	14.45	27
		Selesai	15.15	27
4	Di Oven	Mulai	15.15	110
5	Penimbangan	Selesai	15.30	27

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Mayer Kosong	63,57	63,59
2	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	65,02	65,44
3	Berat Aspal (2-1)	1,45	1,85
4	Berat Kertas Saring Basah	0,58	0,57
5	Berat Kertas Saring Basah + Mineral	0,59	0,57
6	Berat Mineral (5-4)	0,01	0,00
7	Persentase Mineral (6/3 x 100%)	0,69	0,00
8	Aspal yang Larut (100% -7)	99,31	100,00
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut	99,66	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 10. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam CCL4 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 10. Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 Dalam CCL4 Modifikasi

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan Waktu	
			Waktu	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	09.15	27
2	Pelarutan	Mulai	09.20	27
3	Penyaringan	Mulai	10.10	27
		Selesai	10.13	27
4	Di Oven	Mulai	10.14	110
5	Penimbangan	Selesai	10.25	27

HASIL PENGAMATAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Mayer Kosong	75,22	68,90
2	Berat Erlen Mayer Kosong + Aspal	76,48	70,14
3	Berat Aspal (2-1)	1,26	1,24
4	Berat Kertas Saring Basah	0,6	0,60
5	Berat Kertas Saring Basah + Mineral	0,62	0,63
6	Berat Mineral (5-4)	0,02	0,03
7	Persentase Mineral (6/3 x 100%)	1,59	2,42
8	Aspal yang Larut (100%-7)	98,41	97,58
9	Rata-Rata Aspal Yang Larut	98,00	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 11. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 11. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina

Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	24,73	23,72
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	47,41	47,41
3	Berat Aquadest (gr)	22,68	23,69
4	Berat Piknometer + Aspal (gr)	26,89	26,04
5	Berat Aspal (gr)	2,16	2,32
6	Berat Piknometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,57	47,49
7	Berat Aquadest (gr)	20,68	21,45
8	Volume Aspal (gr)	2,00	2,24
9	Berat Jenis Aspal	1,08	1,04
10	Rata-Rata BJ Aspal	1,058	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70 Modifikasi



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 12. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + 2% Serbuk Ban Karet
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2023

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Piknometer Kosong (gr)	24,04	24,42
2	Berat Piknometer + Aquadest (gr)	47,26	46,57
3	Berat Aquadest (gr)	23,22	22,15
4	Berat Piknometer + Aspal (gr)	25,37	25,73
5	Berat Aspal (gr)	1,33	1,31
6	Berat Piknometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,31	46,6
7	Berat Aquadest (gr)	21,94	20,87
8	Volume Aspal (gr)	1,28	1,28
9	Berat Jenis Aspal	1,04	1,02
10	Rata-Rata BJ Aspal	1,031	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 13. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 13. Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina
Tahun Uji : 2022

PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Urutan Pemeriksaan	Pembacaan Suhu	Pembacaan Waktu	
1	Pemanasan Benda Uji	Mulai	25	09.00 WIB
		Selesai	150	09.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang	Mulai	150	09.15 WIB
		Selesai	25	10.45 WIB
3	Diperiksa	Mulai	25	10.45 WIB
		Selesai	25	11.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	% terselimuti Aspal	Keterangan
1	Benda Uji 1	98%	Memenuhi
2	Benda Uji 2	98%	Memenuhi
3	Rata-Rata	98%	Memenuhi

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjir.ftsp@gmail.com

Lampiran 14. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	1612,14	1615,65
2	Berat benda Uji Dalam Air (BA)	1005,38	1006,44
3	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1570,37	1571,52
4	Berat Jenis (Bulk)	2,59	2,58
5	Berat Jenis (SSD)	2,66	2,65
6	Berat Jenis (Semu)	2,78	2,78
7	Penyerapan Air	2,66	2,81
8	Berat Jenis Efektif	2,68	2,68
9		2,68	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 15. Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Jenuh (BJ)	501,86	501,06
2	Berat Piknometer + Air (B)	692,34	668,42
3	Berat Piknometer + Air + Benda Uji (BT)	1015,27	988,03
4	Berat Benda Uji Kering (BK)	494,55	492,57
5	Berat Jenis (Bulk)	2,79	2,73
6	Berat Jenis (SSD)	2,82	2,77
7	Berat Jenis (Semu)	2,88	2,85
8	Penyerapan Air	1,10	1,51
9	Berat Jenis Efektif	2,84	2,79
10		2,81	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 16. Pemeriksaan *Sand Equivalent*



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 16. Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Sumber : Clereng Kulonprogo
Tahun Uji : 2022

No	Pemeriksaan		Benda Uji	
			1	2
1	Persiapan dan perendaman benda uji dalam larutan CaCL ₂ (\pm 10,1 menit)	Mulai	11.25	11.25
		Selesai	11.35	11.35
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x dan ditambah larutan CaCL ₂)	Mulai	11.37	11.37
		Selesai	11.40	11.40
3	Clay reading (inch)		3,70	3,80
4	Sand reading		3,20	3,60
5	Sand equivalent ((sand reading/clay reading)*100)		86,49	94,74
6	Sand Equivalent Rata - Rata		90,61	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIK : 20914026

Lampiran 17. Pemeriksaan Keausan Agregat



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 17. Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT

Sumber : Clereng Kulonprogo

Tahun Uji : 2022

No	Jenis Gradasi		F	
	Saringan		Benda Uji (gram)	
	Lolos	Tertahan	1	2
1	72,2 mm (3")	63,5 mm (2,5")		
2	63,5 mm (2,5")	50,8 mm (2")		
3	50,8 mm (2")	37,5 mm (1,5")		
4	37,5 mm (1,5")	25,4 mm (1")		
5	25,4 mm (1")	19,0 mm (3/4")		
6	19,0 mm (3/4")	12,5 mm (0,5")	2500	2500
7	12,5 mm (0,5")	9,5 mm (3/8")	2500	2500
8	9,5 mm (3/8")	6,3 mm (1/4")		
9	6,3 mm (1/4")	4,75 mm (No.4")		
10	4,75 mm (No.4")	2,36 mm (No.8")		
11	Jumlah Benda Uji (A)		5000	5000
12	Jumlah Tertahan Di Sieve 12 (B)		3809	4712
13	Keausan (%) = $\frac{((A-B)/A) \times 100}{100}$		23,82	5,76
14	Rata-rata Keausan			

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 18. Pengujian Marshall dalam Mencari KAO pada Campuran HRS-WC



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Jl. Kaliurang KM 14.4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jlraya@yahoo.com

Lampiran 18. Pengujian Marshall dalam Mencari KAO pada Campuran Hot Rolled Sheet (HRS)

PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Tanggal Pengujian : 13 Desember 2022
Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet (HRS)

Dikerjakan oleh : Iqbal, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.

No Benda Uji	Tinggi Benda Uji (cm)	% Aspal Terhadap Batuan (%)	% Aspal Terhadap Campuran (%)	Berat Kering Udara (gram)	Berat SSD (gram)	Berat di Dalam Air (gram)	F	G	H	I	J	K	L		M		N		O		P	Q		R		S		T				
													VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas	Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)												
6A	6.827	6.383	6	1141,53	1150,48	602,43	548,05	2,083	2,307	11,814	78,458	9,728	21,542	54,841	9,728	67	990,986	0,890	881,977	2,58	341,852											
6B	6.900	6.383	6	1149,54	1158,83	603,82	555,01	2,071	2,307	11,748	78,018	10,235	21,982	53,441	10,235	60	887,450	0,890	789,830	2,2	359,014											
6C	6.930	6.383	6	1160,74	1171,11	613,19	557,92	2,080	2,307	11,800	78,367	9,833	21,633	54,547	9,833	64	946,613	0,890	842,486	2,61	322,791											
								2,082					21,587	54,694	9,780																	
6.5A	6.977	6.952	6,5	1156,84	1167,53	618,96	548,57	2,109	2,293	12,958	79,012	8,030	20,988	61,740	8,030	77	1138,894	0,890	1013,616	2,25	450,496											
6.5B	6.940	6.952	6,5	1159,65	1169,04	621,76	547,28	2,119	2,293	13,020	79,391	7,589	20,609	63,175	7,589	77	1138,894	0,890	1013,616	1,68	603,343											
6.5C	6.913	6.952	6,5	1158,99	1166,4	625,35	541,05	2,142	2,293	13,162	80,259	6,578	19,741	66,676	6,578	78	1153,685	0,890	1026,780	2,65	387,464											
								2,125					20,364	64,208	7,399																	
7A	6.945	7,527	7	1157,05	1166,05	624,16	541,89	2,135	2,279	14,129	79,573	6,298	20,427	69,169	6,298	74	1094,522	0,890	974,124	2,84	343,001											
7B	6.917	7,527	7	1157,22	1164,85	626,53	538,32	2,150	2,279	14,225	80,113	5,663	19,887	71,527	5,663	77	1138,894	0,890	1013,616	2,93	345,944											
7C	6.952	7,527	7	1156,84	1163,38	628,57	534,81	2,163	2,279	14,313	80,612	5,075	19,388	73,826	5,075	80	1183,267	0,890	1053,107	1,5	702,071											
								2,149					19,907	71,497	5,369																	
7.5A	6.846	8,108	7,5	1157,95	1166,22	631,11	535,11	2,164	2,265	15,342	80,210	4,448	19,790	77,526	4,448	82	1212,848	0,890	1079,435	3,02	357,429											
7.5B	6.873	8,108	7,5	1156,36	1166,47	631,89	534,58	2,163	2,265	15,336	80,180	4,484	19,820	77,376	4,484	77	1138,894	0,890	1013,616	3,15	321,783											
7.5C	6.821	8,108	7,5	1157,57	1164,07	633,86	530,21	2,183	2,265	15,479	80,925	3,596	19,075	81,147	3,596	72	1064,940	0,892	950,281	1,64	579,440											
								2,164					19,805	77,451	4,466																	
8A	6.763	8,696	8	1151,86	1158,46	623,1	535,36	2,152	2,251	16,271	79,320	4,409	20,680	78,681	4,409	71	1050,149	0,907	952,135	1,83	520,292											
8B	6.623	8,696	8	1154,53	1162,1	625,14	536,96	2,150	2,251	16,260	79,267	4,473	20,733	78,428	4,473	72	1064,940	0,939	999,712	3,2	312,410											
8C	6.737	8,696	8	1153,76	1159,46	623,73	535,73	2,154	2,251	16,287	79,396	4,317	20,604	79,047	4,317	74	1094,522	0,913	999,663	3,37	296,636											
								2,152					20,668	78,737	4,363																	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

Lampiran 19. Pengujian Marshall Metode Konvensional pada Campuran HRS-WC dengan Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Jl. Kalurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jraya@yahoo.com

Lampiran 19. Pengujian Marshall Standard Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Lama Perendaman : 0,5 Jam
Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)
Tipe Pencampuran : Konvensional

Dikerjakan oleh : Iqbal, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.

Kadar Karet (%)	No Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Aspal Terhadap Batuan	% Aspal Terhadap Campuran	Berat Kering Udara	Berat SSD	Berat di Dalam Air	Isi	Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)															
0	A	6.707	7.991	7.4	1180,60	1186,33	637,21	549,12	2,150	2,267	15,040	79,779	5,181	20,221	74,377	5,181	70	1035,358	0,921	953,392	4,400	216,680
	B	6.733	7.991	7.4	1180,34	1185,57	638,43	547,14	2,157	2,267	15,091	80,050	4,859	19,950	75,644	4,859	77	1138,894	0,914	1041,139	3,810	273,265
	C	6.730	7.991	7.4	1180,59	1186,20	637,17	549,03	2,150	2,267	15,042	79,791	5,166	20,209	74,434	5,166	79	1168,476	0,915	1069,155	3,880	275,555
								2,153						20,126	74,818	5,069		1114,243		1055,147	3,845	274,421
2	A	6.663	7.991	7.4	1169,30	1173,73	632,72	541,01	2,161	2,258	15,509	80,200	4,291	19,800	78,329	4,291	87	1286,802	0,931	1198,335	3,950	303,376
	B	6.577	7.991	7.4	1169,45	1173,05	639,07	533,98	2,190	2,258	15,715	81,266	3,018	18,734	83,888	3,018	88	1301,593	0,948	1233,260	4,150	297,171
	C	6.700	7.991	7.4	1169,21	1174,26	633,30	540,96	2,161	2,258	15,509	80,201	4,289	19,799	78,335	4,289	86	1272,012	0,923	1173,431	3,960	296,321
								2,161						19,799	78,332	4,290		1286,802		1185,883	3,955	299,8439
4	A	6.910	7.991	7.4	1172,68	1178,73	630,93	547,8	2,141	2,256	15,467	79,435	5,098	20,565	75,211	5,098	69	1020,567	0,890	908,305	2,780	326,728
	B	6.817	7.991	7.4	1171,81	1179,40	632,35	547,05	2,142	2,256	15,477	79,485	5,038	20,515	75,442	5,038	68	1005,777	0,893	898,494	2,960	303,545
	C	6.870	7.991	7.4	1172,46	1180,63	633,56	547,07	2,143	2,256	15,485	79,526	4,989	20,474	75,633	4,989	56	828,287	0,890	737,175	2,600	283,529
								2,142						20,495	75,537	5,014		951,544		903,399	2,780	324,964
6	A	6.527	7.991	7.4	1173,17	1180,26	635,78	544,48	2,155	2,253	15,677	79,953	4,371	20,047	78,197	4,371	62	917,032	0,957	877,485	2,480	353,824
	B	6.523	7.991	7.4	1173,76	1180,62	646,35	534,27	2,197	2,253	15,984	81,521	2,494	18,479	86,501	2,494	62	917,032	0,958	878,058	2,480	354,056
	C	6.437	7.991	7.4	1173,27	1180,70	636,35	544,35	2,155	2,253	15,682	79,978	4,340	20,022	78,324	4,340	65	961,404	0,978	940,574	2,400	391,906
								2,155						20,034	78,260	4,355		931,822		877,771	2,453	357,787

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIK : 20914026

Lampiran 20. Pengujian Marshall Metode Bertahap pada Campuran HRS-WC dengan Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14.5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jr.jaya@yahoo.com

Lampiran 20. Pengujian Marshall Standard Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Lama Perendaman : 0,5 Jam
Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)
Tipe Pencampuran : Bertahap

Dikerjakan oleh : Iqbal, S.T.
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.

Kadar Karet (%)	No Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Aspal Terhadap Batuan	% Aspal Terhadap Campuran	Berat Kering Udara	Berat SSD	Berat di Dalam Air	Isi	Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)							VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0	A	6,733	7,991	7,4	1178,58	1184,12	635,38	548,74	2,148	2,267	15,024	79,698	5,278	20,302	74,003	5,278	78	1153,685	0,914	1054,660	3,750	281,243
	B	6,483	7,991	7,4	1178,16	1183,4	640,72	542,68	2,171	2,267	15,187	80,559	4,254	19,441	78,117	4,254	79	1168,476	0,967	1129,527	4,830	233,856
	C	6,630	7,991	7,4	1176,15	1183,46	640,73	542,73	2,167	2,267	15,159	80,414	4,426	19,586	77,400	4,426	80	1183,267	0,938	1109,312	3,770	294,247
2	A	6,737	7,991	7,4	1170,74	1177,62	628,69	548,93	2,133	2,258	15,304	79,140	5,556	20,860	73,367	5,556	64	946,613	0,913	864,573	3,810	226,922
	B	6,660	7,991	7,4	1169,91	1174,88	634,74	540,14	2,166	2,258	15,542	80,371	4,087	19,629	79,180	4,087	90	1331,175	0,932	1240,489	3,830	323,887
	C	6,553	7,991	7,4	1169,31	1173,87	633,17	540,7	2,163	2,258	15,518	80,247	4,235	19,753	78,560	4,235	83	1227,639	0,952	1168,559	3,870	301,953
4	A	6,830	7,991	7,4	1175,6	1185,69	628,72	556,97	2,111	2,256	15,251	78,322	6,428	21,678	70,349	6,428	56	828,287	0,890	737,175	2,880	255,964
	B	67,900	7,991	7,4	1174,48	1181,82	632,64	549,18	2,139	2,256	15,452	79,357	5,191	20,643	74,854	5,191	69	1020,567	0,890	908,305	2,500	363,322
	C	66,000	7,991	7,4	1173,33	1180,72	637,61	543,11	2,160	2,256	15,610	80,165	4,225	19,835	78,698	4,225	68	1005,777	0,910	915,257	2,570	356,131
6	A	6,377	7,991	7,4	1162,95	1171,63	635,08	536,55	2,167	2,253	15,770	80,427	3,803	19,573	80,570	3,803	69	1020,567	0,993	1013,764	1,800	563,202
	B	6,647	7,991	7,4	1162,89	1172,99	633,74	539,25	2,156	2,253	15,690	80,021	4,290	19,979	78,530	4,290	65	961,404	0,934	898,312	2,310	388,880
	C	6,760	7,991	7,4	1162,41	1171,89	623,32	548,57	2,119	2,253	15,417	78,629	5,954	21,371	72,138	5,954	66	976,195	0,908	885,897	2,350	376,977
									2,148					19,776	79,550	4,046		968,799		892,104	2,330	382,877

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T.
NIM : 20914026

Lampiran 21. Pengujian Marshall 24 Jam Metode Konvensional pada Campuran HRS-WC dengan Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kalurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext.3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Jl. Kalurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jlraya@yahoo.com

Lampiran 21. Pengujian *Marshall* 24 Jam Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Lama Perendaman : 24 Jam
Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)
Tipe Pencampuran : Konvensional

Dikerjakan oleh : Iqbal, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.

Kadar Karet (%)	No Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Aspal Terhadap Batuan	% Aspal Terhadap Campuran	Berat Kering Udara	Berat SSD	Berat di Dalam Air	Isi	Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)							VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0	A	6,727	7,991	7,4	1181,18	1187,57	641,03	546,54	2,161	2,267	15,118	80,195	4,687	19,805	76,335	4,687	70	1027,963	0,916	941,443	2,600	362,093
	B	6,660	7,991	7,4	1182,90	1188,57	641,26	547,31	2,161	2,267	15,119	80,199	4,682	19,801	76,353	4,682	70	1027,963	0,932	957,933	3,800	252,088
	C	6,637	7,991	7,4	1181,31	1185,90	644,24	541,66	2,181	2,267	15,256	80,926	3,818	19,074	79,985	3,818	78	1153,685	0,936	1080,137	3,700	291,929
								2,161					19,803	76,344	4,685			1069,870		949,688	3,750	253,250
2	A	6,543	7,991	7,4	1171,04	1176,81	636,10	540,71	2,166	2,258	15,541	80,364	4,095	19,636	79,144	4,095	78	1153,685	0,954	1100,327	3,650	301,459
	B	6,673	7,991	7,4	1170,71	1176,26	637,96	538,3	2,175	2,258	15,606	80,701	3,693	19,299	80,864	3,693	76	1124,103	0,930	1045,416	3,570	292,834
	C	6,757	7,991	7,4	1170,92	1176,95	636,04	540,91	2,165	2,258	15,534	80,326	4,141	19,674	78,954	4,141	66	976,195	0,908	886,710	3,760	235,827
								2,168					19,536	80,004	4,118			1084,661		1072,871	3,610	297,1943
4	A	6,717	7,991	7,4	1172,33	1180,14	630,43	549,71	2,133	2,256	15,409	79,135	5,456	20,865	73,852	5,456	60	887,450	0,918	814,975	3,470	234,863
	B	6,733	7,991	7,4	1173,03	1180,14	637,57	542,57	2,162	2,256	15,621	80,224	4,154	19,776	78,992	4,154	61	902,241	0,914	824,798	3,460	238,381
	C	6,843	7,991	7,4	1176,88	1185,42	631,88	553,54	2,126	2,256	15,362	78,893	5,746	21,107	72,779	5,746	58	857,868	0,890	763,503	4,340	175,922
								2,129					20,986	73,316	4,805			882,520		819,887	3,465	236,620
6	A	6,570	7,991	7,4	1172,08	1178,50	635,70	542,8	2,159	2,253	15,710	80,126	4,164	19,874	79,048	4,164	57	843,077	0,949	799,870	4,860	164,582
	B	6,620	7,991	7,4	1172,12	1179,94	621,61	558,33	2,099	2,253	15,274	77,899	6,827	22,101	69,111	6,827	63	931,822	0,939	875,331	4,560	191,958
	C	6,603	7,991	7,4	1172,51	1179,45	634,44	545,01	2,151	2,253	15,652	79,830	4,518	20,170	77,602	4,518	58	850,473	0,943	801,571	4,850	165,272
								2,137					20,022	78,325	4,341			875,124		800,720	4,710	170,004

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 22. Pengujian Marshall 24 Jam Metode Bertahap pada Campuran HRS-WC dengan Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Jl. Kaliurang KM 14,4 Kampus Terpadu UII, Gedung Moh. Natsir, Telp. (0274) 898472, 896440, Fax. 895330 Yogyakarta E-mail: lab.jraya@yahoo.com

Lampiran 22. Pengujian Marshall 24 Jam Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

PEMERIKSAAN SIFAT-SIFAT CAMPURAN ASPAL PANAS DENGAN METODE MARSHALL (AASHTO : T 245 - 78)

Lama Perendaman : 24 Jam
Tipe Campuran : Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)
Tipe Pencampuran : Bertahap

Dikerjakan oleh : Iqbal, S.T
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, ST., MT., Ph.D.

Kadar Karet (%)	No Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Aspal Terhadap Batuan	% Aspal Terhadap Campuran	Berat Kering Udara	Berat SSD	Berat di Dalam Air	Isi	Density	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)							VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0	A	6.567	7.991	7.4	1180.55	1185.48	647.13	538.35	2.193	2.267	15.340	81.372	3.288	18.628	82.347	3.288	62	917.032	0.956	876.529	4.860	180.356
	B	6.613	7.991	7.4	1179.98	1184.50	649.55	534.95	2.206	2.267	15.430	81.849	2.721	18.151	85.010	2.721	75	1109.312	0.934	1036.283	4.030	257.142
	C	6.590	7.991	7.4	1180.64	1186.20	646.37	539.83	2.187	2.267	15.299	81.155	3.546	18.845	81.183	3.546	71	1050.149	0.945	992.391	3.900	254.459
2	A	6.633	7.991	7.4	1171.75	1177.56	627.89	549.67	2.132	2.258	15.297	79.102	5.601	20.898	73.197	5.601	68	1005.777	0.939	944.592	4.63	204.016
	B	6.643	7.991	7.4	1171.73	1177.24	632.61	544.63	2.151	2.258	15.438	79.832	4.729	20.168	76.549	4.729	78	1153.685	0.935	1078.695	4.08	264.386
	C	6.670	7.991	7.4	1167.45	1173.87	629.49	544.38	2.145	2.258	15.389	79.577	5.034	20.423	75.352	5.034	81	1198.057	0.930	1114.193	3.70	301.133
4	A	6.680	7.991	7.4	1170.34	1180.98	620.48	560.5	2.088	2.256	15.087	77.480	7.433	22.520	66.993	7.433	62	917.032	0.928	850.547	4.940	172.175
	B	6.673	7.991	7.4	1170.01	1180.58	627.45	553.13	2.115	2.256	15.283	78.490	6.226	21.510	71.054	6.226	61	902.241	0.929	838.332	5.060	165.678
	C	6.767	7.991	7.4	1171.20	1182.14	622.02	560.12	2.091	2.256	15.108	77.590	7.302	22.410	67.415	7.302	61	902.241	0.906	817.280	4.860	168.165
6	A	6.567	7.991	7.4	1161.16	1170.52	628.63	541.89	2.143	2.253	15.590	79.512	4.898	20.488	76.095	4.898	59	872.659	0.949	828.481	3.240	255.704
	B	6.493	7.991	7.4	1161.07	1170.86	628.13	542.73	2.139	2.253	15.565	79.383	5.052	20.617	75.496	5.052	67	990.986	0.964	955.475	4.340	220.156
	C	6.630	7.991	7.4	1158.51	1168.37	626.00	542.37	2.136	2.253	15.541	79.261	5.199	20.739	74.934	5.199	61	902.241	0.938	845.851	4.330	195.347
									2.141					20.615	75.508	5.125		946.613		837.166	4.335	193.118

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 23. Pengujian *Immersion* dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext. 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 23. Pengujian *Immersion* Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN *IMMERSION*

Tipe Campuran : HRS-WC

Nilai KAO : 7,4 %

Tahun Uji : 2023

Tabel 1. Hasil Pengujian *Immersion* Dengan Metode Konvensional

Kadar Karet (%)	Rendaman 0,5 Jam Stabilitas (kg)	Rendaman 24 Jam Stabilitas (kg)	Index Retained Streight (%)
0	1055,147	949,688	90,005
2	1185,883	1072,871	90,470
4	903,399	819,887	90,756
6	877,771	800,720	91,222

Tabel 2. Hasil Pengujian *Immersion* Dengan Metode Bertahap

Kadar Karet (%)	Rendaman 0,5 Jam Stabilitas (kg)	Rendaman 24 Jam Stabilitas (kg)	Index Retained Streight (%)
0	1119,419	1014,337	90,613
2	1204,524	1096,444	91,027
4	911,781	844,439	92,614
6	892,104	837,166	93,842

Mengetahui

Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc

NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T

NIM : 20914026

Lampiran 24. Pengujian ITS Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
TEKNIK SIPIL Tlp : (0274) 898444 ext 3228
& **PERENCANAAN** Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 26. Pengujian ITS Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN *INDIRECT TENSILE STRENGTH* (ITS) METODE KONVENSIONAL

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Sampel	Tinggi (Cm)			Tinggi Rata-rata (cm)	Angka Koreksi	Diameter (cm)	Pembacaan Dial	Stabilitas (Kg)	Indirect Tensile Strength (Kpa)	ITS Rata-rata (Kpa)
		1	2	3							
0	A	6,66	6,65	6,70	6,67	0,93	10,32	4,5	61,90	56,190	61,207
	B	6,62	6,64	6,70	6,65	0,93	10,28	5	69,01	63,044	
	C	6,65	6,62	6,61	6,59	0,94	10,28	5	69,84	64,385	
2	A	6,66	6,65	6,61	6,64	0,94	10,20	7	96,87	89,372	93,210
	B	6,62	6,61	6,50	6,58	0,95	10,29	7,5	105,11	97,048	
	C	6,61	6,65	6,66	6,64	0,94	10,21	6	83,03	76,529	
4	A	6,72	6,67	6,58	6,69	0,93	10,33	5	68,47	61,939	62,411
	B	6,58	6,70	6,75	6,68	0,93	10,33	5	68,66	62,199	
	C	6,70	6,62	6,60	6,64	0,94	10,32	5	69,19	63,095	
6	A	6,76	6,82	6,86	6,81	0,89	10,09	4,5	59,52	54,094	57,847
	B	6,42	6,43	6,50	6,45	0,98	10,27	4,5	64,90	61,215	
	C	6,65	6,62	6,56	6,61	0,94	10,17	4,5	62,65	58,232	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-08-23
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK: 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM: 20914026

Lampiran 25. Pengujian ITS Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
TEKNIK SIPIL Tlp : (0274) 898444 ext 3228
& **PERENCANAAN** Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 27. Pengujian ITS Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS) METODE BERTAHAP

Tipe Campuran : HRS-WC
Niki KAO : 7,4 %
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Sampel	Tinggi (Cm)			Tinggi Rata-rata (cm)	Angka Koreksi	Diameter (cm)	Pembacaan Dial	Stabilitas (Kg)	Indirect Tensile Strength (Kpa)	ITS Rata-rata (Kpa)
		1	2	3							
0	A	6,67	6,62	6,63	6,64	0,94	10,27	5	69,19	63,402	68,375
	B	6,51	6,60	6,56	6,58	0,95	10,25	5,5	77,08	71,447	
	C	6,59	6,69	6,65	6,64	0,94	10,18	5,5	76,06	70,276	
2	A	6,51	6,54	6,52	6,52	0,96	10,31	7,5	106,22	98,683	100,328
	B	6,42	6,41	6,46	6,43	0,98	10,36	7,5	108,71	101,973	
	C	6,57	6,66	6,53	6,59	0,95	10,33	6	83,92	77,068	
4	A	6,58	6,75	6,66	6,66	0,93	10,28	6	82,65	75,388	74,793
	B	6,66	6,75	6,63	6,68	0,93	10,34	5	68,59	62,052	
	C	6,74	6,65	6,71	6,70	0,92	10,29	6	81,87	74,199	
6	A	6,50	6,64	6,53	6,50	0,96	10,27	5	71,24	66,720	63,823
	B	6,55	6,51	6,55	6,54	0,96	10,14	4	56,50	53,265	
	C	6,47	6,51	6,49	6,49	0,97	10,15	4,5	64,23	60,925	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

3-00-23
Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 26. Pengujian ITS 24 Jam Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
TEKNIK SIPIL Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
& **PERENCANAAN** Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 28. Pengujian ITS 24 Jam Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS) 24 JAM METODE KONVENSIONAL

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Sampel	Tinggi (Cm)			Tinggi Rata-rata (cm)	Angka Koreksi	Diameter (cm)	Pembacaan Dial	Stabilitas (Kg)	Indirect Tensile Strength (Kpa)	ITS Rata-rata (Kpa)
		1	2	3							
0	A	6,73	6,85	6,75	6,78	0,90	10,13	3,5	46,76	42,566	42,823
	B	6,47	6,50	6,55	6,51	0,96	10,34	4,5	63,94	59,382	
	C	6,76	6,77	6,68	6,74	0,91	10,18	3,5	47,28	43,080	
2	A	6,45	6,62	6,49	6,52	0,93	10,31	5,5	75,45	70,136	73,880
	B	6,56	6,52	6,59	6,56	0,95	10,19	7	98,49	92,110	
	C	6,46	6,74	6,54	6,58	0,95	10,28	6	84,03	77,624	
4	A	6,66	6,55	6,73	6,65	0,93	10,35	3,5	48,37	43,935	43,952
	B	6,58	6,65	6,61	6,61	0,94	10,29	3,5	48,70	44,711	
	C	6,71	6,69	6,65	6,68	0,93	10,38	3,5	47,97	43,209	
6	A	6,64	6,62	6,57	6,61	0,94	10,18	2,5	34,81	32,320	32,274
	B	6,54	6,45	6,51	6,50	0,96	10,24	2	28,47	26,729	
	C	6,62	6,65	6,66	6,64	0,94	10,09	2,5	34,57	32,229	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 27. Pengujian ITS 24 Jam Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

FAKULTAS GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
TEKNIK SIPIL Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
& **PERENCANAAN** Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 29. Pengujian ITS 24 Jam Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

HASIL PENGUJIAN INDIRECT TENSILE STRENGTH (ITS) 24 JAM METODE BERTAHAP

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Sampel	Tinggi (Cm)			Tinggi Rata-rata (cm)	Angka Koreksi	Diameter (cm)	Pembacaan Dial	Stabilitas (Kg)	Indirect Tensile Strength (Kpa)	ITS Rata-rata (Kpa)
		1	2	3							
0	A	6,69	6,60	6,69	6,66	0,93	10,18	4,5	62,07	57,202	59,019
	B	6,54	6,55	6,45	6,51	0,96	10,35	5	70,95	65,763	
	C	6,89	6,71	6,73	6,78	0,91	10,20	5	67,30	60,837	
2	A	6,80	6,75	6,72	6,76	0,91	10,16	7,5	100,76	91,717	88,733
	B	6,70	6,75	6,73	6,73	0,92	10,29	7	94,82	85,599	
	C	6,61	6,63	6,71	6,65	0,93	10,22	7	96,68	88,884	
4	A	6,58	6,60	6,57	6,58	0,95	10,32	4,5	62,98	57,924	53,605
	B	6,69	6,77	6,88	6,78	0,90	10,30	3	40,05	35,832	
	C	6,64	6,79	6,71	6,71	0,92	10,27	4	54,38	49,285	
6	A	6,41	6,43	6,38	6,41	0,99	10,30	3	43,74	41,421	39,523
	B	6,40	6,43	6,48	6,44	0,90	10,28	3	39,84	37,625	
	C	6,69	6,75	6,65	6,70	0,92	10,11	4,5	61,46	56,719	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 28. Pengujian *ITS* dan *TSR* dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 30. Pengujian *ITS* dan *TSR* Dengan Bahan Tambah Ban Karet

HASIL PENGUJIAN *ITS* DAN *TSR*

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Tahun Uji : 2023

Tabel 1. Hasil Pengujian *ITS* & *TSR* Dengan Metode Konvensional

Kadar Karet (%)	Indirect Tensile Strenght (ITS)		Tensile Strenght Ratio (TSR) (%)
	Rendamam 0,5 Jam (KPa)	Rendamam 24 Jam (KPa)	
0	61,207	42,823	69,964
2	93,210	73,880	79,261
4	62,411	43,952	70,423
6	57,847	32,274	55,792

Tabel 2. Hasil Pengujian *ITS* & *TSR* Dengan Metode Bertahap

Kadar Karet (%)	Indirect Tensile Strenght (ITS)		Tensile Strenght Ratio (TSR) (%)
	Rendamam 0,5 Jam (KPa)	Rendamam 24 Jam (KPa)	
0	68,375	59,019	86,317
2	100,328	88,733	88,443
4	74,793	53,605	71,670
6	63,823	39,523	61,926

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK :

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 29. Pengujian *Cantabro* Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext.3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 31 . Pengujian *Cantabro* Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Ban Karet

PENGUJIAN *CANTABRO* METODE KONVENSIONAL

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Pencampuran : Konvensional
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Berat Benda Uji (gram)		Berat Kehilangan (gram)	Persentase Kehilangan Berat (%)	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Sebelum Diabrasi	Setelah Diabrasi			
	(M ₀)	(M ₁)	(M ₀ -M ₁)	(L)	
0 (A)	1179,11	1148,50	30,61	2,60	2,60
0 (B)	1179,82	1149,14	30,68	2,60	
0 (C)	1177,03	1155,24	21,79	1,85	
2 (A)	1166,32	1137,25	29,07	2,49	2,50
2 (B)	1167,64	1131,14	36,50	3,13	
2 (C)	1164,66	1135,45	29,21	2,51	
4 (A)	1168,17	1139,1	29,07	2,49	2,47
4 (B)	1170,82	1142,03	28,79	2,46	
4 (C)	1170,08	1126,08	44,00	3,76	
6 (A)	1180,02	1150,09	29,93	2,54	2,52
6 (B)	1173,82	1144,45	29,37	2,50	
6 (C)	1175,44	1154,34	21,10	1,80	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 30. Pengujian *Cantabro* Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjir.ftsp@gmail.com

Lampiran 32. Pengujian *Cantabro* Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Ban Kare

PENGUJIAN CANTABRO METODE BERTAHAP

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Pencampuran : Bertahap
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Berat Benda Uji (gram)		Berat Kehilangan (gram)	Persentase Kehilangan Berat (%)	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Sebelum Diabrasi	Setelah Diabrasi			
	(M ₀)	(M ₁)	(M ₀ -M ₁)	(L)	
0 (A)	1184,53	1162,68	21,85	1,84	1,94
0 (B)	1181,67	1158,98	22,69	1,92	
0 (C)	1181,04	1157,87	23,17	1,96	
2 (A)	1179,15	1158,90	20,25	1,72	1,82
2 (B)	1180,10	1157,27	22,83	1,93	
2 (C)	1172,08	1150,84	21,24	1,81	
4 (A)	1161,21	1140,54	20,67	1,78	1,74
4 (B)	1168,62	1132,76	35,86	3,07	
4 (C)	1167,17	1147,25	19,92	1,71	
6 (A)	1170,46	1148,73	21,73	1,86	1,87
6 (B)	1168,78	1146,67	22,11	1,89	
6 (C)	1163,64	1130,81	32,83	2,82	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 31. Pengujian AFD Metode Konvensional dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 33. Pengujian AFD Metode Konvensional Dengan Bahan Tambah Ban Karet

PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD) METODE KONVENSIONAL

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Pencampuran : Konvensional
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata-Rata Nilai AFD (%)
	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven				
	(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
0 (A)	353,14	1522,15	354,16	1169,010	1,020	0,087	0,082
0 (B)	344,89	1513,39	345,78	1168,500	0,890	0,076	
0 (C)	334,92	1505,96	335,09	1171,040	0,170	0,015	
2 (A)	306,63	1468,02	307,35	1161,390	0,720	0,062	0,058
2 (B)	307,27	1466,79	307,89	1159,520	0,620	0,053	
2 (C)	191,87	1356,54	192,08	1164,670	0,210	0,018	
4 (A)	306,68	1473,88	307,25	1167,200	0,570	0,049	0,045
4 (B)	299,01	1467,32	299,50	1168,310	0,490	0,042	
4 (C)	302,26	1473,19	303,24	1170,930	0,980	0,084	
6 (A)	303,89	1461,40	304,21	1157,510	0,320	0,028	0,038
6 (B)	306,32	1474,30	306,82	1167,980	0,500	0,043	
6 (C)	298,67	1470,92	299,18	1172,250	0,510	0,044	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIK : 20914026

Lampiran 32. Pengujian AFD Metode Bertahap dengan Bahan Tambah Serbuk Ban



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**
GEDUNG MOHAMAD NATSIR
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
Tlp : (0274) 898444 ext 3228
Fax : (0274) 895330
Email : labjr.ftsp@gmail.com

Lampiran 34. Pengujian AFD Metode Bertahap Dengan Bahan Tambah Ban Karet

PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN (AFD) METODE BERTAHAP

Tipe Campuran : HRS-WC
Nilai KAO : 7,4 %
Pencampuran : Bertahap
Tahun Uji : 2023

Kadar Karet (%)	Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata-Rata Nilai AFD (%)
	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven				
	(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
0 (A)	333,19	1502,70	333,90	1169,510	0,710	0,061	0,059
0 (B)	345,16	1512,48	345,87	1167,320	0,710	0,061	
0 (C)	274,70	1443,70	275,34	1169,000	0,640	0,055	
2 (A)	343,69	1513,79	344,04	1170,100	0,350	0,030	0,035
2 (B)	307,40	1471,32	307,66	1163,920	0,260	0,022	
2 (C)	307,51	1477,85	308,13	1170,340	0,620	0,053	
4 (A)	306,77	1459,25	307,47	1152,480	0,700	0,061	0,026
4 (B)	299,73	1453,12	300,04	1153,390	0,310	0,027	
4 (C)	302,14	1464,64	302,43	1162,500	0,290	0,025	
6 (A)	307,37	1472,99	307,54	1165,620	0,170	0,015	0,013
6 (B)	300,12	1469,25	300,25	1169,130	0,130	0,011	
6 (C)	306,40	1473,66	306,50	1167,260	0,100	0,009	

Mengetahui
Kepala Lab. Jalan Raya UII

Prayogo Afang Prayitno, S.T., M.Sc
NIK : 20 511 1303

Peneliti

Iqbal, S.T
NIM : 20914026

Lampiran 33. Hasil Analisis *One Way Anova* Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dengan Bahan Tambah Ban Karet

		Descriptives						
		N	Mean	Std. Deviation	Std. Error	95% Confidence Interval for Mean		Minimum
						Lower Bound	Upper Bound	
Berat Jenis	Aspal Pen 60/70	2	1,0600	,02828	,02000	,8059	1,3141	1,04
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	1,0300	,01414	,01000	,9029	1,1571	1,02
	Total	4	1,0450	,02517	,01258	1,0050	1,0850	1,02
Penetrasi	Aspal Pen 60/70	2	65,700	1,1314	,8000	55,535	75,865	64,9
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	40,500	,7071	,5000	34,147	46,853	40,0
	Total	4	53,100	14,5696	7,2848	29,917	76,283	40,0
Daktalitas	Aspal Pen 60/70	2	165,50	,707	,500	159,15	171,85	165
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	41,50	2,121	1,500	22,44	60,56	40
	Total	4	103,50	71,603	35,802	-10,44	217,44	40
Titik Lembek	Aspal Pen 60/70	2	48,00	1,414	1,000	35,29	60,71	47
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	50,50	,707	,500	44,15	56,85	50
	Total	4	49,25	1,708	,854	46,53	51,97	47
Titik Nyala	Aspal Pen 60/70	2	344,50	,707	,500	338,15	350,85	344
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	314,50	,707	,500	308,15	320,85	314
	Total	4	329,50	17,330	8,665	301,92	357,08	314
Titik Bakar	Aspal Pen 60/70	2	349,50	,707	,500	343,15	355,85	349
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	321,50	,707	,500	315,15	327,85	321
	Total	4	335,50	16,176	8,088	309,76	361,24	321
Kelarutan	Aspal Pen 60/70	2	99,6550	,48790	,34500	95,2714	104,0386	99,31
	Aspal Pen 60/70 + Serbuk Ban 2%	2	97,9950	,58690	,41500	92,7219	103,2681	97,58
	Total	4	98,8250	1,05485	,52742	97,1465	100,5035	97,58

Lanjutan Lampiran 33. Hasil Analisis *One Way Anova* Sifat Fisik Aspal Pen 60/70 dengan Bahan Tambah Ban Karet

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Berat Jenis	Between Groups	,001	1	,001	1,800	,312
	Within Groups	,001	2	,001		
	Total	,002	3			
Penetrasi	Between Groups	635,040	1	635,040	713,528	,001
	Within Groups	1,780	2	,890		
	Total	636,820	3			
Daktalitas	Between Groups	15376,000	1	15376,000	6150,400	,000
	Within Groups	5,000	2	2,500		
	Total	15381,000	3			
Titik Lembek	Between Groups	6,250	1	6,250	5,000	,155
	Within Groups	2,500	2	1,250		
	Total	8,750	3			
Titik Nyala	Between Groups	900,000	1	900,000	1800,000	,001
	Within Groups	1,000	2	,500		
	Total	901,000	3			
Titik Bakar	Between Groups	784,000	1	784,000	1568,000	,001
	Within Groups	1,000	2	,500		
	Total	785,000	3			
Kelarutan	Between Groups	2,756	1	2,756	9,461	,091
	Within Groups	,582	2	,291		
	Total	3,338	3			

Lampiran 34. Hasil Analisis *Two Way Anova* Karakteristik *Marshall Standard*

1. *VITM*

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: *VITM*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2,368 ^a	7	,338	2,411	,120
Intercept	333,318	1	333,318	2376,180	,000
Kadar	1,996	3	,665	4,743	,035
Pencampuran	,331	1	,331	2,361	,163
Kadar * Pencampuran	,040	3	,013	,096	,960
Error	1,122	8	,140		
Total	336,808	16			
Corrected Total	3,490	15			

a. R Squared = ,678 (Adjusted R Squared = ,397)

2. *VMA*

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: *VMA*

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,099 ^a	7	,157	1,593	,263
Intercept	6409,684	1	6409,684	65037,936	,000
Kadar	,837	3	,279	2,832	,106
Pencampuran	,233	1	,233	2,367	,162
Kadar * Pencampuran	,029	3	,010	,097	,960
Error	,788	8	,099		
Total	6411,571	16			
Corrected Total	1,888	15			

a. R Squared = ,582 (Adjusted R Squared = ,217)

3. VFWA

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: VFWA

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	45,531 ^a	7	6,504	2,867	,082
Intercept	95416,584	1	95416,584	42053,158	,000
Kadar	39,307	3	13,102	5,775	,021
Pencampuran	5,571	1	5,571	2,455	,156
Kadar * Pencampuran	,653	3	,218	,096	,960
Error	18,152	8	2,269		
Total	95480,267	16			
Corrected Total	63,682	15			

a. R Squared = ,715 (Adjusted R Squared = ,466)

4. Density

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Density

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,001 ^a	7	,000	15,734	,000
Intercept	74,507	1	74,507	7894792,907	,000
Kadar	,000	3	9,390E-5	9,949	,004
Pencampuran	,001	1	,001	59,768	,000
Kadar * Pencampuran	,000	3	6,456E-5	6,841	,013
Error	7,550E-5	8	9,437E-6		
Total	74,508	16			
Corrected Total	,001	15			

a. R Squared = ,932 (Adjusted R Squared = ,873)

5. Stabilitas

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Stabilitas

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	269133,267 ^a	7	38447,610	84,422	,000
Intercept	16605747,250	1	16605747,250	36462,474	,000
Kadar	264379,141	3	88126,380	193,506	,000
Pencampuran	2789,319	1	2789,319	6,125	,038
Kadar * Pencampuran	1964,807	3	654,936	1,438	,302
Error	3643,362	8	455,420		
Total	16878523,879	16			
Corrected Total	272776,628	15			

a. R Squared = ,987 (Adjusted R Squared = ,975)

6. Flow

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Flow

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	7,348 ^a	7	1,050	112,341	,000
Intercept	162,499	1	162,499	17391,171	,000
Kadar	7,257	3	2,419	258,905	,000
Pencampuran	,074	1	,074	7,947	,023
Kadar * Pencampuran	,016	3	,005	,575	,647
Error	,075	8	,009		
Total	169,921	16			
Corrected Total	7,423	15			

a. R Squared = ,990 (Adjusted R Squared = ,981)

7. Marshall Quotient

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: MQ

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	19337,776 ^a	7	2762,539	5525,079	,000
Intercept	1709868,757	1	1709868,757	3419737,514	,000
Kadar	16761,518	3	5587,173	11174,346	,000
Pencampuran	2362,300	1	2362,300	4724,600	,000
Kadar * Pencampuran	213,958	3	71,319	142,639	,000
Error	4,000	8	,500		
Total	1729210,533	16			
Corrected Total	19341,776	15			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Lampiran 35. Hasil Analisis *Two Way Anova* Karakteristik *IRS, ITS, TSR, Cantabro, AFD, dan Stiffness Modulus*

1. *Index Retained Strenght*

Between-Subjects Factors

	Value Label		N
	Value	Label	
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: IRS

Source	Type III Sum of		df	Mean Square	F	Sig.
	Squares					
Corrected Model	22,800 ^a		7	3,257	6,514	,008
Intercept	134890,558		1	134890,558	269781,117	,000
Kadar	11,804		3	3,935	7,869	,009
Pencampuran	7,961		1	7,961	15,922	,004
Kadar * Pencampuran	3,036		3	1,012	2,024	,189
Error	4,000		8	,500		
Total	134917,358		16			
Corrected Total	26,800		15			

a. R Squared = ,851 (Adjusted R Squared = ,720)

2. *Indirect Tensile Strenght*

Between-Subjects Factors

	Value Label		N
	Value	Label	
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ITS

Source	Type III Sum of		df	Mean Square	F	Sig.
	Squares					
Corrected Model	3503,074 ^a		7	500,439	35,621	,000
Intercept	85148,553		1	85148,553	6060,893	,000
Kadar	3155,017		3	1051,672	74,858	,000
Pencampuran	324,117		1	324,117	23,071	,001
Kadar * Pencampuran	23,940		3	7,980	,568	,651
Error	112,391		8	14,049		
Total	88764,018		16			
Corrected Total	3615,465		15			

a. R Squared = ,969 (Adjusted R Squared = ,942)

3. Tensile Strenght Ratio

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: TSR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1842,175 ^a	7	263,168	526,336	,000
Intercept	85496,590	1	85496,590	170993,181	,000
Kadar	1384,926	3	461,642	923,284	,000
Pencampuran	322,490	1	322,490	644,980	,000
Kadar * Pencampuran	134,759	3	44,920	89,839	,000
Error	4,000	8	,500		
Total	87342,765	16			
Corrected Total	1846,175	15			

a. R Squared = ,998 (Adjusted R Squared = ,996)

4. Cantabro Loss

Between-Subjects Factors

		Value Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: CL

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1,889 ^a	7	,270	74,235	,000
Intercept	76,353	1	76,353	21001,243	,000
Kadar	,054	3	,018	4,979	,031
Pencampuran	1,831	1	1,831	503,520	,000
Kadar * Pencampuran	,004	3	,001	,397	,759
Error	,029	8	,004		
Total	78,271	16			
Corrected Total	1,918	15			

a. R Squared = ,985 (Adjusted R Squared = ,972)

5. Asphalt Flow Down

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: AFD

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	,006 ^a	7	,001	17,773	,000
Intercept	,034	1	,034	695,920	,000
Kadar	,004	3	,001	28,446	,000
Pencampuran	,002	1	,002	37,061	,000
Kadar * Pencampuran	9,919E-5	3	3,306E-5	,670	,594
Error	,000	8	4,931E-5		
Total	,041	16			
Corrected Total	,007	15			

a. R Squared = ,940 (Adjusted R Squared = ,887)

6. Stiffness Modulus

Between-Subjects Factors

	Value	Label	N
Kadar Serbuk Ban	1,000	0%	4
	2,000	2%	4
	3,000	4%	4
	4,000	6%	4
Metode Pencampuran	1,000	Konvensional	8
	2,000	Bertahap	8

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Stiffness

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	23871101,558 ^a	7	3410157,365	6820314,731	,000
Intercept	403732146,656	1	403732146,656	807464293,313	,000
Kadar	23870275,339	3	7956758,446	15913516,892	,000
Pencampuran	695,168	1	695,168	1390,336	,000
Kadar * Pencampuran	131,052	3	43,684	87,368	,000
Error	4,000	8	,500		
Total	427603252,215	16			
Corrected Total	23871105,558	15			

a. R Squared = 1,000 (Adjusted R Squared = 1,000)

Lampiran 36. Dokumentasi Pengujian Aspal



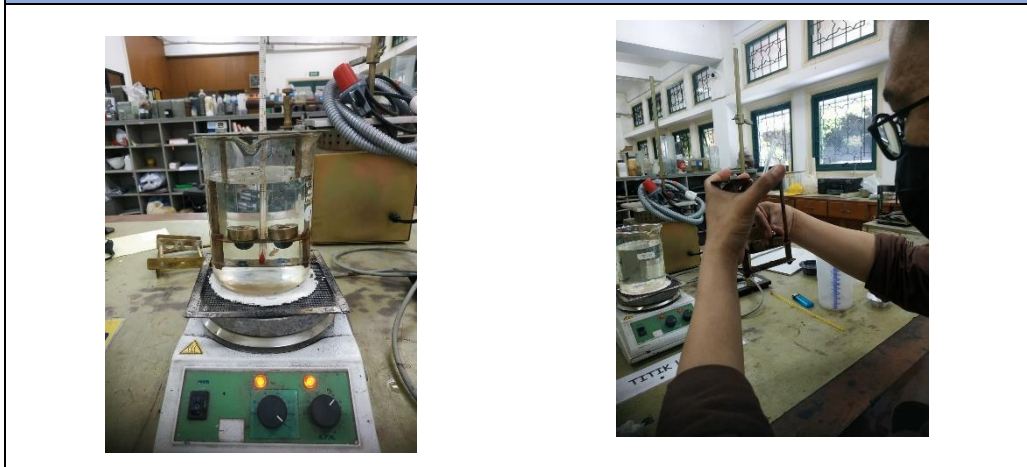
Pengujian Berat Jenis Aspal

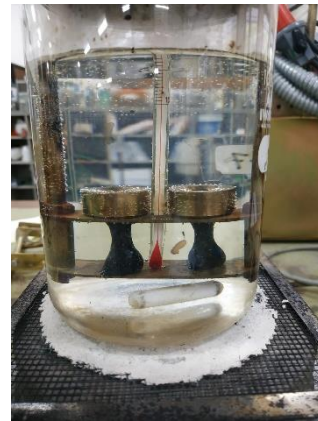
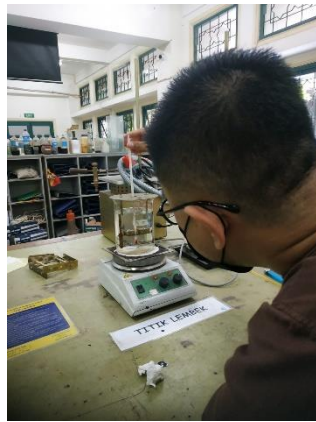


Pengujian Penetrasi Aspal



Pengujian Daktilitas





Pengujian Titik Lembek



Pengujian Kelarutan Aspal CCL4

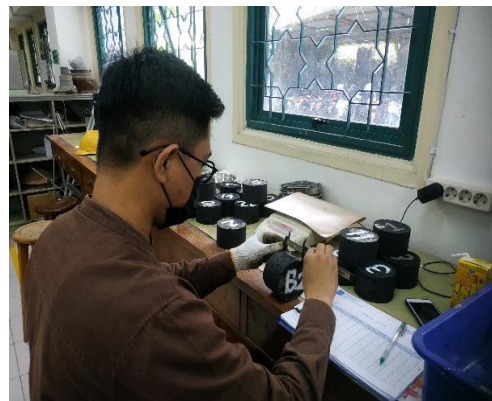
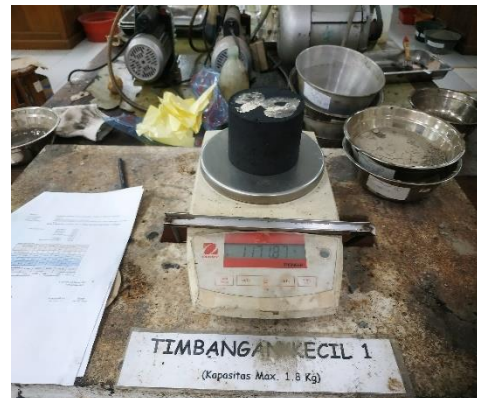


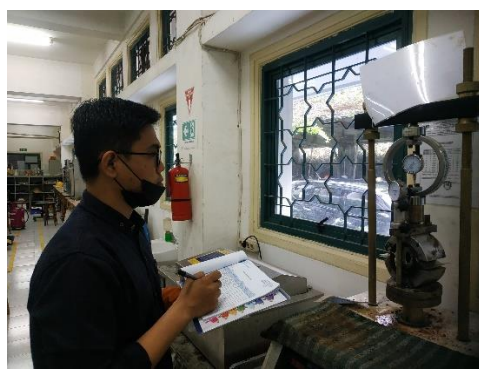
Pengujian Titik Nyala dan Bakar

Lampiran 37. Dokumentasi Pengujian Mencari Nilai KAO**Proses Pembuatan Benda Uji**

Lanjutan Lampiran 37. Dokumentasi Pengujian Mencari Nilai KAO

Proses Pengujian Benda Uji dengan Alat Marshall

Lampiran 38. Dokumentasi Pengujian Pada Kondisi KAO**Proses Pembuatan Benda Uji**



Pengujian Marshall



Pengujian Indirect Tensile Strength



Pengujian Cantabro



Pengujian Asphalt Flow Down

