

**TESIS**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK  
CAMPURAN *SUPERPAVE* DENGAN PENAMBAHAN  
SERBUK BAN KARET PADA ASPAL PEN 60/70 DAN  
ASPAL PG70 MENGGUNAKAN METODE  
PEMADATAN *MARSHALL* DAN *GYRATORY***



Disusun Oleh :

**GIRI WIDHIATMOKO**

**NIM: 23914007**

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

**2025**

**HALAMAN PERSETUJUAN**

**TESIS**

**STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK  
CAMPURAN *SUPERPAVE* DENGAN PENAMBAHAN  
SERBUK BAN KARET PADA ASPAL PEN 60/70 DAN  
ASPAL PG70 MENGGUNAKAN METODE  
PEMADATAN *MARSHALL* DAN *GYRATORY***



Disusun oleh :

**GIRI WIDHIATMOKO**

**NIM: 23914007**

**Diperiksa dan disetujui oleh:**

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

Dosen Pembimbing

\_\_\_\_\_

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

STUDI PERBANDINGAN KARAKTERISTIK  
CAMPURAN *SUPERPAVE* DENGAN PENAMBAHAN  
SERBUK BAN KARET PADA ASPAL PEN 60/70 DAN  
ASPAL PG70 MENGGUNAKAN METODE  
PEMADATAN *MARSHALL* DAN *GYRATORY*



Telah diuji oleh Dewan Penguji  
pada tanggal 09 September 2025  
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

(Susunan Dewan Penguji)

Dosen Pembimbing

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

Dosen Penguji I

(Dr. Eng. Faizul Chusanah, S.T., M.Sc.)

Dosen Penguji II

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

Yogyakarta, 17 OCT 2025

Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister

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 adalah merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya tulis ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dengan jelas dicantumkan sebagai acuan dalam naskah dengan disebutkan nama pengarang dan dicantumkan dalam daftar pustaka.
4. Program "*Software*" komputer yang digunakan dalam penelitian ini sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya, bukan tanggung jawab Universitas Islam Indonesia.
5. Pernyataan ini saya buat dengan sesungguhnya dan apabila di kemudian hari terdapat penyimpangan dan ketidak benaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang sudah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku di perguruan tinggi.

Yogyakarta, September 2025

Yang membuat pernyataan,



Giri Widiatmoko

23914007

## LEMBAR DEDIKASI

Segala puji dan syukur saya panjatkan ke hadirat Allah SWT, atas semua berkah dan rahmat serta petunjuk-Nya sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis ini dengan baik. Tak lupa Shalawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad SAW, teladan sepanjang masa.

Teruntuk keluarga saya, Bapak Bambang Suharno, Ibu Euis Yuyunyuningsih, Abang Adhe Kurniawan, dan Kakak Rischa Ayuningsih yang selalu mendoakan saya, mendukung saya. Ketika orang – orang pada menutup telinganya untuk saya, kalian selalu membuka semua pintu sampai pintu hati kalian untuk saya, sehingga saya dapat menyelesaikan tugas akhir ini.

Teruntuk kepada teman – teman terbaik saya, teman keluarga sobat happy yang benar – benar memberikan dukungan yang terbaik untuk saya. Teman – teman seperjuangan saya bu Zuasri, Hamdi, dan Rama yang sudah menemani dalam setiap kegiatan kuliah maupun hal lainnya.

Terakhir dan paling utama teruntuk wanita yang selalu ada disisi saya yaitu Calon Istri saya Merlina Rahma Hati yang sudah memberikan semua dukungannya serta selalu percaya bahwa saya bisa menyelesaikan magister ini dengan baik. Terima kasih ya sayang, Bismillah langkah selanjutnya dilancarkan buat pernikahan kita ya, Aamiin Allahuma Aamiin

Sekali lagi, Terima Kasih sebesar – besarnya.

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan Tesis yang berjudul *Studi Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70 Menggunakan Pemadatan Marshall dan Gyratory*. Tesis ini merupakan salah satu syarat akademik dalam menyelesaikan studi tingkat magister di Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Dalam penyusunan Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi penulis. Oleh karena itu penulis menyampaikan terima kasih yang sebesar – besarnya kepada :

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang selalu membimbing , memberikan nasehat, saran dan dukungan dalam pengerjaan Tesis ini.
2. Bapak Bambang Suharno , dan Ibu Euis Yuyunyuningsih yang berkorban banyak tanpa meminta pamrih untuk anak – anaknya, yang selalu memdoakan untuk anaknya tercinta dengan penuh ketulusan, sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini.
3. Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji I
4. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku Dosen Penguji II
5. Calon Istri saya Merlina Rahma Hati yang selalu percaya kepada saya.

Penulis berharap agar Tesis ini nantinya dapat bermanfaat bagi orang lain yang membaca dikemudian hari.

Yogyakarta, September 2025

Penulis,

Giri Widhiatmoko

(23914007)

## DAFTAR ISI

<b>HALAMAN JUDUL</b>	<b>i</b>
<b>HALAMAN PERSETUJUAN</b>	<b>ii</b>
<b>HALAMAN PENGESAHAN</b>	<b>iii</b>
<b>PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI</b>	<b>iv</b>
<b>LEMBAR DEDIKASI</b>	<b>v</b>
<b>KATA PENGANTAR</b>	<b>vi</b>
<b>DAFTAR ISI</b>	<b>vii</b>
<b>DAFTAR TABEL</b>	<b>xii</b>
<b>DAFTAR GAMBAR</b>	<b>xiv</b>
<b>DAFTAR LAMPIRAN</b>	<b>xvii</b>
<b>ARTI NOTASI</b>	<b>xxi</b>
<b>ABSTRAK</b>	<b>xxii</b>
<b><i>ABSTRACT</i></b>	<b>xxiii</b>
<b>BAB I PENDAHULUAN</b>	<b>1</b>
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	4
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Manfaat Penelitian	5
1.5 Batasan Penelitian	5
<b>BAB II TINJAUAN PUSTAKA</b>	<b>7</b>
2.1 Kinerja Campuran Aspal dengan Modifikasi Ban Karet ( <i>Crumb Rubber</i> )	7

2.2 Kinerja Campuran Aspal Pada Jenis Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70	9
2.3 Kinerja Campuran Aspal Pada Metode Penumbukkan	11
2.4 Persamaan dan Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu	14
<b>BAB III LANDASAN TEORI</b>	<b>20</b>
LANDASAN TEORI	20
3.1 Perkerasan Jalan	20
3.2 Fungsi Perkerasan	20
3.3 Jenis Perkerasan Berdasarkan Bahan Ikat	20
3.3.1 Perkerasan Kaku ( <i>rigid pavement</i> )	21
3.3.2 Perkerasan Lentur ( <i>flexible pavement</i> )	21
3.3.3 Perkerasan Komposit ( <i>Composite Pavement</i> )	22
3.4 Material Perkerasan Lentur	23
3.4.1 Bahan Ikat Bitumen / Aspal	23
3.4.2 Agregat	24
3.5 <i>Superpave Asphalt</i>	26
3.6 Perencanaan Kadar Aspal	27
3.7 Pemadatan <i>Marshall</i> dan <i>Gyratory</i>	27
3.7.1 Pemadatan <i>Marshall</i>	27
3.7.2 Pemadatan <i>Gyratory</i>	28
3.8 Pengujian dan Karakteristik <i>Marshall</i>	33
3.9 <i>Index of Retained Strength (IRS)</i>	36
3.10 <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	36
3.11 <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	37
3.12 <i>Cantabro Loss (CL)</i>	37
3.13 <i>Pengujian Index of Cantabro Loss</i>	38

3.14	<i>Stiffness Modulus</i>	38
3.15	<i>Penetration Index</i>	40
<b>BAB IV METODE PENELITIAN</b>		<b>41</b>
4.1	Jenis Penelitian	41
4.2	Data Penelitian	41
4.3	Teknik Pengumpulan Data	42
4.3.1	Pengujian Karakteristik Agregat	42
4.3.2	Karakteristik Aspal	43
4.3.3	Karakteristik <i>Marshall</i>	44
4.3.4	Karakteristik <i>Index Retained Strenght (IRS)</i>	45
4.3.5	Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	45
4.3.6	Karakteristik <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	46
4.3.7	Karakteristik <i>Cantabro Loss (CL)</i>	46
4.3.8	Karakteristik <i>Index Cantabro Loss (ICL)</i>	46
4.4	Perencanaan Campuran ( <i>Mix Design</i> )	46
4.5	Sampel Penelitian	50
4.6	Langkah-Langkah Pemasakan <i>Gyratory</i>	51
4.7	Bagan Alir Penelitian	54
<b>BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN</b>		<b>56</b>
5.1.	Hasil Penelitian	56
5.1.1	Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar dan Halus	56
5.1.2	Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	57
5.1.3	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum pada Campuran <i>Superpave</i>	58
5.1.4	Hasil Pengujian <i>IRS</i> Untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum pada Campuran <i>Superpave</i>	59

5.1.5	Penentuan Nilai KAO Dari Pengujian <i>Marshall</i> dan <i>IRS</i> .	60
5.1.6	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) pada Campuran <i>Superpave</i>	61
5.1.7	Hasil Pengujian <i>IRS</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran <i>Superpave</i>	61
5.1.8	Hasil Pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran <i>Superpave</i>	62
5.1.9	Hasil Pengujian <i>CL</i> untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran <i>Superpave</i>	63
5.1.10	Penentuan Nilai KKO dari Pengujian <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , dan <i>CL</i>	63
5.1.11	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> dan <i>IRS</i> dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pematatan <i>Marshall</i> dan Pematatan <i>Gyratory</i>	64
5.1.12	Hasil Pengujian <i>ITS</i> dan <i>TSR</i> dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pematatan <i>Marshall</i> dan Pematatan <i>Gyratory</i>	65
5.1.13	Hasil Pengujian <i>CL</i> dan <i>ICL</i> dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pematatan <i>Marshall</i> dan Pematatan <i>Gyratory</i>	66
5.2.	Analisis Hasil Pengujian	67
5.2.1	Karakteristik Agregat Kasar	67
5.2.2	Karakteristik Agregat Halus	68
5.2.3	Karakteristik <i>Filler</i>	69
5.2.4	Karakteristik Aspal	69
5.2.5	Karakteristik <i>Marshall</i> dan <i>IRS</i> Untuk Mencari KAO pada Campuran <i>Superpave</i> dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-7077	

5.2.6	Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , dan <i>CL</i> untuk Mencari Kadar Karet Optimum (KKO) dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70	84
5.3.	Pembahasan	95
5.3.1.	Karakteristik <i>Marshall</i> , dan <i>IRS</i> dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 Pada Pemadatan <i>Marshall</i> dan Pemadatan <i>Gyratory</i>	95
5.3.2.	Karakteristik <i>ITS</i> , dan <i>TSR</i> dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 pada Pemadatan <i>Marshall</i> dan Pemadatan <i>Gyratory</i>	106
5.3.3	Karakteristik <i>CL</i> , dan <i>ICL</i> dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 pada Pemadatan <i>Marshall</i> dan Pemadatan <i>Gyratory</i>	109
5.4.	Rekapitulasi Pengaruh Jenis Aspal , Serbuk Ban Karet dan Metode Pemadatan Pada Kinerja Campuran <i>Superpave</i>	113
<b>BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN</b>		<b>117</b>
6.1	Kesimpulan	117
6.2	Saran	118
<b>DAFTAR PUSTAKA</b>		<b>120</b>

## DAFTAR TABEL

Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Bahan Pengikat	14
Tabel 2. 2 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal Karet dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Penambahan Serbuk Ban Karet	16
Tabel 2. 3 Ringkasan Penelitian Tentang Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Jenis Pemadatan Marshall dan Gyratory	18
Tabel 3. 1 Ketentuan Untuk Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70	24
Tabel 3. 2 Ketentuan Agregat Kasar	25
Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Halus	26
Tabel 3. 4 Gradasi Agregat Campuran Superpave	26
Tabel 3. 5 Pemilihan Jumlah Girasi HMA untuk SGC	30
Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar	56
Tabel 5. 2 Hasil Pengujian Agregat Halus	56
Tabel 5. 3 Hasil Pengujian Filler Abu Batu	57
Tabel 5. 4 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PEN 60/70	57
Tabel 5. 5 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG-70	57
Tabel 5. 6 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PEN 60/70 + Serbuk Ban Karet	58
Tabel 5. 7 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG-70 + Serbuk Ban Karet	58
Tabel 5. 8 Rekapitulasi Pengujian Marshall untuk Mencari Nilai KAO dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70	59
Tabel 5. 9 Rekapitulasi Pengujian Marshall untuk Mencari Nilai KAO dengan Bahan Ikat Aspal PG-70	59
Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian IRS untuk Mencari Nilai KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan PG-70	60
Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum	61
Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian Marshall untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70	61

Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian Marshall untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PG-70	61
Tabel 5. 14 Rekapitulasi Pengujian IRS untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO)	62
Tabel 5. 15 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PEN 60/70	62
Tabel 5. 16 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PG-70	62
Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian CL untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO)	63
Tabel 5. 18 Rekapitulasi Kadar Karet Optimum	64
Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengujian Marshall dan IRS dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	64
Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian Marshall dan IRS dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	65
Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perhitungan Nilai Sbit dan Smix pada Pemadatan Marshall dan Gyratory	65
Tabel 5. 22 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	65
Tabel 5. 23 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	66
Tabel 5. 24 Rekapitulasi Pengujian CL dan ICL dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	66
Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengujian CL dan ICL dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory	66
Tabel 5. 26 Rekapitulasi Pengaruh Jenis Bahan Ikat atau Aspal Pada Kinerja Campuran Superpave	114
Tabel 5. 27 Rekapitulasi Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Kinerja Campuran Superpave	115
Tabel 5. 28 Rekapitulasi Pengaruh Jenis Pemadatan Pada Kinerja Superpave	116

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Gambar Lapis Perkerasan Lentur	22
Gambar 3. 2 Pemadatan <i>Marshall</i> dengan <i>Impact Hammer</i> di Lab Jalan Raya UII	28
Gambar 3. 3 Pemadatan Gyratory dengan Mesin Galileo di Lab Jalan Raya Universitas Islam Indonesia	29
Gambar 3. 4 Gyratory Load-Cell Plate Assembly (GLPA)	31
Gambar 3. 5 GLPA Pada SGC Selama Proses Girasi	32
Gambar 3. 6 Komponen Mold Pemadatan Gyratory	32
Gambar 3. 7 Mesin Uji Marshall dan Alat Penekan	33
Gambar 3. 8 Ilustrasi VMA dan VITM	35
Gambar 3. 9 Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS)	37
Gambar 4. 1 Gradasi Agregat Campuran Superpave	47
Gambar 4. 2 Proses Balancing Cetakan Gyratory	52
Gambar 4. 3 Proses Memasukkan Benda Uji Kedalam Cetakan Gyratory	52
Gambar 4. 4 Proses Pengaturan dan Pemadatan Benda Uji Pada Mesin Gyratory	53
Gambar 4. 5 Proses Pengeluaran Benda Uji Pada Mesin Gyratory	53
Gambar 4. 6 Bagan Alir Penelitian	54
Gambar 5. 1 Grafik Kadar Aspal Optimum Campuran Superpave dengan Aspal PEN 60/70	60
Gambar 5. 2 Grafik Kadar Aspal Optimum Campuran Superpave dengan Aspal PG-70	60
Gambar 5. 3 Grafik Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PEN 60/70	63
Gambar 5. 4 Grafik Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PG-70	64
Gambar 5. 5 Grafik Hasil Uji Berat Jenis Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	72
Gambar 5. 6 Grafik Hasil Uji Penetrasi Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	73
Gambar 5. 7 Grafik Hasil Uji Titik Lembek Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	74

Gambar 5. 8 Grafik Hasil Uji Daktilitas Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	75
Gambar 5. 9 Grafik Hasil Uji Titik Nyala Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	75
Gambar 5. 10 Grafik Hasil Uji Titik Bakar dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	76
Gambar 5. 11 Grafik Hasil Uji Penetration Index dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet	77
Gambar 5. 12 Grafik VITM untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	78
Gambar 5. 13 Grafik VFWA untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	79
Gambar 5. 14 Grafik VMA untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	80
Gambar 5. 15 Grafik Stabilitas Untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	81
Gambar 5. 16 Grafik Kelelahan Untuk Mencari KAO Dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	82
Gambar 5. 17 Grafik IRS Untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	83
Gambar 5. 18 Grafik Stabilitas Untuk Mencari KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	84
Gambar 5. 19 Grafik Kelelahan untuk Mencari KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	85
Gambar 5. 20 Grafik VMA Untuk Mencari Nilai KKO Dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	86
Gambar 5. 21 Grafik VITM untuk Mencari Nilai KKO Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	87
Gambar 5. 22 Grafik VFWA Untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	89
Gambar 5. 23 Grafik IRS Untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	90

Gambar 5. 24 Grafik ITS Tanpa Perendaman untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	91
Gambar 5. 25 Grafik ITS Perendaman 24 Jam untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	92
Gambar 5. 26 Grafik TSR untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	93
Gambar 5. 27 Grafik Cantabro Loss untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	94
Gambar 5. 28 Grafik Stabilitas dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory Pada Tiap Jenis Aspal	95
Gambar 5. 29 Grafik VITM dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory Pada Tiap Jenis Aspal	97
Gambar 5. 30 Grafik VMA dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory Pada Tiap Jenis Aspal	98
Gambar 5. 31 Grafik Perhitungan Nilai Kekakuan Bitumen (Sbit)	100
Gambar 5. 32 Grafik Smix dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Tiap Jenis Aspal	101
Gambar 5. 33 Grafik VFWA dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Tiap Jenis Aspal	102
Gambar 5. 34 Grafik Flow dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Tiap Jenis Aspal	103
Gambar 5. 35 Grafik IRS dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Tiap Jenis Aspal	105
Gambar 5. 36 Grafik ITS 0 Jam dan ITS 24 Jam dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	106
Gambar 5. 37 Grafik TSR dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	108
Gambar 5. 38 Grafik CL 0 Jam dan CL 24 Jam dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70	110
Gambar 5. 39 Grafik ICL dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PG-70	112

## DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemerksanaan Berat Jenis Aspal	1
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %	2
Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %aret 4 %	3
Lampiran 4 Pemerksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 6 % 6 %	4
Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %	5
Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %	6
Lampiran 7 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %	7
Lampiran 8 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %	8
Lampiran 9 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %	9
Lampiran 10 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %	10
Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %	11
Lampiran 12 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %	12
Lampiran 13 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %	13
Lampiran 14 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %	14
Lampiran 15 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %	15
Lampiran 16 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + karet 6 %	16
Lampiran 17 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 0 % 17	17
Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 2 % 18	18
Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 4 % 19	19
Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 6 % 20	20
Lampiran 21 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 0 %	21
Lampiran 22 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 2 %	22
Lampiran 23 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 4 %	23
Lampiran 24 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Kare 6 %	24
Lampiran 25 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 0 %	25
Lampiran 26 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 2 %	26
Lampiran 27 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 4 %	27
Lampiran 28 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 6 %	28
Lampiran 29 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 0 %	29
Lampiran 30 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + karet 2 %	30

Lampiran 31 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 4 %	31
Lampiran 32 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + karet 6 %	32
Lampiran 33 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 0 %	33
Lampiran 34 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 2 %	34
Lampiran 35 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 4 %	35
Lampiran 36 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 6 %	36
Lampiran 37 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 0 %	37
Lampiran 38 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 2 %	38
Lampiran 39 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 4 %	39
Lampiran 40 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 6 %	40
Lampiran 41 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	41
Lampiran 42 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	42
Lampiran 43 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal	43
Lampiran 44 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles	44
Lampiran 45 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	45
Lampiran 46 Pemeriksaan Sand Equivalent	46
Lampiran 47 Pemeriksaan Berat Jenis Filler Debu	47
Lampiran 48 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	48
Lampiran 49 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70	49
Lampiran 50 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70	51
Lampiran 51 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70	52
Lampiran 52 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70	54
Lampiran 53 Rekapitulasi Hasil Pengujian Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70 & PEN 60/70	55
Lampiran 54 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70	56
Lampiran 55 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70	58
Lampiran 56 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70	59
Lampiran 57 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70	61
Lampiran 58 Hasil Pengujian ITS Untuk Mencari KKO Bahan Ikat Pen 60/70	62

Lampiran 59 Hasil Pnegujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70	63
Lampiran 60 Hasil Pengujian ITS Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70	64
Lampiran 61 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70	65
Lampiran 62 Hasil Pengujian ITS dan Nilai TSR Untuk Mencari KKO	66
Lampiran 63 Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70	67
Lampiran 64 Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70	68
Lampiran 65 Hasil Pnegujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70	69
Lampiran 66 Rekapitulasi Hasil Pengujian Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PG-70 & PEN 60/70	70
Lampiran 67 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70	72
Lampiran 68 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	73
Lampiran 69 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Marshall Bahan Ikat PG-70	74
Lampiran 70 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	75
Lampiran 71 Hasil Pengujian IRS Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70	75
Lampiran 72 Hasil Pengujian IRS Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	76
Lampiran 73 Hasil Pengujian IRS Pemadatan Marshall Bahan Ikat PG-70	77
Lampiran 74 Hasil Pengujian IRS Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	78
Lampiran 75 Hasil Pengujian Marshall dan IRS Pemadatan Marshall dan Gyratory	80
Lampiran 76 Hasil Pengujian ITS Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70	81
Lampiran 77 Hasil Pengujian ITS Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	82
Lampiran 78 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70	83
Lampiran 79 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	84
Lampiran 80 Hasil Pengujian ITS Pemadatan Marshall Bahan Ikat PG-70	85
Lampiran 81 Hasil Pengujian ITS Pemadatan Gyratory bahan Ikat PG-70	86

Lampiran 82 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Marshall Bahan Ikat PG-70	87
Lampiran 83 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	88
Lampiran 84 Hasil Pengujian ITS dan Nilai TSR Pemadatan Marshall dan Gyratory	89
Lampiran 85 Hasil Pengujian CL Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70	90
Lampiran 86 Hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	91
Lampiran 87 Hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	92
Lampiran 88 hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PEN 60/70	93
Lampiran 89 Hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	94
Lampiran 90 Hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	95
Lampiran 91 Hasil Pengujian CL Pemadatan Marshall bahan Ikat PG-70	96
Lampiran 92 Hasil Pengujian CL Pemadatan Gyratory Bahan Ikat PG-70	97
Lampiran 93 Hasil Pengujian CL dan Nilai ICL Pemadatan Marshall dan Gyratory	98

## ARTI NOTASI

AASHTO	= <i>American Assosiation of State Highway Transportation</i>
CL	= <i>Cantabro Loss (%)</i>
ICL	= <i>Index of Cantabro Loss (%)</i>
IRS	= <i>Index Retained Strength (%)</i>
ITS	= <i>Indirect Tensile Strength (%)</i>
KAO	= <i>Kadar Aspal Optimum (%)</i>
KKO	= <i>Kadar Karet Optimum (%)</i>
SGC	= <i>Superpave Gyratory Compactor</i>
SHRP	= <i>Strategic Highway Research Program</i>
TSR	= <i>Tensile Strength Ratio (%)</i>
VITM	= <i>Void in Total Mix (%)</i>
VFWA	= <i>Void Filled with Asphalt (%)</i>
VMA	= <i>Void in Mineral Aggregate (%)</i>

## ABSTRAK

Perkembangan jumlah kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat, dari 148 juta unit pada tahun 2022 menjadi 164 juta unit pada tahun 2024, sehingga menuntut ketersediaan infrastruktur jalan dengan perkerasan yang kuat, tahan lama, dan efisien. Kondisi ini mendorong perlunya inovasi dalam desain perkerasan, salah satunya melalui penggunaan metode *Superpave* yang memanfaatkan aspal *Performance Grade* (PG) serta pemanfaatan limbah ban karet sebagai bahan tambah ramah lingkungan. Selain itu, penggunaan metode pemadatan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) dinilai lebih representatif terhadap kondisi lapangan dibandingkan metode *Marshall*.

Penelitian ini bertujuan membandingkan, menganalisis, dan mengevaluasi pengaruh jenis aspal, variasi kadar serbuk ban karet, dan metode pemadatan terhadap karakteristik volumetrik, mekanis, dan durabilitas campuran beton aspal *Superpave*. Tahapan penelitian dimulai dari pengujian fisik agregat, aspal, serta aspal dengan serbuk ban karet, kemudian penentuan kadar aspal optimum (5–7%) dan kadar karet optimum (2–6%). Benda uji dibuat dengan metode *Marshall* dan *Gyratory*, lalu diuji berdasarkan parameter volumetrik, mekanis, dan durabilitas.

Secara ringkas, kinerja campuran beton aspal dipengaruhi oleh jenis aspal, serbuk ban karet, dan metode pemadatan, di mana aspal PG-70 unggul dengan VITM lebih besar, VMA lebih rendah, serta IRS lebih tinggi dibanding PEN 60/70. Penambahan serbuk ban karet 2–4% meningkatkan stabilitas, *flow*, ITS, CL, IRS, dan TSR, namun pada 6% kinerja menurun, sementara pemadatan *Gyratory* lebih baik dari *Marshall* karena menghasilkan kepadatan lebih rapat menandakan volumetrik yang lebih baik, stabilitas dan durabilitas lebih tinggi, sehingga campuran lebih kaku, stabil, dan tahan terhadap kelembapan serta keausan.

**Keywords:** Aspal PEN 60/70, Aspal PG-70, Serbuk Ban Karet, *Marshall*, *Superpave Gyratory Compactor*

## **ABSTRACT**

*The number of motor vehicles in Indonesia continues to increase, from 148 million units in 2022 to 164 million units in 2024, requiring the availability of road infrastructure with strong, durable, and efficient pavement. This condition encourages the need for innovation in pavement design, one of which is through the use of the Superpave method that utilizes Performance Grade (PG) asphalt and the use of rubber tire waste as an environmentally friendly additive. In addition, the use of the Superpave Gyratory Compactor (SGC) compaction method is considered more representative of field conditions than the Marshall method.*

*This study aims to compare, analyze, and evaluate the effects of asphalt type, rubber tire powder content variation, and compaction methods on the volumetric, mechanical, and durability characteristics of Superpave asphalt concrete mixtures. The research stages began with physical testing of aggregates, asphalt, and asphalt with rubber tire powder, followed by determining the optimum asphalt content (5–7%) and optimum rubber content (2–6%). Test specimens were made using the Marshall and Gyratory methods, then tested based on volumetric, mechanical, and durability parameters.*

*In summary, the performance of asphalt concrete mixtures is influenced by the type of asphalt, rubber tire powder, and compaction method, where PG-70 asphalt excels with a higher VITM, lower VMA, and higher IRS compared to PEN 60/70. The addition of 2–4% rubber tire powder improves stability, flow, ITS, CL, IRS, and TSR, but at 6% the performance decreases, while Gyratory compaction is better than Marshall because it produces a higher density, indicating better volumetric properties, higher stability and durability, resulting in a stiffer, more stable mixture that is resistant to moisture and wear.*

**Keywords:** *PEN 60/70 asphalt, PG-70 asphalt, Crumb Rubber, Marshall, Superpave Gyratory Compactor*

# BAB I PENDAHULUAN

## 1.1 Latar Belakang

Perkembangan kendaraan bermotor di Indonesia terus meningkat seiring dengan berkembangnya beberapa sektor ekonomi, infrastruktur dan lainnya. Perkembangan pada infrastruktur jalan penting dalam menunjang mobilitas masyarakat dan perekonomian negara, sehingga dibutuhkan perkerasan yang kuat, dan efisien. Berdasarkan data Korlantas Polri 2024 mencatat jumlah kendaraan di Indonesia mencapai 164 juta dan data Badan Pusat Statistik 2022 mencatat jumlah kendaraan 148 juta, terjadi pertumbuhan jumlah kendaraan sebesar 16 juta dalam dua tahun. Dengan bertambahnya jumlah kendaraan tiap tahun, maka semakin meningkat volume lalu lintas sehingga membutuhkan kemajuan teknologi, desain dari perkerasan lentur agar memberikan umur layanan yang optimal dengan biaya yang efisien (Widhiatmoko & Fauziah, 2024). Kebutuhan jalan yang efektif dan efisien dibutuhkan dikarenakan semakin bertambahnya volume kendaraan maka semakin bertambah juga peluang kerusakan perkerasan jalan yang terjadi. Berdasarkan Statistik Transportasi Darat 2023 mencatat panjang jalan di Indonesia 543.720 km dengan kondisi baik 239.138 km, kondisi sedang 118.866 km, kondisi rusak 69.786 km dan kondisi rusak berat 115.930 km. Oleh karena itu perlu dilakukan modifikasi desain perkerasan jalan yang lebih tahan terhadap kerusakan. Salah satunya dengan memodifikasi aspal menggunakan campuran bahan alternatif ramah lingkungan dan penggunaan gradasi campuran seperti *Superpave*.

*Superpave* atau *Superior Performing Pavement* merupakan desain campuran perkerasan yang akan mencapai tingkat kinerja yang sesuai dengan berbagai kondisi lalu lintas, iklim, kelandaian, serta umur yang lebih lama (Kennedy et al., 1994). Campuran *Superpave* secara umum memiliki komposisi yang serupa dengan campuran aspal *Marshall*, namun perbedaannya terletak pada gradasi agregat yang disusun berdasarkan faktor iklim dan suhu di lokasi penerapannya (Adityaningrum, 2022). Penggunaan perkerasan dengan gradasi *Superpave* memberikan keunggulan

dalam meningkatkan ketahanan jalan terhadap beban lalu lintas berat dan kondisi lingkungan ekstrem, sehingga memperpanjang masa pakai perkerasan dengan mengurangi potensi kerusakan seperti retak (*fatigue cracking*), deformasi permanen (*rutting*), serta penurunan adhesi akibat efek kelembaban (*moisture damage*) (Hadi & Fauziah, 2022). Desain perkerasan campuran jenis *Superpave* didesain berdasarkan faktor suhu, iklim, beban lalu lintas untuk mendapatkan desain campuran yang sesuai, sedangkan pada campuran jenis *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC), *Asphalt Concrete – Binder Course* (AC-BC) didesain menggunakan amplop gradasi yang merupakan batas atas dan batas bawah yang sudah ditetapkan melalui peraturan Bina Marga. Campuran *Superpave* memiliki banyak kelebihan maka dilakukan adaptasi penggunaan *Superpave* dalam perencanaan perkerasan di Indonesia. Selain dari cara desain yang berbeda campuran *Superpave* juga memiliki penggunaan jenis aspal yang berbeda dengan sistem *Marshall* di Indonesia. Pada umumnya perkerasan di Indonesia menggunakan aspal Jenis Penetrasi (PEN), Sedangkan pada *Superpave* menerapkan aspal *Performance Grade* (PG). Sistem PG memungkinkan pemilihan aspal yang lebih spesifik sesuai dengan kondisi iklim dan suhu ekstrem di suatu daerah, sehingga meningkatkan stabilitas dan daya tahan perkerasan terhadap perubahan temperatur dan beban dinamis yang terus menerus terjadi pada jalan.

Pemilihan aspal jenis PG didasarkan pada kombinasi pembebanan lalu lintas dan kondisi lingkungan sehingga aspal PG juga memiliki banyak variasi serta keunggulan masing-masing (Kennedy dkk., 1994). Aspal atau Bitumen sendiri merupakan bahan perekat material yang berwarna gelap berbentuk semi padat, dan memiliki sifat termoplastis dan sifat viscous (Sukirman, 2016). Aspal yang umum beredar di Indonesia merupakan aspal jenis PEN yaitu aspal berdasarkan kelas penetrasinya, di negara lain kelas Penetrasi dikenal juga sebagai kelas aspal AC dan aspal PG (RSNI M-01-2003, 2010). Saat ini aspal PG70 sering digunakan di proyek – proyek besar seperti jalan tol, landasan pacu dan lain-lain. Hal ini dikarenakan aspal PG70 lebih stabil dari segi suhu dan hal lainnya dibandingkan aspal PEN. Berdasarkan penjelasan di atas dapat dirumuskan bahwa penggunaan Aspal PG70 lebih baik dari pada Aspal PEN 60/70. Hal ini sesuai dengan penelitian yang dilakukan Rahman dkk (2024), dimana menjelaskan penggunaan bahan ikat starbit

PG-70 lebih kaku dan memiliki ikatan kohesi yang lebih besar sehingga ikatan antar agregat dan aspal menjadi lebih kuat dibandingkan bahan ikat pen 60/70, selain itu aspal PG-70 mampu memperlambat laju deformasi dan memberikan deformasi yang kecil pada campuran beton aspal. Aspal PG memiliki nilai penetrasi yang kecil. Dengan penggunaan aspal PG yang sudah mulai di terapkan di Indonesia besar kemungkinan penggunaan gradasi *Superpave* yang berkaitan langsung dengan aspal PG dapat diterapkan juga di Indonesia. Untuk campuran *Superpave* sendiri menggunakan pemadatan jenis *Superpave Gyratory Compactor* atau SGC.

*Superpave Gyratory Compactor* (SGC) adalah bagian dari metodologi desain perkerasan aspal *Superpave*, yang dikembangkan melalui *Strategic Highway Research Program* (SHRP) pada akhir 1980-an dan awal 1990-an. Pada jenis campuran *Superpave* metode pemadatan secara SGC secara pemadatan berputar merupakan pemadatan yang mensimulasikan pemadatan di lapangan dan dilaboratorium setara dengan campuran perkerasan jalan di tempat (Kennedy dkk., 1994). SGC dikembangkan untuk memenuhi kebutuhan desain campuran aspal yang lebih baik, yang bisa menangani berbagai tantangan yang dihadapi pada perkerasan jalan, terutama berkaitan dengan beban lalu lintas yang lebih berat dan kondisi iklim yang bervariasi. Hal ini sesuai dengan penelitian (Hadiastari, 2022), dimana menyimpulkan bahwa berdasarkan nilai volumetriknya, *resilient modulus* ketahanan terhadap *rutting*, dan *workability* bahwa pemadatan campuran menggunakan SGC lebih baik dibandingkan dengan pemadatan *Marshall*, hal ini dikarenakan pada pemadatan SGC dalam target volumetriknya dapat dicapai lebih mudah dibandingkan dengan pemadatan *Marshall*,

Berdasarkan penjelasan diatas, penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbandingan penggunaan jenis bahan ikat, campuran, bahan tambah, dan metode pemadatan pada karakteristik campuran beton aspal *Superpave*. Penelitian ini mencakup pengujian *Marshall*, *Index Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)* dan *Index Cantabro Loss (ICL)*. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam penentuan jenis campuran, bahan tambah, dan metode pemadatan untuk meningkatkan kekuatan dan efektivitas dari perkerasan jalan untuk kemajuan infrastruktur Indonesia yang lebih baik.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latarbelakang di atas maka rumusan masalah didalam penelitian ini adalah

1. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap parameter volumetrik campuran perkerasan ?
2. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap segi mekanis atau mekanikal campuran perkerasan ?
3. Bagaimana pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap parameter durabilitas campuran perkerasan ?
4. Bagaimana pengaruh perbedaan pemadatan sampel terhadap parameter volumetrik campuran perkerasan ?
5. Bagaimana pengaruh perbedaan pemadatan sampel terhadap segi mekanis atau mekanikal campuran perkerasan?
6. Bagaimana pengaruh perbedaan pengaruh pemadatan terhadap parameter durabilitas campuran perkerasan ?

## **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah ditentukan sebelumnya, maka tujuan dari penelitian ini adalah

1. Identifikasi pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap parameter volumetrik campuran perkerasan.
2. Mengevaluasi pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap segi mekanis atau mekanikal campuran perkerasan.
3. Analisis pengaruh perbedaan jenis bahan ikat dan penambahan serbuk ban karet terhadap parameter durabilitas campuran perkerasan.
4. Membandingkan pengaruh perbedaan pemadatan terhadap parameter volumetrik campuran perkerasan.
5. Mengevaluasi pengaruh perbedaan pemadatan sampel terhadap segi mekanis atau mekanikal campuran perkerasan.
6. Analisis pengaruh perbedaan pengaruh pemadatan terhadap parameter durabilitas campuran perkerasan.

#### 1.4 Manfaat Penelitian

Berdasarkan jenis penelitian yang dilakukan, Adapun manfaat penelitian ini adalah

1. Bagi Akademisi

Penelitian ini bertujuan untuk menambah pengetahuan mengenai hasil uji karakteristik volumetrik, mekanik, dan durabilitas campuran *Superpave* yang menggunakan aspal polimer PG 70 dan aspal PEN 60/70 yang dimodifikasi dengan serbuk ban karet, serta metode pemadatan sampelnya..

2. Bagi Pemerintah

Menambah opsi pemerintah dalam pemanfaatan kedua jenis aspal agar maksimal sesuai dengan kebutuhannya. Selain itu menambah jenis pemadatan dalam desain perkerasan yang sesuai dengan kondisi lapangan.

3. Bagi Masyarakat

Memberikan edukasi serta tambahan pengetahuan kepada Masyarakat mengenai aspal polimer PG70 campur serbuk ban karet dan aspal PEN 60/70 campur ban karet dengan berbagai metode penumbukkan pada campuran *flexible pavement*.

#### 1.5 Batasan Penelitian

Batasan penelitian dalam penelitian ini antara lain.

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Material agregat kasar dan halus yang digunakan merupakan material yang berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
3. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70.
4. Jenis campuran yang digunakan adalah campuran *Superpave* dengan nomor ukuran saringan no #1/2 yang termasuk *Superpave* lapisan aus yang berkontak langsung dengan ban atau *wearing course*.
5. Bahan tambah yang digunakan pada penelitian ini adalah serbuk ban karet lolos saringan no #16 tertahan no #30 dengan persentase 2%, 4%, dan 6% terhadap total aspal.
6. Metode pencampuran karet menggunakan *wet process* yaitu mencampurkan serbuk ban karet pada aspal.

7. Metode pemadatan menggunakan dua jenis yaitu pemadatan *Marshall* (*Marshall Compaction*) dan pemadatan sentrifugal (*Gyratory Compaction*) dengan merek *Galileo* yang ada di Lab Jalan Raya FTSP UII.
8. Karakteristik volumetrik yang diukur adalah, *Void Filled With Asphalt* (VFWA), *Void in the Total Mix* (VITM), dan *Void in the Mineral Aggregate* (VMA).
9. Karakteristik mekanikal campuran yang diukur dari hasil pengujian *Marshall*, *Indirect Tensile Strength* (ITS), dan *Cantabro Loss* (CL).
10. Karakteristik durabilitas pada campuran antara lain *Index Retained Strength* (IRS), *Tensile Strength Ratio* (TSR) dan *Index Cantabro Loss* (ICL).
11. Penelitian ini tidak menguji kandungan unsur mineral dan kimiawi pada limbah serbuk ban karet.
12. Spesifikasi material dan bahan serta pengujian karakteristik campuran yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan Standar Spesifikasi Bina Marga 2018.

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Kinerja Campuran Aspal dengan Modifikasi Ban Karet (*Crumb Rubber*)

Limbah ban karet merupakan salah satu masalah yang dihadapi oleh seluruh dunia. Hal ini dikarenakan banyaknya jumlah limbah yang dihasilkan serta pengolahan limbah yang masih minim. Sebagai negara berkembang limbah ban karet di Indonesia terus menerus meningkat seiring dengan meningkatnya pertumbuhan jumlah kendaraan. Berdasarkan data Asosiasi Perusahaan Ban pada tahun 2016, pengguna ban di Indonesia meningkat dari 39 juta ban menjadi 45 juta ban pertahun. Berdasarkan data tersebut jika dihipotesiskan dapat membuat tumpukan ban besar seluas 30 lapangan sepak bola setiap tahunnya (Iduwin, dkk. 2023). Jumlah limbah ban bekas yang banyak diperlukan perlakuan seperti penggunaan kembali maka salah satu solusi yang dilakukan adalah dengan menggunakan limbah tersebut untuk sesuatu yang lebih bermanfaat. Salah satunya adalah penambahan campuran ban bekas pada campuran beton aspal.

Penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dan Fauziah (2023) mengkaji pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran aspal *Hot Rolled Sheet-Wearing Course* (HRS-WC) dengan menggunakan dua metode pencampuran, yaitu *Marshall* dan dua tahap. Variasi kadar serbuk ban karet yang digunakan dalam penelitian tersebut meliputi 0%, 2%, 4%, dan 6%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki karakteristik volumetrik campuran berdasarkan parameter *Marshall*, khususnya pada kadar 2%. Dilihat dari segi mekanis, stabilitas optimum tercapai pada kadar 2%, sedangkan peningkatan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dicapai pada kadar 2% dan 4%. Peningkatan *Tensile Strength Ratio* (TSR) hanya signifikan pada kadar 2%. Selain itu, kinerja campuran juga mengalami perbaikan pada parameter *Indirect Resilient Stiffness* (IRS), *Cantabro Loss* (CL), *Stiffness Mix* (Smix), dan *Asphalt Flow Down* (AFD). Metode pencampuran dua tahap terbukti menghasilkan kinerja campuran yang lebih baik dibandingkan metode pencampuran *Marshall*.

Putra dkk. (2023) meneliti karakteristik campuran aspal modifikasi pada *Asphalt Concrete – Wearing Course* (AC-WC) dengan penambahan serbuk ban kendaraan bekas sebagai bahan aditif. Penelitian ini menggunakan dua variasi kadar serbuk ban karet, yaitu 1% dan 2%, di mana material serbuk ban yang digunakan merupakan partikel yang lolos ayakan nomor 8. Hasil analisis menunjukkan bahwa penambahan 1% serbuk ban menghasilkan nilai optimum Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,18%. Pada kadar ini, diperoleh nilai parameter volumetrik *Voids in Mix* (VIM) sebesar 4,61%, *Voids in Mineral Aggregate* (VMA) sebesar 18,52%, *Voids Filled with Asphalt* (VFA) sebesar 75,31%, nilai stabilitas *Marshall* sebesar 1459 kg, dan nilai *flow* sebesar 2,95 mm. Penambahan serbuk ban pada kadar rendah ini menunjukkan potensi peningkatan kinerja mekanik dan karakteristik volumetrik campuran aspal, sehingga dapat menjadi alternatif material modifikasi ramah lingkungan pada perkerasan jalan.

Al-Salih (2020) mengevaluasi efektivitas penggunaan *crumb rubber* (serbuk ban karet) dalam meningkatkan performa campuran beton aspal, khususnya pada perkerasan lentur. Penelitian ini menganalisis karakteristik *Marshall* dan perilaku deformasi permanen (*rutting*) dengan menambahkan *crumb rubber* sebanyak 3%, 6%, dan 9% ke dalam aspal panas dengan penetrasi 60/70. Dua jenis campuran digunakan, yaitu *Bituminous Concrete* (BC) dan *Stone Matrix Asphalt* (SMA). Hasil studi menunjukkan bahwa peningkatan kadar *crumb rubber* menyebabkan peningkatan nilai stabilitas pada kedua jenis campuran hingga batas 6%, namun terjadi penurunan pada kadar 9%. Nilai *flow* juga meningkat seiring dengan bertambahnya *crumb rubber*. Selain itu, campuran SMA menunjukkan resistansi deformasi permanen yang lebih baik dibandingkan BC, sementara campuran dengan *Crumb Rubber Modified Bitumen* (CRMB) menunjukkan ketahanan yang tinggi terhadap *rutting* (Al-Salih, 2020).

Prayogi (2022) melakukan penelitian karakteristik pemanfaatan penggunaan ban dalam kendaraan bekas roda empat terhadap campuran laston. Penelitian ini menggunakan parutan karet ban dalam bekas sebagai *filler* dengan metode pencampuran kering. Untuk variasi penambahan serbuk ban karet sebesar 2%, 4%, 6%, 8%, dan 10% pada campuran beton aspal AC-BC. Hasil penelitian menunjukkan nilai stabilitas tertinggi pada kadar karet ban 10% yaitu sebesar

1458,01 kg. Nilai VMA tertinggi pada penambahan karet ban 10% yaitu sebesar 23,81%. Nilai VITM untuk variasi 2% sampai 8% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VFWA terbesar pada kadar karet ban bekas variasi 10% yaitu sebesar 81,99%.

## **2.2 Kinerja Campuran Aspal Pada Jenis Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70**

Bahan ikat atau bitumen merupakan salah satu komponen utama dalam campuran beton aspa, Aspal snediri merupakan hasil dari proses penyulingan minyak bumi sehingga ketersediaannya akan semakin menipis, oleh karena itu diperlukan inovasi pengembangan aspal polimer (Tilik, 2022). Salah satu modifikasi polimer yang dilakukan dan diterapkan di Indonesia adalah aspal polimer *Penetration Grade* atau PG70.

Dalam publikasi yang ditulis oleh Apteda dkk. (2023), dilakukan penelitian mengenai perbandingan karakteristik *Marshall* antara campuran aspal modifikasi polimer PG70 dan aspal minyak dengan penetrasi 60/70 pada proyek preservasi Jalan Sidoarjo–Malang. Penelitian ini menggunakan dua jenis bahan pengikat, yaitu aspal PEN 60/70 dan aspal PG70. Hasil penelitian menunjukkan bahwa campuran dengan aspal modifikasi PG70 menghasilkan nilai *Marshall Quotient* yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal PEN 60/70. Hal ini mengindikasikan bahwa penggunaan aspal PG70 mampu meningkatkan kualitas dan daya dukung campuran perkerasan lebih baik dibandingkan dengan aspal PEN 60/70. Selain itu, nilai *Marshall Quotient* yang tinggi mencerminkan stabilitas yang baik terhadap deformasi plastis, sehingga campuran lebih tahan terhadap beban lalu lintas berat dan perubahan suhu ekstrem.

Purnama (2021) melakukan penelitian campuran beraspal dengan menggunakan aspal Starbit E-55 dan aspal PG 76 FR berdasarkan gradasi *Asphalt Concrete (AC)* Bandar Udara. Hasil penelitian didapatkan Kadar Aspal Optimum pada campuran aspal Starbit E-55 sebesar 6,26% dan untuk campuran aspal PG 76 sebesar 5,75%. Nilai VITM campuran beton aspal dengan aspal PG 76 lebih kecil , nilai VFWA dengan campuran aspal PG 76 lebih besar dari aspal PEN 60/70. Nilai stabilitas terbesar terdapat pada campuran PG 76. Faisal dkk. (2018) meneliti tentang campuran *Thin Surfacing Hot Mix Asphalt* dengan campuran *Crumb Rubber*, Retona Blend E-55, Starbit E-55, *Ethylene Vinyl Acetate* dan Aspal PEN

60/70. Penelitian ini menggunakan benda uji yang dibuat di lapangan ukuran 1m x 3m tebal 3cm dengan gilasan 10 gilasan, 15 gilasan, dan 20 gilasan. Hasil penelitian menyimpulkan campuran beton aspal dengan campuran Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas yang paling baik diantara campuran aspal lainnya yaitu sebesar 1024,60 kg. Semakin banyak jumlah lintasan gilasan dari campuran maka semakin tinggi nilai *volumetric*.

Penelitian yang dilakukan oleh Ferbiansyah dkk. (2023) menganalisis durabilitas campuran beton aspal AC-WC dengan menggunakan kombinasi aspal PEN 60/70 dan aspal PG76 dalam perbandingan 40:60. Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas campuran dengan komposisi tersebut 15,13% lebih rendah dibandingkan campuran yang menggunakan 100% aspal PG76. Selain itu, nilai *flow* dan *void in the mix* (VIM) pada campuran kombinasi juga mengalami penurunan dibandingkan dengan campuran aspal PG76 murni. Penurunan parameter ini menunjukkan adanya pengaruh negatif terhadap kinerja durabilitas campuran akibat penggunaan aspal PEN 60/70 dalam proporsi tertentu. Penelitian yang serupa dilakukan oleh Ikhwandito dkk. (2023) melakukan penelitian dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG 76 dengan perbandingan 30:70. Hasil penelitian disimpulkan bahwa nilai Stabilitas dengan campuran 30% aspal PEN 60/70 dan 70% aspal PG 76 lebih besar yaitu 1747 kg dibandingkan dengan campuran 100% aspal PEN 60/70 sebesar 1123 kg. Nilai *flow* campuran 30% aspal PEN 60/70 dan 70% aspal PG 76 lebih besar yaitu 3,57 mm dibandingkan dengan campuran 100% aspal PEN 60/70 sebesar 2,21 mm.

Lusyana dkk. (2022) melakukan penelitian perbandingan karakteristik campuran menggunakan aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76. Pada penelitian ini menggunakan 3 jenis aspal yaitu 100% aspal PEN 60/70, campuran kombinasi 50% aspal PEN 60/70 dan 50% aspal PG 76, serta 100% aspal PG 76. Hasil penelitian didapatkan untuk nilai KAO dengan 100% aspal PEN 60/70 sebesar 6,37%, KAO dengan kombinasi 50% aspal PEN 60/70 dan 50% aspal PG 76 sebesar 6,5%, dan KAO dengan 100% aspal PG 76 sebesar 6,6%. Hasil Stabilitas dengan 100% aspal PG memiliki nilai stabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan aspal campuran 50:50 dan aspal 100% PEN 60/70, hal ini karena aspal PG 76 memiliki kekentalan yang lebih besar dibandingkan jenis aspal lainnya. Hasil VIM dengan 100% aspal PG

memiliki nilai VIM lebih tinggi dibandingkan dengan aspal campuran 50:50 dan aspal 100% PEN 60/70, hal ini karena aspal PG 76 lebih kental sehingga lambat dalam mengisi rongga campuran.

Penelitian yang dilakukan El Atrash dkk. (2018) telah menunjukkan bahwa pada campuran *Marshall* yang dirancang menggunakan CR (*Crumb Rubber*) dan pengikat aspal B (60/70) serta gradasi agregat yang tepat, metode *Marshall* memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan campuran *Marshall* tradisional. Selain itu, hasil yang diperoleh dari uji desain campuran *Superpave* dengan bahan pengikat aspal PG70-10 menunjukkan indikator kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan campuran modifier *Marshall* dengan CR. Dari penjelasan ini didapatkan bahwa untuk penambahan serbuk ban karet meningkatkan nilai stabilitas campuran yang diuji secara penumbukkan *Marshall* ataupun *Superpave Gyratory Compaction*

### **2.3 Kinerja Campuran Aspal Pada Metode Penumbukkan**

Kinerja campuran beton aspal sangat dipengaruhi oleh metode pemadatan atau penumbukkan campuran beton aspal selama proses. Dua metode yang umum digunakan untuk mengevaluasi sifat – sifat campuran beton aspal adalah metode *Marshall* dan metode *Gyratory* (Takallo dkk, 1997). Ruth & West (1995) pada penelitiannya menyatakan bahwa pemadatan menggunakan metode *Gyratory* menghasilkan pemadatan yang realistis dilapangan sehingga sifat benda uji dilaboratorium mendekati dengan sifat benda uji dilapangan. Penggunaan pemadatan *Gyratory* dapat ditentukan atau dikontrol berdasarkan nilai kepadatannya yang akan ditentukan (Oliver, 1994).

D'Angelo, dkk (1995) melakukan penelitian kinerja pemadatan prosedur *Gyratory* dengan menggunakan prosedut *Marshall*. Penelitian ini menggunakan lima pasang benda uji dari pabrik yang berbeda – beda dengan campuran *Hot Mix Asphalt* yang dipadatkan dengan prosedur *Marshall* dan *Gyratory*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil karakteristik aspal VITM dan VMA lebih rendah dengan metode *Gyratory* dibandingkan dengan metode *Marshall*. Nilai *Density* juga lebih tinggi pada metode *Gyratory* dibandingkan dengan metode *Marshall* yang berarti campuran lebih padat.

Kamba, (2013) melakukan penelitian pengaruh penentuan kadar aspal optimum terhadap kualitas desain campuran beraspal. Pada penelitian ini untuk penumbukan *Marshall* menggunakan variasi 35, 50, dan 75 tumbukan. Untuk pemadatan *Gyratory* menggunakan variasi sudut putar 1,25°, 1,5°, dan 1,75°. Hasil penelitian disimpulkan bahwa *density* dari campran dengan metode pemadatan *Gyratory* memberikan hasil yang lebih besar dari rencana *density* pada metode *Marshall*. Pemadat berputar SGC dapat mencapai konten kekosongan udara yang lebih rendah daripada yang dicapai oleh pemadat *Marshall Hammer* dengan ketahanan *creep* yang lebih baik dan lebih ekonomis daripada campuran tradisional *Marshall* karena berkurang kandungan aspal yang berkurang (Ahmad dkk., 2014).

Penelitian yang dilakukan Harman dkk. (2002) dimana SGC digunakan untuk mensimulasikan pemadatan yang sebanding dengan 75 pukulan dalam prosedur *Marshall*. Didapatkan hasil pada pemadatan SGC menghasilkan spesimen dengan dispersi yang lebih kecil dalam kelompok. Penelitian Von Quintus (1991) dimana melakukan pengujian dengan menggunakan lima alat pemadat laboratorium yang berbeda antara lain *Texas Gyratory compactor*, *Rolling wheel compactor*, *Kneading compactor*, *Arizona vibratory/kneading compactor*, dan *standart Marshall hammer*. Dari kelima jenis teknik pemadatan menunjukkan bahwa sifat-sifat spesimen yang dipadatkan dilaboratorium dan core pada lapangan menggunakan *Texas Gyratory* memiliki nilai terbesar yaitu 63%, untuk *Rolling wheel compactor* sebesar 49%, *Keading compactor* sebesar 52%, *Arizona vibratory/kneading compactor* sebesar 41%, dan *standart Marshall hammer* memiliki nilai terkecil yaitu sebesar 35%.

Hasil yang diperoleh dari Penelitian El Atrash dkk. (2018) mendapatkan hasil uji desain campuran *Superpave* menunjukkan indikator kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan hasil yang diperoleh dari uji Stabilitas *Marshall* dan lebih unggul pada semua tahap pengujian. Hasil ini memberikan pedoman untuk meningkatkan produksi aspal campuran panas (HMA) dan dasar untuk campuran perkerasan jalan yang berbeda, dengan mengadopsi pengikat PG dan pemadat *Superpave Gyratory* (SGC) sebagai pengganti palu dan pengikat *Marshall B60/70*. Penelitian telah menunjukkan bahwa pemadatan dengan tumbukan pada metode *Marshall* tidak realistis dibandingkan dengan SGC yang mensimulasikan kepadatan lapangan. Sistem *Pen Grade* biasanya dilakukan pada suhu uji tunggal 25°C, yang

tidak memperhitungkan seluruh spektrum suhu yang dialami oleh pengikat aspal di lapangan (Almadwi dan Assaf, 2017).

Pada umumnya kepadatan pada metode *Marshall* dihitung berdasarkan berat kering, berat dalam air, dan berat permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry* (SSD). Pada pemadatan SGC, pemadatan di ukur dalam keadaan kering sampel sebelum dipadatkan dan volume benda uji yang menghasilkan nilai kepadatan SGC lebih kecil dibandingkan dengan perhitungan metode *Marshall* (Hariyadi dan Dewi, 2024).

## 2.4 Persamaan dan Perbedaan Dengan Penelitian Terdahulu

Adapun ringkasan penelitian sebelumnya terkait topik penelitian dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut ini.

**Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Bahan Pengikat**

No	Aspek	Purnama (2021)	Apteda dkk.(2023)	Ferbiansyah,dkk. (2023)	Wibisono dan Yuantika (2024)	Pratama dan Haratama (2024)	Widhiatmoko (2025)
1	Judul	Kinerja Campuran Beraspal Dengan Menggunakan Aspal Starbit E-55 dan Aspal PG 76 FR Berdasarkan Gradasi Asphalt Concrete (AC) Bandar Udara	Perbandingan Karakteristik <i>Marshall</i> Pada Aspal Modifikasi Polimer PG70 dengan Aspal Minyak Pen 60-70 pada Proyek Preservasi Jalan Sidoarjo Malang	Analisis Durabilitas Campuran AC-WC Menggunakan Asphalt Buton PEN 60/70 dan Asphalt Pg76 Perbandingan 40:60	Analisis Kualitas Aspal Pertamina Dan Aspal PG 70 Berdasarkan Uji Penetrasi Menggunakan SNI 2456-2011	Studi Komparasi Karakteristik dan Nilai Daktilitas Aspal Modifikasi PG70 dengan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	Studi Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> Dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Aspal Pen 60/70 Dan Aspal PG70 Menggunakan Metode Penumbukkan <i>Marshall</i> Dan <i>Gyratory</i>
2	Jenis Campuran	<i>AC-WC</i>	<i>AC-BC</i>	<i>AC-WC</i>			<i>Superpave</i>
3	Jenis Aspal	Aspal Starbit E-55 dan Aspal PG 76 FR	Aspal Pen 60-70 dan Aspal Polimer PG70	100% Aspal PEN 60/70, Kombinasi 50% Aspal Pen dan 50% Aspal PG, dan 100% Aspal PG76	Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG	Aspal Pen 60/70 dan Aspal PG-70	Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70 Dengan Serbuk Ban Karet
4	Pengujian	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>Marshall Quotient</i>	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik Aspal Pada Penetrasi	Karakteristik Aspal Pada Penetrasi	<i>Marshall</i> , <i>Index Retained Strength (IRS)</i> , <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> , <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> , dan <i>Cantabro Loss (CL)</i>

Sumber : Purnama (2021), Apteda dkk. (2023), Ferbiansyah dkk. (2023), Wibisono dan Yuantika (2024), Pratama dan Haratama (2024)

**Lanjutan Tabel 2. 1 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Bahan Pengikat**

5	Hasil Pengujian	<p>Kadar Aspal Optimum pada campuran aspal Starbit E-55 sebesar 6,26% dan untuk campuran aspal PG 76 sebesar 5,75%. Nilai VITM campuran beton aspal dengan aspal PG 76 lebih kecil, nilai VFWA dengan campuran aspal PG 76 lebih besar dari aspal PEN 60/70. Nilai stabilitas terbesar terdapat pada campuran PG 76.</p>	<p>Hasil penelitian menyimpulkan campuran dengan aspal modifikasi polimer PG70 menghasilkan nilai <i>Marshall Quotient</i> yang lebih baik dari pada aspal PEN 60-70, sehingga menunjukkan bahwa kualitas campuran dengan aspal PG70 memiliki kualitas yang lebih baik dalam menambah daya dukung campuran dibandingkan dengan campuran dengan aspal PEN 60-70.</p>	<p>Hasil penelitian disimpulkan bahwa nilai Stabilitas dengan campuran 40% aspal PEN 60/70 dan 60% aspal PG76 menghasilkan stabilitas 15,13% lebih rendah dari pada campuran dengan 100% aspal PG 76. Campuran dengan aspal PEN 60/70 sebesar 40% dan 60% aspal PG 76 menghasilkan nilai <i>Flow</i> yang lebih rendah dibandingkan dengan nilai <i>Flow</i> 100% aspal PG 76. Nilai VIM campuran kombinasi mengalami penurunan.</p>	<p>Hasil penelitian didapatkan nilai penetrasi aspal Pen 60/70 sebesar 61 mm dan aspal PG 70 sebesar 48 mm. Nilai penetrasi aspal PG 70 lebih rendah dan meningkatkan nilai stabilitas aspal PG 70. Dari <i>visual</i> aspal PG 70 lebih hitam pekat sedangkan aspal Pen 60/70 memiliki <i>visual</i> yang lebih mengkilap dan tekstur lebih lentur jika ditekan.</p>	<p>Hasil penelitian didapatkan aspal PG 70 dan aspal Pen 60/70 memiliki daktilitas yang sama yaitu lebih dari 140 cm, akan tetapi secara tampilan pada panjang yang sama aspal PG 70 memiliki serat yang lebih tebal daripada aspal Pen 60/70.</p>	<p>Hasil penelitian didapatkan dari segi volumetrik penggunaan aspal PG-70 memiliki hasil yang lebih baik dari aspal PEN 60/70, begitu juga dari segi mekanis dimana hasil stabilitas, ITS, CL pada aspal PG-70 masih lebih baik dari pada aspal PEN 60/70, dan hasil durabilitas pada pengujian IRS didapatkan untuk aspal PG-70 memiliki ketahanan terhadap suhu ekstrim dari pada aspal PEN 60/70.</p>
---	-----------------	--	---	--	---	--	---

Sumber : Purnama (2021), Apteda dkk. (2023), Ferbiansyah dkk. (2023), Wibisono dan Yuantika (2024), Pratama dan Haratama (2024)

**Tabel 2. 2 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal Karet dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Penambahan Serbuk Ban Karet**

No	Aspek	Dina dkk (2019)	Al-Salih (2020)	Iqbal dan Fauziah (2024)	Apteda dkk.(2023)	Maleve dkk (2023)	Widhiatmoko (2025)
1	Judul	Karakteristik Penggunaan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4 Terhadap Campuran AC- BC	<i>Using Crumb Rubber to Improve the Bituminous Mixes : Experimental Investigation of Rutting Behavior of Flexible Asphalt Mix for Road Construction</i>	Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran <i>Hot Rolled Sheet – Wearing Course</i>	Perbandingan Karakteristik Marshall Pada Aspal Modifikasi Polimer PG70 dengan Aspal Minyak Pen 60-70 pada Proyek Preservasi Jalan Sidoarjo Malang	<i>The Effects of Waste Tire Rubber on Penetration, Softening Point, Viscosity, Ductility, Flash Point, Specific Gravity, Solubility, and Aging of Bitumen Used in Kenya</i>	Studi Perbandingan Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> Dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Aspal Pen 60/70 Dan Aspal PG70 Menggunakan Metode Penumbukkan <i>Marshall Dan Gyrotory</i>
2	Jenis Campuran	AC- BC	BC dan SMA	HRS - WC	AC-BC		<i>Superpave</i>
3	Jenis Aspal	Aspal Pen 60/70	Aspal Pen 60/70	Aspal PEN 60/70 Dengan Serbuk Ban Karet	Aspal Pen 60-70 dan Aspal Polimer PG70	Aspal Pen 80/100	Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70 Dengan Serbuk Ban Karet
4	Pengujian	Karakteristik <i>Marshall</i>	Karakteristik Aspal, dengan penambahan serbuk ban karet dan Karakteristik <i>Marshall</i>	<i>Marshall, Indec Retained Strenght (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), Cantabro Loss (CL), dan Asphalt Flow Down (AFD).</i>	Karakteristik <i>Marshall, Marshall Quotient</i>	Karakteristik Aspal berdasarkan nilai <i>Penetration, Softening Point, Viscosity, Ductility, Flash Point, Specific Gravity, Solubility</i>	<i>Marshall, Index Retained Strenght (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), dan Cantabro Loss (CL)</i>

Sumber : Dina dkk (2019), Al-Salih (2020), Iqbal dan Fauziah (2024), Apteda dkk.(2023), Maleve dkk (2023)

**Lanjutan Tabel 2. 2 Ringkasan Penelitian Tentang Karakteristik Aspal Karet dan Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Penambahan Serbuk Ban Karet**

5	Hasil Pengujian	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan persentase substitusi parutan karet ban sebagai agregat dan filler pada campuran beton aspal AC-BC cenderung menurunkan nilai stabilitas. Pada metode pencampuran kering dimana karet menjadi sulit larut sehingga distribusinya tidak homogen. Akibatnya, campuran menjadi lebih elastis namun mengalami penurunan kinerja struktural.</p>	<p>Hasil pengujian Marshall menunjukkan bahwa penambahan 6% serbuk karet dengan kadar aspal 5,1–5,5% dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal. Campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi permanen dibandingkan BC, sementara penggunaan CRMB memberikan ketahanan baik terhadap rutting. Selain itu, pemanfaatan serbuk karet ban bekas juga mendukung pengurangan konsumsi aspal, ramah lingkungan, dan meningkatkan durabilitas perkerasan.</p>	<p>Untuk sifat mekanis yaitu pada kinerja stabilitas didapatkan pada penambahan serbuk ban karet sebesar 2%. Penambahan serbuk ban karet 2% dan 4% meningkatkan karakteristik <i>ITS</i>, sedangkan untuk karakteristik <i>TSR</i> meningkat pada penambahan serbuk ban karet pada 2% saja. Penambahan serbuk ban karet juga memperbaiki kinerja campuran pada karakteristik <i>IRS</i>, <i>CL</i>, <i>Smix</i>, dan <i>AFD</i></p>	<p>Hasil penelitian menyimpulkan campuran dengan aspal modifikasi polimer PG70 menghasilkan nilai <i>Marshall Quotient</i> yang lebih baik dari pada aspal PEN 60-70, sehingga menunjukkan bahwa kualitas campuran dengan aspal PG70 memiliki kualitas yang lebih baik dalam menambah daya dukung campuran dibandingkan dengan campuran dengan aspal PEN 60-70</p>	<p>Hasilnya penetrasi menurun dari 88 menjadi 44 mm pada penambahan 20% serbuk ban karet, titik lembek meningkat dari 48 menjadi 63,9 pada 20% penambahan karet, viskositas meningkat dari 304,3 cSt menjadi 330,7 cSt. Daktilitas menurun dari 135,5 cm menjadi 48,3 cm pada penambahan 20% serbuk ban karet.</p>	<p>Hasil penelitian didapatkan dari segi volumetrik penggunaan serbuk ban karet pada aspal meningkatkan karakteristik campuran dari segi volumetrik, mekanis, dan durabilitas. Akan tetapi penambahan karet memiliki penambahan maksimum pada 4% karet. Terlalu banyak penambahan serbuk ban karet dapat menyebabkan penurunan sifat dari campuran akibat terganggunya ikatan kohesi dan adhesi pada campuran.</p>
---	-----------------	---	---	---	--	--	--

Sumber : Dina dkk (2019), Al-Salih (2020), Iqbal dan Fauziah (2024), Apteda dkk.(2023), Maleve dkk (2023)

**Tabel 2. 3 Ringkasan Penelitian Tentang Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Jenis Pemasakan *Marshall* dan *Gyratory***

No	Aspek	Calberg dkk (2003)	Kamba (2013)	Lokesh (2014)	Sarsam dan Jumaah (2016)	Leandro dkk (2017)	Widhiatmoko (2025)
1	Judul	<i>Comparison of Marshall and Superpave Gyratory Volumetric Properties of Saskatchewan Asphalt Concrete Mixes Miranda</i>	Pengaruh Penentuan Kadar Aspal Optimum Terhadap Kualitas Desain Campuran Beraspal	<i>A Comparative Study on The Effect of Compaction on Strength and Physical Properties of Stone Matrix Asphalt Compacted by Marshall Compaction and Superpave Gyratory Compaction Methods</i>	<i>Modeling of Comparative Performance of Asphalt Concrete under Hammer, Gyratory,</i>	<i>Evaluation of the laboratory compaction method on the air voids and the mechanical behavior of hot mix asphalt</i>	Studi Perbandingan Karakteristik Campuran Superpave Dengan Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Aspal Pen 60/70 Dan Aspal PG70 Menggunakan Metode Penumbukkan Marshall Dan Gyratory
2	Jenis Campuran			<i>Stone Matrix Asphalt (SMA)</i>			<i>Superpave</i>
3	Jenis Aspal	Aspal PG-70	Aspal Pen 60/70	Aspal Pen 80/100	<i>AC (40-50) from Al-Daurah refinery</i>	SBS dan Pen 50/70	Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70 Dengan Serbuk Ban Karet
4	Pengujian	Karakteristik Marshall, <i>compaction slope</i>	Karakteristik Marshall	Karakteristik Marshall, ITS dan TSR	<i>Model of Stiffness, Karakteristik Marshall</i>	Karakteristik Marshall, <i>Number of Gyration, Resilient Modulus, Horizontal Displacement, dan Dynamic Modulus.</i>	<i>Marshall, Index Retained Strength (IRS), Indirect Tensile Strength (ITS), Tensile Strength Ratio (TSR), dan Cantabro Loss (CL)</i>

Sumber : Calberg dkk (2003), Kamba (2013), Lokesh (2014), Sarsam dan Jumaah (2016), Leandro dkk (2017)

**Lanjutan Tabel 2.3 Ringkasan Penelitian Tentang Evaluasi Campuran Beton Aspal Berdasarkan Jenis Pemasakan *Marshall* dan *Gyratory***

5	Hasil Pengujian	<p>Volumetrik campuran aspal berperan penting dalam ketahanan terhadap <i>rutting</i>. Campuran T45 dan T65 tidak memenuhi kriteria VMA Superpave, sedangkan T85 lebih mendekati target dan menunjukkan kinerja terbaik. Peningkatan fraktur menurunkan kepadatan pada pemasakan SGC, sehingga T85 dinilai paling unggul karena memenuhi kriteria volumetrik dan lebih representatif terhadap kondisi lapangan.</p>	<p>Hasil penelitian disimpulkan bahwa <i>density</i> dari campran dengan metode pemasakan <i>gyratory</i> memberikan hasil yang lebih besar dari rencana <i>density</i> pada metode <i>Marshall</i>. Dari hasil pemasakan</p>	<p>Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode <i>Superpave gyratory compactor</i> menghasilkan campuran dengan kepadatan dan pengisian rongga yang lebih baik serta nilai TSR lebih tinggi dibandingkan metode <i>Marshall compaction</i>. Meskipun perbedaan rongga tidak signifikan, <i>gyratory</i> dinilai lebih representatif terhadap kondisi lapangan, dengan kebutuhan penyesuaian jumlah putaran agar setara secara volumetrik dengan <i>Marshall compaction</i>.</p>	<p>Hasil menunjukkan bahwa kerapatan bulk density yang sama dapat dicapai dengan ketiga metode pemasakan, sementara variasi kekakuan <i>Marshall</i> terutama dipengaruhi oleh variasi rongga udara dan kadar aspal semen.</p>	<p>Penelitian ini menunjukkan bahwa metode pemasakan sangat memengaruhi kadar rongga udara, kadar aspal optimum, serta sifat mekanis campuran beraspal, termasuk deformasi permanen dan ketahanan lelah. Hasil penelitian merekomendasikan penggunaan <i>Superpave Gyratory Compactor (SGC)</i> dengan cetakan 100 mm untuk lalu lintas sedang hingga tinggi, sedangkan cetakan 150 mm hanya disarankan bila jumlah putaran pemasakan lebih kecil dari 100 gyrations.</p>	<p>Hasil penelitian didapatkan bahwa penggunaan pemasakan <i>Gyratory</i> meningkatkan kepadatan sehingga memperbaiki sifat volumetrik, selain itu meningkatkan ikatan kohesi dan adhesi campuran sehingga nilai mekanis dan durabilitas meningkat lebih besar dari pada campuran dengan pemasakan <i>marshall</i>.</p>
---	-----------------	---	---	---	--	---	---

Sumber : Calberg dkk (2003), Kamba (2013), Lokesh (2014), Sarsam dan Jumaah (2016), Leandro dkk (2017)

## **BAB III**

### **LANDASAN TEORI**

#### **3.1 Perkerasan Jalan**

Perkerasan jalan adalah campuran agregat dan bahan ikat di atas tanah dasar (*subgrade*) yang berfungsi untuk melayani beban lalu lintas yang terletak di antara pertemuan roda kendaraan dan tanah dasar. Tujuan dari perkerasan jalan adalah untuk memberikan permukaan yang rata dengan tingkat kekesatan tertentu, dengan umur layanan yang relatif cukup panjang, dan pemeliharaan yang minim. Pada kondisi alami, tanah tidak mampu menahan beban kendaraan yang berulang-ulang tanpa mengalami deformasi yang besar sehingga diperlukan suatu struktur yang dapat melindungi tanah dari beban roda kendaraan, yang disebut dengan jalan. Jadi, perkerasan jalan adalah struktur yang memisahkan roda/ban kendaraan dengan tingkat di bawahnya. Biasanya perkerasan di atas tanah dibentuk dari beberapa lapisan yang relatif lemah di bagian bawah, namun lebih kuat di bagian yang paling atas. Sehingga susunan lapisan yang demikian ini memungkinkan penggunaan secara lebih ekonomis dari material yang tersedia (Hardiyatmo, 2007).

#### **3.2 Fungsi Perkerasan**

Perkerasan berfungsi untuk melindungi tanah dasar dan lapisan-lapisan pembentuk perkerasan agar tidak mengalami tegangan dan regangan yang berlebihan akibat beban lalu lintas. Secara umum fungsi perkerasan adalah membuat struktur yang kuat untuk mendukung atau menahan beban lalu lintas, memberikan permukaan yang rata, mendistribusikan beban kendaraan ke tanah dasar secara memadai, melindungi tanah dasar dari perubahan buruk akibat cuaca

#### **3.3 Jenis Perkerasan Berdasarkan Bahan Ikat**

Menurut Fithra (2019), berdasarkan jenis bahan ikat yang digunakan, perkerasan jalan dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis, yaitu perkerasan lentur (*flexible pavement*), perkerasan kaku (*rigid pavement*), dan perkerasan komposit (*composite pavement*).

### 3.3.1 Perkerasan Kaku (*rigid pavement*)

Perkerasan beton, atau yang lebih dikenal dengan sebutan "*rigid pavement*," adalah jenis perkerasan jalan yang terbuat dari campuran beton yang keras dan kuat. Perkerasan beton terbuat dari campuran beton yang terdiri dari semen portland, agregat kasar (batu pecah atau kerikil), air, dan aditif (jika diperlukan). Campuran beton ini dicurahkan ke permukaan jalan, diberi bentuk, dan kemudian diperkeras melalui proses pengeringan dan pengerasan.

Proses konstruksi perkerasan beton melibatkan tahap persiapan dasar, pencampuran dan pengecoran beton, pengeringan, dan pemadatan. Setelah perkerasan beton mengeras, itu menjadi permukaan yang kokoh dan tahan terhadap lalu lintas. Namun, perkerasan beton juga memiliki beberapa kelemahan, seperti biaya konstruksi awal yang lebih tinggi dibandingkan dengan perkerasan aspal dan kerawanan terhadap retak jika tidak ada perawatan yang tepat. Jika terjadi retak, perlu dilakukan perbaikan segera untuk mencegah kerusakan yang lebih serius.

### 3.3.2 Perkerasan Lentur (*flexible pavement*)

Perkerasan aspal, yang lebih dikenal dengan sebutan "*flexible pavement*," adalah jenis perkerasan jalan yang terbuat dari campuran aspal (atau bitumen) yang lentur. Salah satu dari jenis perkerasan lentur adalah lapis aspal beton (LASTON). Lapis Aspal Beton (LASTON) adalah suatu lapisan konstruksi jalan yang terdiri dari campuran aspal keras dengan agregat yang mempunyai gradasi menerus, dicampur, dihampar serta dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Bina Marga, 2018). Perkerasan lentur terdiri dari beberapa lapisan, antara lain.

#### 1. Lapisan Permukaan (*surface course*)

Lapisan AC-WC adalah salah satu komponen utama dalam struktur perkerasan jalan. Lapisan ini terletak di bagian paling atas perkerasan jalan dan berfungsi sebagai lapisan permukaan yang tahan terhadap abrasi (pengikisan), beban lalu lintas, cuaca, dan faktor lingkungan lainnya. Ini adalah lapisan terluar yang bertindak sebagai pelindung untuk lapisan di bawahnya dan memberikan kualitas berkendara yang baik.

#### 2. Lapisan Antara (*binder course*)

Lapisan AC-BC adalah salah satu komponen dalam struktur perkerasan jalan yang terletak di bawah lapisan permukaan aspal beton (AC-WC) dan di atas lapisan

dasar perkerasan. Lapisan AC-BC berfungsi sebagai lapisan pengikat antara lapisan permukaan aspal beton (AC-WC) dan lapisan dasar perkerasan. Ini bertindak sebagai perantara untuk memastikan bahwa lapisan permukaan aspal melekat dengan baik dan memiliki daya tahan terhadap beban lalu lintas dan faktor cuaca.

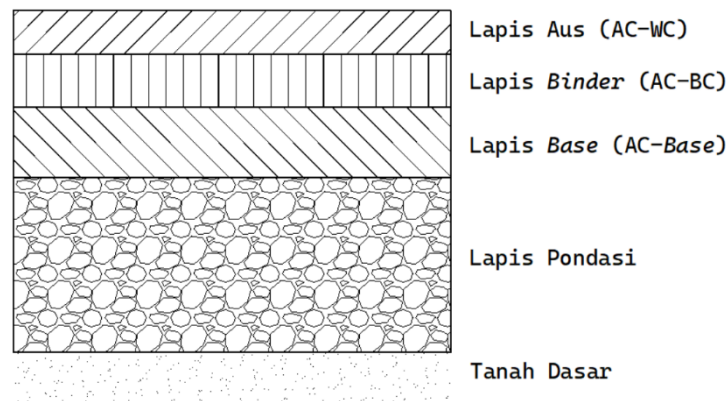
3. Lapisan Pondasi Atas (*upper ourse*)

Lapisan pondasi atas adalah salah satu komponen dalam struktur perkerasan jalan yang terletak di bawah lapisan binder course (BC) dan di atas lapisan subbase course atau boulder course. Lapisan pondasi atas bertujuan untuk mendistribusikan beban lalu lintas dari lapisan binder course ke lapisan dasar atau subgrade dengan merata dan menyediakan ketahanan yang cukup terhadap pergerakan tanah dan tekanan beban.

4. Lapisan Pondasi Bawah (*subbase course*)

Lapisan pondasi bawah (*subbase course*) adalah salah satu komponen utama dalam struktur perkerasan jalan yang terletak di bawah lapisan pondasi atas (*upper base course*) dan di atas lapisan subgrade. Fungsinya adalah mendukung lapisan di atasnya dan mendistribusikan beban lalu lintas dari lapisan pondasi atas ke lapisan subgrade.

Adapun lapis pekerasan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut.



**Gambar 3. 1 Gambar Lapis Perkerasan Lentur**

**3.3.3 Perkerasan Komposit (*Composite Pavement*)**

Perkerasan komposit merupakan perkerasan yang dikombinasi dengan perkerasan lentur. Perkerasan lentur dapat diatas perkerasan kaku ataupun sebaliknya.

### **3.4 Material Perkerasan Lentur**

#### **3.4.1 Bahan Ikat Bitumen / Aspal**

Aspal, secara khusus, adalah bahan padat atau setengah padat yang ditemukan dalam deposit alam atau dihasilkan dari penyulingan minyak bumi. Ini terdiri dari campuran kompleks hidrokarbon dan memiliki sifat-sifat unik yang membuatnya berguna dalam berbagai aplikasi, terutama dalam konstruksi jalan dan bangunan. Aspal sering digunakan sebagai bahan pengikat dan pelapis dalam campuran beton aspal dan sebagai lapisan permukaan dalam perkerasan jalan.

Menurut Sukirman (2003), aspal merupakan salah satu material utama dalam campuran perkerasan jalan yang memiliki sifat fisik termoplastis, yaitu dapat melembek ketika dipanaskan dan kembali mengeras saat mengalami penurunan suhu. Pada suhu ruang, aspal berada dalam kondisi semi-padat hingga padat, namun ketika dipanaskan hingga mencapai suhu tertentu, material ini akan mengalami perubahan fase menjadi cair. Karakteristik inilah yang menjadikan aspal sangat penting dalam konstruksi jalan karena kemampuannya untuk mencengkram agregat dan membentuk struktur perkerasan yang kuat dan fleksibel.

Sifat termoplastis dari aspal memungkinkan proses pencampuran dengan agregat dilakukan dalam kondisi panas sehingga menghasilkan ikatan yang homogen. Setelah diaplikasikan ke permukaan jalan dan mengalami pendinginan, campuran ini akan mengeras dan membentuk struktur jalan yang mampu menahan beban lalu lintas. Kinerja aspal dalam campuran sangat dipengaruhi oleh jenis aspal yang digunakan serta kondisi lingkungan seperti suhu dan kelembapan. Oleh karena itu, pemilihan tipe aspal harus disesuaikan dengan kondisi iklim dan jenis lalu lintas agar umur layanan jalan optimal dan kerusakan dini dapat diminimalisasi. Selain itu, modifikasi aspal seperti penggunaan aditif polimer atau serbuk ban karet sering dilakukan untuk meningkatkan stabilitas dan daya tahan terhadap deformasi permanen serta retak akibat kelelahan.

Aspal memiliki berbagai jenis dan karakteristik yang bervariasi tergantung pada sumber dan pengolahannya. Penggunaan aspal dapat sangat bervariasi, tetapi secara umum, aspal adalah bahan yang tahan lama dan tahan terhadap lingkungan yang sering digunakan dalam konstruksi dan industri lainnya. Pemilihan jenis aspal PG ditentukan berdasarkan kondisi pembebanan yang terabit dengan kinerja pada

suhu tinggi adalah kecepatan kendaraan 100 km/jam dengan volume lalu lintas kurang dari  $10^7$  ESALs (SHRP).

Aspal yang digunakan pada umumnya merupakan aspal mintak, akan tetapi banyak juga jenis aspal modifikasi terhadap aspal minyak untuk meningkatkan kinerja dari aspal tersebut. Salah satu aspal modifikasi polimer adalah aspal PG70. Berdasarkan ketentuan Bina Marga 2018 terdapat syarat terkait aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70 yang dapat dilihat pada Tabel 3.1 dibawah.

**Tabel 3. 1 Ketentuan Untuk Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG70**

No	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	60/70	PG70
1.	Penetrasi 25°C, (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	70
2.	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥48	Dilaporkan
3.	Daktalitas Pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	-
4.	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232	≥230
5.	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥99	≥99
6.	Berat Jenis	SNI 2441:2011	≥1,0	-

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

### 3.4.2 Agregat

Agregat adalah batu pecah atau krikil, dan pasir yang merupakan bahan utama dari penyusunan perkerasan jalan. Agregat merupakan komponen utama karena 90 – 95% presentase berat dari perkerasan adalah agregat. Mutu agregat sangat mempengaruhi hasil dari perkerasan, oleh karena itu agregat yang digunakan harus diperhatikan dengan baik dengan diperulkannya pemeriksaan mutu pada laboratorium.

#### 1 Agregat kasar

Ukuran agregat kasar dapat bervariasi dalam berbagai proyek konstruksi, dan ukuran yang digunakan tergantung pada kebutuhan spesifik proyek tersebut. Berikut adalah beberapa ukuran agregat kasar yang umum digunakan:

- A. Agregat kasar kasar (*Coarse Aggregate*) merupakan fraksi agregat kasar kasar biasanya memiliki ukuran partikel yang lebih besar, dengan diameter lebih dari 4,75 mm (0,187 inci).

B. Agregat kasar sedang (*Intermediate Aggregate*) merupakan fraksi agregat kasar sedang memiliki ukuran partikel antara 4,75 mm (0,187 inci) hingga 19 mm (0,75 inci).

Adapun ketentuan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.2 berikut ini.

**Tabel 3. 2 Ketentuan Agregat Kasar**

Pengujian		Motode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		Natrium sulfat	Maks. 12 %
		Magnesium sulfat	Maks. 18 %
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	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	100/90 *)
		Lainnya	95/90 **)
Partikel pipih dan lonjong		SMA	Maks. 5%
		Lainnya	Maks. 10%
Material lolos ayakan No.200		ASTM C117:2012	Maks. 1%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

## 2 Agregat halus

Agregat halus adalah komponen dalam campuran beton yang terdiri dari partikel-partikel dengan ukuran yang lebih kecil daripada agregat kasar. Agregat halus adalah pasir alami atau pasir buatan yang memiliki ukuran partikel lebih kecil. merupakan agregat yang lolos pada saringan 4,75 mm. Agregat halus sendiri merupakan batu pecah halus atau pasir alami yang memenuhi syarat. Adapun ketentuan agregat halus dapat dilihat pada Tabel 3.3 berikut ini.

**Tabel 3. 3 Ketentuan Agregat Halus**

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai setara pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji kadar rongga tanpa pemadatan	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: Spesifikasi Umum Bina Marga (2018)

### 3.5 Superpave Asphalt

*Superpave* merupakan salah satu campuran beton aspal yang ditetapkan oleh *Strategic Highway Research Program (SHRP)*. *Superpave* menetapkan syarat spesifikasi dalam bentuk ukuran nominal maksimum yang bertujuan untuk mengurangi efek deformasi plastis dan keretakan akibat beban lalu lintas (Hadi, 2019). Salah satu meningkatkan ketahanan campuran terhadap deformasi plastis adalah dengan cara menetapkan agregat yang memiliki ketahanan terhadap temperature tinggi serta gaya geser yaitu dengan menggunakan agregat berbentuk kubikal, dan gradasi yang rekat atau saling mengunci (Rahman, 2023). Adapun gradasi agregat *Superpave* dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut ini.

**Tabel 3. 4 Gradasi Agregat Campuran Superpave**

Ukuran Ayakan		% Lolos Pada Ukuran Nominal Maksimum				
ASTM	(mm)	9,5 mm	12,5 mm	19 mm	25 mm	37,5 mm
2"	50					100
1,5"	37,5				100	90 – 100
1"	25			100	90 – 100	Maks. 90
3/4"	19		100	90 – 100	Maks. 90	
1/2"	12,5	100	90 – 100	Maks. 90		
3/8"	9,5	90 – 100	Maks.90			
No.8	2,36	32 – 67	28 – 58	23 – 49	19 – 45	15 – 41
No.200	0,075	2 – 10	2 - 10	2 - 8	1 – 7	0 – 6
<i>Recommended Restricted Zone</i>						
No.4	4,75				39,5	34,7
No.8	2,36	47,2	39,1	34,6	26,8 – 30,8	23,3 – 27,3
No.16	1,18	31,6 – 37,6	25,6 – 31,6	22,3 – 28,3	18,1 – 24,1	15,5 – 21,5
No.30	0,6	23,5 – 27,5	19,1 – 23,1	16,7 – 20,7	13,6 – 17,6	11,7 – 15,7
No.50	0,3	18,7	15,5 0	13,7	11,4	10

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

### 3.6 Perencanaan Kadar Aspal

Dalam melakukan pembuatan benda uji, harus ditentukan terlebih dahulu kadar aspal yang akan digunakan. Perancangan komposisi kadar aspal tengah dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + F \quad (3.1)$$

dengan :

$P_b$  = kadar aspal tengah (%),

$CA$  = *coarse aggregate* (agregat kasar),

$FA$  = *fine aggregate* (agregat halus), dan

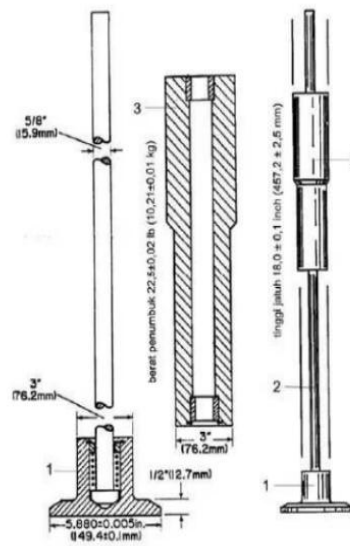
$F$  = konstanta 0,5% - 1,0% untuk laston

Dari hasil kadar aspal tengah, maka dibuat beberapa variasi dari kadar aspalnya dalam penentuan kadar aspal optimum (KAO) yaitu  $P_b - 1$  dan  $P_b + 1$  dengan tambahan atau pengurangan per 0,5% dari nilai kadar aspal tengah.

### 3.7 Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory*

#### 3.7.1 Pemadatan *Marshall*

Pemadatan pada campuran beton aspal merupakan tahap penting dalam konstruksi perkerasan jalan yang bertujuan untuk meningkatkan kepadatan dan mengurangi porositas campuran. Proses pemadatan dapat dilakukan dengan metode *Marshall*, seperti pemadatan *Marshall* atau *Roller*, serta metode *Gyratory* menggunakan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) yang bekerja dengan tekanan dan putaran untuk mensimulasikan kondisi pemadatan lapangan secara lebih akurat. *Gyratory compaction* menawarkan homogenitas tinggi dan kontrol kualitas volumetrik dalam laboratorium serta memfasilitasi analisis parameter penting seperti *void in mineral aggregate* (VMA) dan *air void contents*, menjadikannya pilihan yang lebih representatif untuk optimasi campuran dibanding metode tradisional. Adapun untuk pemadatan *Marshall* dapat dilihat pada Gambar 3.2 berikut ini.



**Gambar 3. 2** Pematatan *Marshall* dengan *Impact Hammer* di Lab Jalan Raya UII

Metode pematatan *Marshall* merupakan metode pematatan yang didasarkan dengan banyaknya jumlah tumbukkan. Pematatan ini cukup sederhana akan tetapi tidak terlalu realisasi dengan kondisi lapangan. Teknik ini merupakan metode pematatan laboratorium paling awal yang dimulai pada awal abad ke-20 ketika Hubbard dan Field memanfaatkan palu *Proctor* yang diadaptasi dari bidang geoteknik untuk memadatkan campuran aspal, lalu pada tahun 1930-an Bruce *Marshall* mengembangkan metode tersebut menjadi sistem pematatan yang lebih sistematis dengan modifikasi utama berupa penggunaan permukaan pematat yang memiliki diameter sama dengan cetakan, sehingga metode ini kemudian dikenal sebagai Metode *Marshall* (Memon, 2006). Jumlah pukulan yang diterapkan pada setiap permukaan spesimen ditetapkan menjadi 35, 50, dan 75 yang tergantung dari volume lalu lintas.

### 3.7.2 Pematatan *Gyratory*

Pematatan *Gyratory* merupakan metode yang lebih modern dan canggih, umumnya digunakan untuk evaluasi laboratorium pada campuran aspal dengan lalu lintas tinggi. Alat *Gyratory compactor* bekerja dengan memberikan tekanan vertikal sambil memutar atau memiringkan campuran dalam silinder pada sudut tertentu. Adapun mesin pematatan *Gyratory* merek Galileo di Lab Jalan Raya Universitas Islam Indonesia dapat dilihat pada Gambar 3.3 berikut ini.



**Gambar 3. 3 Pemadatan *Gyratory* dengan Mesin Galileo di Lab Jalan Raya Universitas Islam Indonesia**

Pemadatan *Gyratory* merupakan metode yang lebih modern dan canggih, umumnya digunakan untuk evaluasi laboratorium pada campuran aspal dengan lalu lintas tinggi. Alat *Gyratory compactor* bekerja dengan memberikan tekanan vertikal sambil memutar atau memiringkan campuran dalam silinder pada sudut tertentu. Hal ini mensimulasikan kondisi pemadatan yang terjadi di lapangan akibat beban kendaraan yang bergerak, sehingga menghasilkan distribusi kepadatan yang lebih seragam dan merepresentasikan beban dinamis yang lebih akurat. Secara umum pemadatan *Gyratory* sendiri memiliki berbagai parameter yang dapat dicapai yaitu *Gyratory angle*, *confinement pressure*, *rate of gyration*, dan *number of gyration* (Browne et al., 2006).

1. *Gyratory Angle* (Sudut Girasi atau Sudut Putaran)

Hasil beberapa penelitian yang dilakukan *Asphalt Institute* didapatkan bahwa untuk kepadatan campuran HMA atau *Hot Mix Asphalt* sangat dipengaruhi oleh sudut putaran (Browne et al., 2006). Standar AASHTO atau *American Association of State Highway and Transportation Officials* T312 menetapkan bahwa sudut girasi atau putaran sebesar  $1,25 \pm 0,02^\circ$  (AASHTO, 2003). Hal ini sudah sesuai

dengan penelitian Cerni et al., 2023 menggunakan SGC dengan penerapansudut eksternal sebesar 1,25 derajat dan tekanan *vertical* sebesar 600 kPa membuat benda uji terikat merata dengan baik yang dimana penerapannya pada pemadatan dilapangan lebih sesuai dibandingkan dengan penggunaan pemadatan metode *Marshall*.

2. *Rate of Gyration* (Laju Girasi atau Laju Putaran)

Kecepatan putaran pada alat pemadat gyrotor dibatasi oleh kapasitas alat tersebut. Menurut Huber (2006), variasi laju putaran menunjukkan pengaruh yang relatif kecil terhadap kepadatan campuran aspal panas (HMA) yang dipadatkan. Meskipun demikian, laju putaran yang tinggi tetap diupayakan guna mempersingkat waktu pengujian. Pada metode *Superpave*, standar laju putaran ditetapkan sebesar 30 putaran per menit.

3. *Number of Gyration* (Jumlah Girasi atau Jumlah Putaran)

Metode *Superpave* tidak menetapkan jumlah putaran pemadatan yang seragam untuk seluruh sampel. Jumlah gyration disesuaikan dengan karakteristik masing-masing campuran aspal, tergantung pada perkiraan volume lalu lintas dan suhu maksimum di lokasi konstruksi. Adapun pemilihan jumlah girasi dapat dilihat pada Tabel 3.5 berikut ini,

**Tabel 3. 5 Pemilihan Jumlah Girasi HMA untuk SGC**

Desain ESALs (Juta)	Rata – rata Desain Suhu Udara Tinggi											
	< 39°C			39°C - 40°C			41°C - 42°C			43°C - 44°C		
	Ni	Nd	Nm	Ni	Nd	Nm	Ni	Nd	Nm	Ni	Nd	Nm
< 0,3	7	68	104	7	74	114	7	78	121	7	82	127
< 1	7	76	117	7	83	129	7	88	138	8	93	146
< 3	7	86	134	8	95	150	8	100	158	8	105	167
< 10	8	96	152	8	106	169	8	113	181	9	119	192
< 30	8	109	174	9	121	195	9	128	208	9	135	220
< 100	9	126	204	9	139	228	9	146	240	10	153	253
> 100	9	143	233	10	158	262	10	165	275	10	172	288

(Sumber : Roberts dkk. 1996)

Keterangan :

Ni = N *initial* (ukuran kekompakkan campuran),

Nd = N *design* (jumlah putaran yang diperlukan untuk menghasilkan kepadatan dalam campuran yang setara dengan kepadatan yang diharapkan di lapangan setelah jumlah lalu lintas yang ditunjukkan),

Nm = N *maximum* (jumlah putaran yang diperlukan untuk menghasilkan

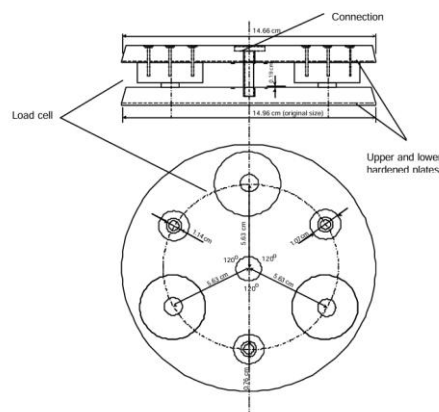
kepadatan di laboratorium yang sama sekali tidak boleh dilampaui di lapangan)

Pada pemadatan *Gyratory* dengan merek Galileo di Lab Jalan Raya Universitas Islam Indonesia pemadatan akan berhenti jika sudah memenuhi parameter yang di tentukan. Dalam penggunaannya, mesin ini dapat diprogram untuk berhenti pada tiga kondisi utama, yaitu:

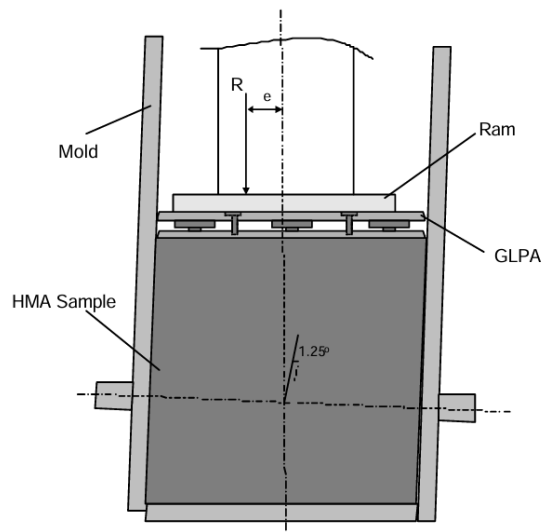
1. Jumlah putaran (*number of gyrations*),
2. Tinggi sampel (*specimen height*), dan
3. Tingkat kepadatan yang ditargetkan (*target density*).

Jika pemadatan dihentikan berdasarkan tingkat kepadatan, maka mesin akan terus melakukan proses gyrasi sampai nilai kepadatan (biasanya dalam persen void atau volume campuran terhadap berat jenis maksimum teoritis) yang telah ditentukan sebelumnya tercapai. Hal ini memungkinkan tercapainya replikasi kondisi kepadatan lapangan yang lebih akurat, sehingga hasil laboratorium dapat mencerminkan kinerja aktual campuran di lapangan.

Pada bagian *Gyratory* terdapat GLPA yaitu perangkat tambahan yang dipasang pada piringan atas cetakan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC). Perangkat ini terdiri dari tiga *load cell* yang terpasang pada pelat logam sejajar, diatur  $120^\circ$  satu sama lain. Tahanan geser dari GLPA sangat sensitif terhadap gradasi agregat, kadar aspal, dan suhu. Adapun GLPA dapat dilihat pada Gambar 3.4 dan Gambar 3.5 berikut ini.

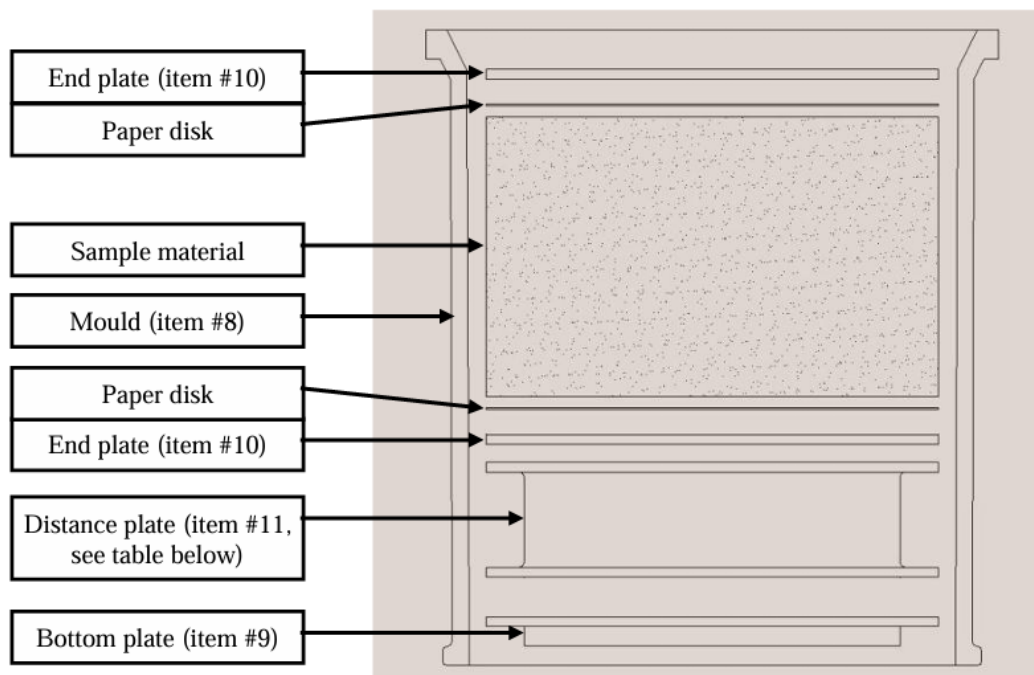


**Gambar 3. 4 Gyratory Load-Cell Plate Assembly (GLPA)**  
(Sumber : Mahmoud & Bahia, 2004)



**Gambar 3. 5 GLPA Pada SGC Selama Proses Girasi**  
(Sumber : Mahmoud & Bahia, 2004)

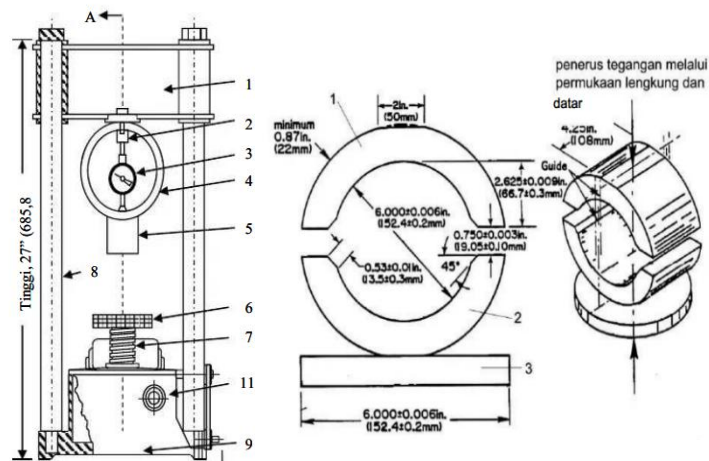
Adapun skematik komponen pemadatan *Gyratory* dapat dilihat pada Gambar 3.6 berikut ini.



**Gambar 3. 6 Komponen Mold Pemadatan Gyratory**  
Sumber : Buku Manual *Gyratory* Galileo Lab Jalan Raya UII (2021)

### 3.8 Pengujian dan Karakteristik *Marshall*

Metode yang digunakan dalam teknik sipil untuk mengevaluasi karakteristik dan kualitas campuran aspal panas. Pengujian ini memiliki tujuan untuk memeriksa berbagai sifat campuran aspal, termasuk kekuatan dan kemampuan deformasi, serta untuk memastikan bahwa campuran tersebut sesuai dengan standar teknis yang berlaku. Alat pengujian *Marshall* merupakan alat tekan dengan cincin pengujian (*proving ring*) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbf) dan *flowmeter*. *Proving ring* berfungsi dalam mengukur hasil dari stabilitas sedangkan *flowmeter* berfungsi dalam mengukur kelelahan plasti yang terjadi atau *flow*. Adapun mesin pengujian *Marshall* Seperti pada Gambar 3.7.



**Gambar 3. 7 Mesin Uji *Marshall* dan Alat Penekan**

Sumber : SNI 2489 (2018)

Berikut ini adalah penjelasan dari beberapa parameter hasil uji dari pengujian *Marshall*.

#### 1. Stabilitas (*stability*)

Stabilitas *Marshall* adalah parameter yang mengukur daya tahan campuran aspal terhadap pemecahan dan deformasi akibat beban lalu lintas dan kondisi lingkungan. Nilai stabilitas sangat bergantung pada kemampuan campuran untuk menghasilkan kunci 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. Nilai stabilitas akan terus naik dan akan turun pada kadar aspal optimumnya. Adapun perhitungan stabilitas dapat menggunakan Persamaan 3.2 berikut ini.

$$\text{Nilai stabilitas (kg)} = \text{nilai pembacaan arloji stabilitas} \times \text{kalibrasi } \textit{proving ring} \times \text{angka koreksi tebal benda uji} \quad (3.2)$$

## 2. Kelelahan (*flow*)

Kelelahan merupakan perubahan dari adanya deformasi vertical suatu campuran yang terjadi saat awal pembebanan hingga kondisi beban batas runtuh atau stabilitasnya menurun. Kelelahan ini dinyatakan dalam satuan mm atau 0,01 inch. seperti halnya cara memperoleh nilai stabilitas seperti di atas nilai *flow* berdasarkan nilai masing-masing yang ditunjukkan oleh jarum dial. Hanya saja untuk alat uji jarum dial *flow* biasanya sudah dalam satuan mm (milimeter). Besarnya nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji *flowmeter* saat melakukan pengujian *Marshall*.

## 3. Kepadatan (*density*)

Kepadatan merupakan nilai berat volume yang dimana menunjukkan tingkat kepadatan dari campuran agregat aspal. Semakin tinggi nilai kepadatan maka semakin rapat suatu campuran sehingga dapat menahan beban yang bekerja dengan baik. Adapun perhitungan nilai kepadatan dapat menggunakan Persamaan 3.3 berikut ini.

$$\text{Nilai kepadatan} = \text{berat benda uji sebelum direndam} / \text{volume} \quad (3.3)$$

## 4. *Void in Mineral Agregate (VMA)*

VMA merupakan persen rongga udara yang ada diantara partikel – partikel didalam campuran beton aspal yang telah di padatkan atau ruangan kosong dalam agregat mineral. Nilai VMA yang terlalu rendah menunjukkan bahwa campuran nuruk terhadap air dan rendah dalam stabilitas campuran, sedangkan jika nilai terlalu tinggi maka dapat mengurangi kekuatan campuran. Adapun perhitungan VMA dapat menggunakan Persamaan 3.4 berikut ini.

$$\text{VMA} = 100 - \left( \frac{H \times (100 - B)}{G_{sb}} \right) \quad (3.4)$$

dengan :

H = berat jenis *bulk* dari campuran,

G<sub>sb</sub> = berat jenis *bulk* dari agregat pembentuk campuran, dan

B = kadar aspal terhadap campuran beton aspal (%).

5. *Void In The Mix (VITM)*

VITM merupakan gambaran volume total ruang kosong diantara partikel agregat dan bahan pengikat dalam campuran. Nilai VITM sangat berpengaruh terhadap keawetan perkerasan, semakin besar nilai kadar aspal maka semakin kecil persen rongga terhadap campuran. Adapun perhitungan VITM dapat menggunakan Persamaan 3.5 berikut ini.

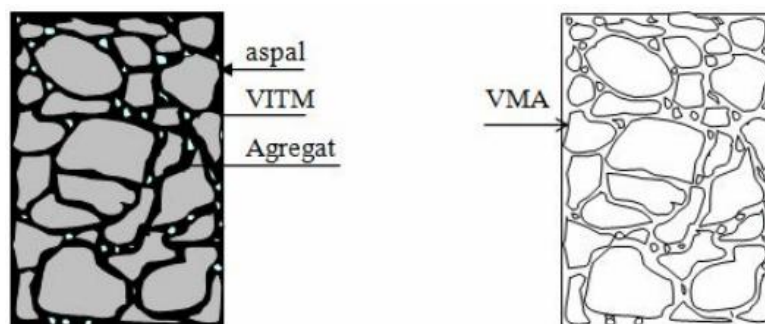
$$VITM = \frac{C - H}{C} \times 100 \quad (3.5)$$

dengan :

C = berat jenis maksimum campuran, dan

H = berat jenis *bulk* dari campuran.

Adapun Ilustrasi rongga dalam campuran (VITM) dan rongga antar agregat (VMA) dapat dilihat pada Gambar 3.8



**Gambar 3. 8 Ilustrasi VMA dan VITM**  
(Sumber : Fithra, 2019)

6. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah persen rongga yang terisi aspal pada campuran beton aspal setelah mengalami proses pemadatan. Nilai VFWA berkaitan dengan kedekatan campuran sehingga nilai VFWA yang terlalu tinggi dapat menyebabkan campuran menjadi *bleeding*, Sebaliknya semakin kecil nilai VFWA, maka kedekatan perkerasan terhadap air dan udara akan semakin kecil juga, sehingga aspal akan mudah teroksidasi sehingga keawetan akan berkurang (Fithra, 2019). VFWA dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 berikut.

$$VFWA = \left( \frac{100 \times (VMA - VITM)}{VMA} \right) \quad (3.6)$$

dengan :

VMA = rongga dalam agregat (%), dan

VITM = rongga dalam campuran (%).

### 3.9 *Index of Retained Strength (IRS)*

Pengujian *immersion* merupakan pengujian *Marshall* dengan perendaman 24 jam. Hal ini bertujuan untuk melihat kemampuan campuran beton aspal terhadap perendaman yang dapat merusak campuran sehingga mengurangi sifat tahan stabilitas (*Index of retained strength*) adalah persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam yang dibandingkan dengan stabilitas campuran biasa. Apabila indek tahanan campuran lebih atau sama dengan 75%, campuran tersebut dapat dikatakan memiliki tahanan yang cukup baik dari kerusakan akibat pengaruh air, temperatur dan cuaca (Fithra, H. 2019). Pengolahan data IRS dapat menggunakan Persamaan 3.7 berikut

$$IRS = \left(\frac{M_2}{M_1}\right) \times 100\% \quad (3.7)$$

dengan :

M1 = nilai stabilitas perendaman 0,5 jam (kg), dan

M2 = nilai stabilitas perendaman 24 jam (kg).

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

Pengujian ITS merupakan pengujian untuk mengetahui kemampuan beton aspal dalam menahan beban tarik tak langsung. Pengolahan data ITS dapat menggunakan Persamaan 3.8 berikut

$$ITS = \frac{2 \times P \max}{\phi \times t \times d} \quad (3.8)$$

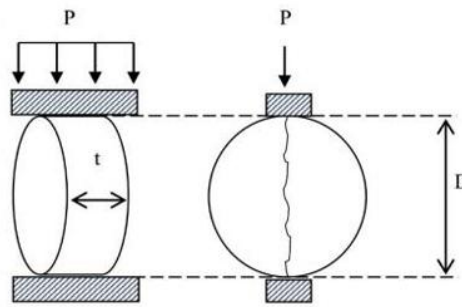
dengan :

Pmax = beban maksimum saat tarik maksimum,

t = tinggi benda uji, dan

d = diameter benda uji.

Adapun ilustrasi pengujian ITS dapat dilihat pada Gambar 3.9



**Gambar 3. 9 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)**  
(Sumber : Tajudin dan Suparma, 2017)

### 3.11 *Tensile Strength Ratio* (TSR)

*Tensile Strength Ratio* (TSR) merupakan nilai perbandingan antara kekuatan tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*/ITS) dari campuran aspal setelah direndam selama 24 jam dalam waterbath bersuhu 60°C dengan kekuatan tarik campuran tanpa proses perendaman, yang dinyatakan dalam satuan persen (%). Adapun perhitungan nilai TSR dapat menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_1}{ITS_2} \times 100 \quad (3.9)$$

dengan :

- TSR = nilai daya tahan tarik (%),
- ITS<sub>1</sub> = nilai ITS tanpa perendaman, dan
- ITS<sub>2</sub> = nilai ITS dengan perendaman *waterbath* 24 jam.

Pengujian TSR bertujuan untuk menilai ketahanan campuran perkerasan terhadap efek kelembaban dan potensi kerusakan akibat pengelupasan (*stripping*). Nilai TSR yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki daya tahan yang baik terhadap kondisi basah dan mampu mempertahankan kekuatan strukturalnya meskipun terkena paparan air. Sebaliknya, nilai TSR yang rendah mengindikasikan bahwa campuran tersebut rentan terhadap kerusakan akibat kelembaban, yang dapat mempercepat degradasi perkerasan jalan.

### 3.12 *Cantabro Loss* (CL)

Pengujian ini untuk mengetahui ketahanan dari campuran beton aspal terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengolahan data CL dapat menggunakan Persamaan 3.10 berikut

$$CL = \left( \frac{B_0 - B_1}{B_0} \right) \times 100 \quad (3.10)$$

dengan :

CL = persentase kehilangan berat (%),

B0 = berat sebelum diabrasi , dan

B1 = berat setelah diabrasi.

### 3.13 *Pengujian Index of Cantabro Loss*

Pengujian ICL merupakan metode evaluasi untuk menentukan tingkat penurunan ketahanan campuran aspal akibat perendaman air serta menilai daya tahan campuran akibat kelembaban di lapangan. Semakin besar nilai ICL maka semakin besar pengaruh air terhadap keausan campuran. Adapun pengolahan data ICL dapat menggunakan Persamaan 3.11 berikut ini.

$$ICL = \left( 1 - \frac{(100 - CL_0) - (100 - CL_1)}{(100 - CL_1)} \right) \times 100 \% \quad (3.11)$$

dengan :

ICL = persentase ketahanan (%),

CL0 = nilai CL kering (%), dan

CL1 = nilai CL rendaman (%).

### 3.14 *Stiffness Modulus*

Aspal merupakan material viskoelastis yang memiliki kemampuan untuk bersifat cair atau padat tergantung pada suhu dan waktu pembebanan. Pada suhu tinggi dan durasi pembebanan yang lama, aspal berperilaku seperti fluida kental (*viscous liquid*) dan mempertahankan bentuknya dalam waktu lama. Sebaliknya, pada suhu rendah dan waktu pembebanan singkat, aspal menunjukkan karakteristik elastis layaknya padatan. Sifat kekakuan (*stiffness*) adalah karakteristik penting yang menunjukkan kemampuan aspal dalam menahan deformasi akibat pengaruh suhu dan lamanya beban bekerja. Kekakuan ini dapat dibedakan menjadi dua, yaitu *Stiffness Modulus of Bitumen (Sbit)* yang mengukur kekakuan material aspal itu sendiri, dan *Stiffness Modulus of Mixture (Smix)* yang mengukur kekakuan campuran aspal dengan agregat (Tolab dkk., 2022). Pemahaman terhadap kedua

parameter ini penting untuk memastikan performa struktural perkerasan jalan dalam berbagai kondisi lalu lintas dan iklim.

Modulus kekakuan bitumen ( $S_{bit}$ ) merupakan parameter yang mencerminkan resistansi material terhadap deformasi dan dipengaruhi oleh berbagai faktor seperti suhu, durasi pembebanan, kemampuan pemulihan (*recovering*), pelunakan bitumen (*softening*), dan indeks penetrasi (Widhiatmoko dkk., 2024). Secara umum,  $S_{bit}$  didefinisikan sebagai rasio antara tegangan dan regangan yang terjadi pada material.  $S_{bit}$  dapat dihitung menggunakan Persamaan 3.12 berikut ini.

$$S_{bit} = 1,154 \times 10^{-1} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-Pir} \times (Spr - T)^5 \quad (3.12)$$

dengan :

t = lama pembebanan 0,01 detik s/d 0,1 detik,

Pir = *recovered Penetration Index* pada 25°C,

Spr = *recovered Softening Point*, dan

T = temperatur aspal.

Nilai Pir dan Spr dapat dicari dengan menggunakan Persamaan 3.13 dan Persamaan 3.16 berikut ini.

$$Pir = \frac{1951,4 - (500 \times \log(Pr)) - (20 \times Spr)}{(50 \times \log(Pr)) - Spr - 120,14}, \quad (3.13)$$

$$Spr = 98,4 - 26,35 \times \log(Pr), \text{ dan} \quad (3.14)$$

$$Pr = 0,65 \times Pi \quad (3.15)$$

dengan :

Pr = *recovered Penetration* pada 25°C, dan

Pi = penetrasi awal

Modulus kekakuan campuran ( $S_{mix}$ ) menggambarkan kemampuan struktur perkerasan dalam menahan beban kendaraan, khususnya beban roda. Nilai kekakuan ini dipengaruhi oleh suhu dan durasi pembebanan, sebagaimana halnya pada bitumen.  $S_{mix}$  memiliki peran krusial dalam analisis tegangan dan regangan pada perkerasan jalan. Perhitungan  $S_{mix}$  dalam studi ini dilakukan menggunakan metode Nottingham seperti pada Persamaan 3.16 berikut ini.

$$S_{mix} = S_{bit} \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)}\right)^n \quad (3.16)$$

dengan :

$$n = 0,83 \times \text{Log} \left( \frac{4 \times 10^4}{S_{bit}} \right) \quad (3.17)$$

### 3.15 Penetration Index

*Penetration Index* (PI) merupakan parameter yang menggambarkan tingkat sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu. Nilai ini penting untuk menilai kestabilan termal bitumen dalam berbagai kondisi iklim. Pfeiffer dan Van Doormaal (1936) mengembangkan rumus untuk menghitung PI, yang digunakan secara luas dalam evaluasi performa termal aspal.

PI digunakan untuk menilai kecenderungan aspal menjadi terlalu lunak pada suhu tinggi atau terlalu keras pada suhu rendah. Nilai PI yang tinggi menunjukkan aspal lebih stabil terhadap perubahan suhu, sedangkan nilai PI rendah mengindikasikan aspal lebih sensitif terhadap suhu, sehingga lebih rentan terhadap deformasi permanen (*rutting*) atau retak termal. Adapun untuk mencari nilai PI dapat menggunakan Persamaan 3.18 berikut ini.

$$PI = \frac{20(1 - 25A)}{1 + 50A} \quad (3.18)$$

$$A = \frac{\log \text{Penetration pada } T_1 - \log 800}{25 - T_2 (\text{softening point})} \quad (3.19)$$

dengan :

A = kepekaan bitumen terhadap suhu,

T1 = suhu saat penetrasi 25°C,

T2 = suhu saat *softening point*, dan

PI = *Penetration Index*.

## BAB IV METODE PENELITIAN

### 4.1 Jenis Penelitian

Jenis penelitian pada penelitian ini berupa penelitian *qualitative* yaitu dengan mengumpulkan serta mengolah data dari hasil pengujian di laboratorium atau eksperimental. Metode eksperimental merupakan pendekatan penelitian untuk mengkaji hubungan sebab-akibat antar variabel (Zulnaldi,2007). Dalam penelitian ini, sampel dibuat berdasarkan variasi jenis aspal dan metode pemadatan yang ditetapkan.

### 4.2 Data Penelitian

Data pada penelitian ini menggunakan data primer yaitu data yang berasal dari ekperimental yang dilakukan di laboratorium. Adapun beberapa data penelitian antara lain :

1. Hasil uji karakteristik agregat halus dan kasar
2. Hasil uji karakteristik aspal
3. Hasil uji analisa saringan
4. Berat sampel benda uji
5. Hasil pengujian *Marshall*, *IRS*, *ITS*, dan *TSR*

Adapun peralatan yang digunakan pada penelitian ini sesuai dengan alat yang tersedia pada Laboratorium Jalan Raya Universitas Islam Indonesia, antara lain :

1. Peralatan uji karakteristik agregat halus : *sand equivalent*, analisa saringan
2. Peralatan uji karakteristik agregat kasar : *los angeles*, timbangan dalam air.
3. Peralatan uji karakterisik aspal : alat penetrasi, daktirilas, titik lembek, titik nyala bakar, kelarutan, dan lain-lainnya.
4. Peralatan uji *Marshall* yang terdiri dari *flow meter* dan *stability meter*.
5. Peralatan uji *Indirect Tensile Strength*
6. Peralatan pemadatan *Marshall*
7. Peralatan pemdatan *Gyratory compactor* dari Galileo

### 4.3 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data menggunakan satu cara yaitu dengan melakukan uji langsung atau metode observasi di laboratorium. Metode uji laboratorium digunakan untuk memperoleh data yang berkaitan dengan hasil benda uji yang telah dibuat. Pengamatan yang dilakukan meliputi pengujian pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal, pemeriksaan benda uji, dan pemeriksaan karakteristik *Marshall*. Dari data hasil pengujian di laboratorium dilakukan pengolahan data yang dibutuhkan antara lain :

#### 4.3.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Adapun pengujian pemeriksaan agregat menghasilkan data sebagai berikut

##### 1. Berat jenis agregat kasar (SNI 1970-2008)

Berat jenis agregat kasar adalah rasio antara massa agregat terhadap volume yang ditempati oleh agregat tersebut, termasuk volume pori-pori di dalam partikel agregat itu sendiri. Berdasarkan SNI 1970:2008, pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan untuk memperoleh tiga nilai utama, yaitu:

##### a. Berat Jenis Kering Oven (*Bulk Specific Gravity - Oven Dry*)

Berat jenis kering oven adalah rasio antara massa agregat yang telah dikeringkan dalam oven terhadap volume total agregat, termasuk volume pori-pori di dalam partikel yang mampu menyerap air.

##### b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry - SSD*)

Berat jenis jenuh kering permukaan (SSD) merupakan rasio antara massa agregat dalam keadaan jenuh namun kering di permukaan terhadap volume total agregat. Kondisi SSD terjadi saat seluruh pori-pori di dalam partikel terisi air, namun tanpa adanya kelembaban pada permukaan agregat.

##### c. Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)

Menggambarkan massa agregat terhadap volume partikel agregat itu sendiri tanpa mempertimbangkan pori-pori yang dapat menyerap air.

##### 2. Berat jenis agregat halus (SNI 1969 – 2008)

Berat jenis agregat halus adalah rasio antara massa agregat halus terhadap volume yang ditempati oleh agregat tersebut, termasuk volume pori-pori yang dapat terisi air di dalam partikel, namun tidak termasuk pori antar partikel.

Berdasarkan SNI 1969:2008, pengujian berat jenis agregat kasar dilakukan untuk memperoleh tiga nilai utama, yaitu:

- a. Berat Jenis Kering Oven (*Bulk Specific Gravity - Oven Dry*)
  - b. Berat Jenis Jenuh Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry – SSD*)
  - c. Berat Jenis Semu (*Apparent Specific Gravity*)
3. Abrasi dengan mesin *Los Angeles* dengan 100 putaran dan 500 putaran (SNI 2417-2008).

Pengujian abrasi menggunakan mesin Los Angeles merupakan metode standar untuk mengukur ketahanan agregat terhadap pengaruh keausan akibat gesekan dan tumbukan, yang biasa terjadi selama proses pencampuran, pengangkutan, pemadatan, dan layanan lalu lintas di lapangan

4. Kelekatan agregat terhadap aspal (SNI 2439 – 1991)

Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat kelekatan antara agregat dan aspal dalam campuran perkerasan. Uji ini penting dilakukan guna memastikan bahwa agregat dapat menempelkan aspal dengan baik pada permukaan agregatnya. Kelekatan yang baik antara aspal dan agregat merupakan salah satu faktor kunci dalam mencegah terjadinya pelepasan butiran (*stripping*) yang dapat mempercepat kerusakan.

5. *Sand equivalent* terkait kadar lempung (SNI 4428 – 1997)

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan kadar partikel halus dari debu, lumpur, atau lempung yang terkandung dalam agregat halus. Kadar debu atau lempung yang tinggi dapat menurunkan kualitas ikatan dan mengganggu kestabilan struktur perkerasan, sehingga pengendaliannya menjadi aspek penting dalam spesifikasi teknis material konstruksi.

#### **4.3.2 Karakteristik Aspal**

Adapun pengujian pemeriksaan aspal menghasilkan data sebagai berikut

1. Berat jenis aspal (SNI 2441 – 1991)

Pengujian ini dilakukan dengan membandingkan massa aspal terhadap massa air suling dalam volume yang sama.

2. Penetrasi pada suhu ruang 25°C (SNI 2456 – 1991)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal atau konsistensi aspal dengan mengamati kedalaman penetrasi jarum.

3. Titik lembek (SNI 2434 – 1991)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui suhu ekstrim dari aspal atau suhu transisi aspal dari keadaan padat ke cair.

4. Daktilitas dengan mesin daktilitas yang ditarik dengan kecepatan 5cm/menit (SNI 2432 – 1991)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal atau ikatan antar partikel yang sama dengan mengukur panjang maksimum tarikan aspal hingga putus.

5. Titik nyala dan bakar (SNI 2433 – 1991)

Pengujian titik nyala dan bakar bertujuan menentukan suhu saat terjadinya nyala singkat (*flash point*) dan suhu saat aspal mulai terbakar (*fire point*) dimana digunakan sebagai acuan *safety*.

6. Kelarutan aspal pada larutan CCL4 (SNI 2438 – 2015)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kemurnian aspal dengan mengetahui persentase aspal yang dapat larut dalam larutan CCL4.

#### 4.3.3 Karakteristik *Marshall*

Metode ini penting untuk menilai kinerja campuran aspal dalam kondisi lalu lintas nyata. Nilai stabilitas mencerminkan kekuatan maksimum yang dapat ditahan oleh campuran, sedangkan nilai flow menunjukkan tingkat deformasi plastis. Kedua parameter ini digunakan dalam penentuan kadar aspal optimum serta kelayakan struktural campuran dalam aplikasi lapangan. Adapun langkah – langkah pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengukuran tebal benda uji (diambil minimal 3 sisi yang berbeda dan dirata-ratakan).
2. Melakukan penimbangan benda uji sebelum direndam.
3. Benda uji direndam dalam bak penampung selama  $\pm 16 - 24$  jam.
4. Menimbang benda uji yang sudah direndam sebelumnya menggunakan timbangan yang dipasangkan keranjang dalam air.
5. Benda uji yang sudah ditimbang dalam air dikeringkan menggunakan kain lap dalam kondisi lembab hingga sampel dalam keadaan kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*. Lalu timbang sampel dalam kondisi SSD.

6. Benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu  $60^{\circ}\text{C} \pm 1$  selama 30 menit.
7. Keluarkan benda uji dari *waterbath* dan letakkan benda uji pada kepala penekan atau *breaking head*.
8. Naikkan kepala penekan beserta benda uji dengan menekan tombol *UP* hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur arloji stabilitas pada angka nol.
9. Pasang beban penekan pada bagian atas alat uji *Marshall*, kemudian pasang *flow meter* dan atur posisi jarum penunjuk ke angka nol sebelum pengujian dimulai.
10. Lakukan pengujian dengan kecepatan 5 cm/menit hingga pembebanan pada arloji stabilitas menurun atau mencapai batasnya.
11. Catat nilai stabilitas yang ditunjukkan pada jarum arloji pembacaan stabilitas dan pembacaan arloji kelelahan atau *flow meter*.

Hasil pengujian *Marshall* yang menghasilkan data sebagai berikut

1. Berat kering benda uji.
2. Berat dalam air benda uji.
3. Berat kering permukaan jenuh benda uji.
4. Tinggi benda uji.
5. Angka pembacaan arloji stabilitas.
6. Angka pembacaan arloji kelelahan.

#### **4.3.4 Karakteristik *Index Retained Strength (IRS)***

Pengujian IRS langkahnya seperti pengujian *Marshall*. Pengujian *Immersion* merupakan pengujian stabilitas sisa dari benda uji setelah perendaman *waterbath* selama 24 jam yang dinyatakan dalam persen terhadap stabilitas perendaman *waterbath* selama 30 menit.

#### **4.3.5 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)***

Pengujian ITS merupakan pengujian untuk menentukan kekuatan tarik tidak langsung dengan beban secara vertikal hingga terjadi retakan. Beban ini menggambarkan tegangan tarik akibat beban lalu lintas pada perkerasan jalan. Adapun langkah – langkah pengujian ITS adalah sebagai berikut.

1. Melakukan pengukuran tebal benda uji (diambil minimal 3 sisi yang berbeda dan dirata-ratakan).

2. Melakukan penimbangan benda uji sebelum direndam
3. Letakkan benda uji pada kepala penekan dan atur secara presisi agar sampel rata ditengah – tengah.
4. Naikkan kepala penekan beserta benda uji dengan menekan tombol *UP* hingga menyentuh alas cincin penguji. Atur arloji stabilitas pada angka nol.
5. Lakukan pengujian dengan kecepatan 5 cm/menit hingga pembebanan pada arloji stabilitas menurun atau mencapai batasnya.
6. Catat nilai stabilitas yang ditunjukkan pada jarum arloji pembacaan stabilitas.

#### **4.3.6 Karakteristik *Tensile Strength Ratio* (TSR)**

Pengujian TSR langkahnya seperti pengujian ITS. Pengujian TSR merupakan pengujian stabilitas sisa dari benda uji setelah perendaman *waterbath* selama 24 jam yang dinyatakan dalam persen terhadap stabilitas pada ITS tanpa perendaman.

#### **4.3.7 Karakteristik *Cantabro Loss* (CL)**

Pengujian CL dilakukan untuk mengevaluasi ketahanan aus atau resistensi pengikatan campuran aspal terhadap lepasnya agregat akibat beban dan gesekan. Adapun langkah – langkah pengujian *cantabro* adalah sebagai berikut.

1. Timbang benda uji.
2. Masukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles*.
3. Tutup mesin dan putar mesin sebanyak 300 putaran tanpa bola baja.
4. Setelah 300 putaran , keluarkan benda uji dan timbang benda uji.
5. Selisih benda uji sebelum pengujian dan setelah pengujian ini termasuk berat sampel yang hilang.

#### **4.3.8 Karakteristik *Index Cantabro Loss* (ICL)**

Pengujian ICL seperti pengujian CL dimana dilakukan perbandingan hasil berat sisa dari benda uji CL dan benda uji CL setelah perendaman *waterbath* selama 24 jam yang dinyatakan dalam persen terhadap nilai berat sisa pada CL tanpa perendaman.

### **4.4 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)**

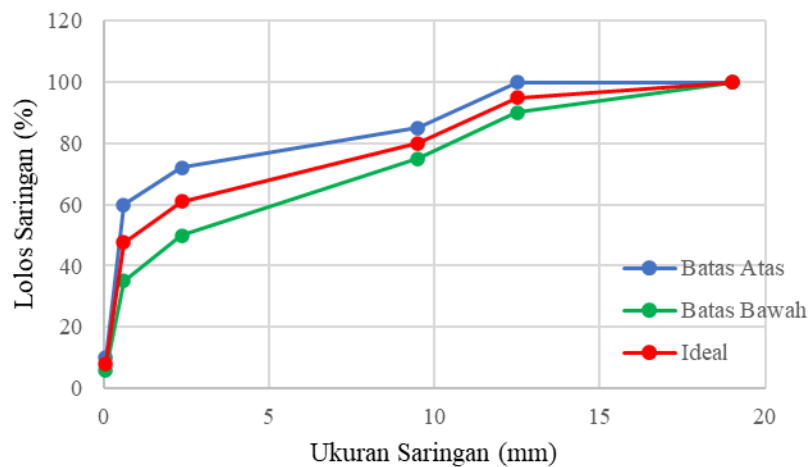
Pada penelitian ini campuran *Superpave* dengan menggunakan peraturan *Strategic Highway Research Program 1994*. Adapun gradasi yang digunakan pada ukuran maksimal 12,5 mm seperti pada Tabel 4.1 berikut ini.

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

Ukuran Saringan		Lolos Saringan %			Zona Larangan (%)		Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal (%)
ASTM	mm	Max	Min	Rencana Ideal	Min	Max		
3/4"	19	100	100	100			0	0
1/2"	12,5	100	90	95			5	5
3/8"	9,5	90	78	84			16	11
No. 8	2,36	58	28	43	39,1	39,1	57	41
No. 16	1,18	33.2	14.6	23.9	25,6	31,6	76.11	19.11
No. 30	0,6	25	7.97	16.5	19	23,1	83.51	7.40
No. 50	0,3	17	4.56	10.8	15,5	15,5	89.22	5.70
No. 200	0,075	10	2	6			94	4.78
Pan	Pan	0	0	0			100	6

Sumber: *Strategic Highway Research Program (SHRP)* (1994)

Adapun amplop gradasi yang digunakan pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut ini.



**Gambar 4. 1 Gradasi Agregat Campuran Superpave**

Berdasarkan perencanaan gradasi agregat, untuk campuran *Superpave* didapatkan proporsi agregat sebagai berikut.

Agregat Kasar (CA) : 57,0 %

Agregat Halus (MA) : 37,0 %

Filler : 6 %

Dengan proporsi agregat ini dihitung nilai  $P_b$  dengan menggunakan Persamaan 3.1 berikut ini.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%Filler) + F$$

$$P_b = 0,035 (57 \%) + 0,045 (37 \%) + 0,18 (6 \%) + 1$$

$$P_b = 5,74 \%$$

Berdasarkan proposi agregat yang dihitung menggunakan Persamaan 3.1 , didapatkan bahwa nilai Kadar Aspal Perkiraananya 6 %. Pembuatan benda uji menggunakan range  $\pm 1 \%$  tiap kenaikan dan penurunan 0,5 %, sehingga Kadar Aspal yang digunakan untuk campuran *Superpave* antara 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%. Adapun komposisi kebutuhan campuran pada setiap kadar dengan berat total campuran 1200 gram dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai Tabel 4.6 sebagai berikut.

**Tabel 4. 2 Komposisi Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%**

Ukuran Saringan		Spesifikasi			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal Masing2 (%)	Berat Tertahan (gr)	Berat Total Tertahan (gr)
(mm)	Inch	Max	Min	Renc. Ideal				
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0
12,5	1/2"	100	90	95	5	5	57	57
9,5	3/8"	90	78	84	16	11	125,4	125,4
2,36	No. 8	58	28	43	57	41	467,4	467,4
1,18	No. 16	33,21	14,57	23,89	76,11	19,11	217,854	217,854
0,6	No. 30	25	7,97	16,485	83,515	7,405	84,417	84,417
0,3	No 50	17	4,56	10,78	89,22	5,705	65,037	65,037
0,075	No. 200	10	2	6	94	4,78	54,492	54,492
Pan	Pan	0	0	0	100	6	68,4	68,4

**Tabel 4. 3 Komposisi Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal Masing2 (%)	Berat Tertahan (gr)	Berat Total Tertahan (gr)
(mm)	Inch	Max	Min	Renc. Ideal				
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0
12,5	1/2"	100	90	95	5	5	56,7	56,7
9,5	3/8"	90	78	84	16	11	124,74	124,74
2,36	No. 8	58	28	43	57	41	464,94	464,94
1,18	No. 16	33,21	14,57	23,89	76,11	19,11	216,7074	216,7074
0,6	No. 30	25	7,97	16,485	83,515	7,405	83,9727	83,9727
0,3	No 50	17	4,56	10,78	89,22	5,705	64,6947	64,6947
0,075	No. 200	10	2	6	94	4,78	54,2052	54,2052
Pan	Pan				100	6	68,04	68,04

**Tabel 4. 4 Komposisi Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%**

Ukuran Saringan		Spesifikasi			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal Masing2 (%)	Berat Tertahan (gr)	Berat Total Tertahan (gr)
(Mm)	Inch	Max	Min	Renc. Ideal				
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0
12,5	1/2"	100	90	95	5	5	56,4	56,4
9,5	3/8"	90	78	84	16	11	124,08	124,08
2,36	No. 8	58	28	43	57	41	462,48	462,48
1,18	No. 16	33,21	14,57	23,89	76,11	19,11	215,5608	215,5608
0,6	No. 30	25	7,97	16,485	83,515	7,405	83,5284	83,5284
0,3	No 50	17	4,56	10,78	89,22	5,705	64,3524	64,3524
0,075	No. 200	10	2	6	94	4,78	53,9184	53,9184
Pan	Pan				100	6	67,68	67,68

**Tabel 4. 5 Komposisi Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5 %**

Ukuran Saringan		Spesifikasi			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal Masing2 (%)	Berat Tertahan (gr)	Berat Total Tertahan (gr)
(mm)	Inch	Max	Min	Renc. Ideal				
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0
12,5	1/2"	100	90	95	5	5	56,1	56,1
9,5	3/8"	90	78	84	16	11	123,42	123,42
2,36	No. 8	58	28	43	57	41	460,02	460,02
1,18	No. 16	33,21	14,57	23,89	76,11	19,11	214,4142	214,4142
0,6	No. 30	25	7,97	16,485	83,515	7,405	83,0841	83,0841
0,3	No 50	17	4,56	10,78	89,22	5,705	64,0101	64,0101
0,075	No. 200	10	2	6	94	4,78	53,6316	53,6316
Pan	Pan				100	6	67,32	67,32

**Tabel 4. 6 Komposisi Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7 %**

Ukuran Saringan		Lolos Saringan %			Tertahan Ideal Kum (%)	Tertahan Ideal Masing2 (%)	Berat Tertahan (gr)	Berat Total Tertahan (gr)
(Mm)	Astm	Max	Min	Renc. Ideal				
19	3/4"	100	100	100	0	0	0	0
12,5	1/2"	100	90	95	5	5	55,8	55,8
9,5	3/8"	90	78	84	16	11	122,76	122,76
2,36	No. 8	58	28	43	57	41	457,56	457,56
1,18	No. 16	33,21	14,57	23,89	76,11	19,11	213,2676	213,2676
0,6	No. 30	25	7,97	16,485	83,515	7,405	82,6398	82,6398
0,3	No 50	17	4,56	10,78	89,22	5,705	63,6678	63,6678
0,075	No. 200	10	2	6	94	4,78	53,3448	53,3448
Pan	Pan				100	6	66,96	66,96

#### 4.5 Sampel Penelitian

Sampel penelitian ini menggunakan campuran *Superpave* dengan 2 variasi jenis aspal dan tiap variasi dilakukan penambahan serbuk ban karet. Adapun total jumlah sampel yang digunakan dapat dilihat pada Tabel 4.7 sampai Tabel 4.11 Berikut ini.

**Tabel 4. 7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Nilai Kadar Aspal Optimum (KAO)**

Kadar Aspal (%)	Campuran <i>Superpave</i>			
	Aspal PEN 60/70		Aspal PG 70	
	<i>Marshall</i>	IRS	<i>Marshall</i>	IRS
5	3	3	3	3
5,5	3	3	3	3
6	3	3	3	3
6,5	3	3	3	3
7	3	3	3	3
Total Benda Uji = 60 Benda Uji				

**Tabel 4. 8 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari Kadar Karet Optimum (KKO) pada Aspal PEN 60/70**

Kadar Karet (%)	Campuran <i>Superpave</i>				
	<i>Marshall</i>	IRS	ITS	TSR	<i>Cantabro</i>
0	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3
Total Benda Uji = 60 Benda Uji					

**Tabel 4. 9 Jumlah Benda Uji Untuk Mencari Kadar Karet Optimum (KKO) pada Aspal PG 70**

Kadar Karet (%)	Campuran <i>Superpave</i>				
	<i>Marshall</i>	IRS	ITS	TSR	<i>Cantabro</i>
0	3	3	3	3	3
2	3	3	3	3	3
4	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3
Total Benda Uji = 60 Benda Uji					

**Tabel 4. 10 Jumlah Benda Uji untuk Penumbukkan *Marshall***

Jenis Campuran	Campuran <i>Superpave</i>					
	<i>Marshall</i>	IRS	ITS	TSR	<i>Cantabro</i>	ICL
PEN 60/70	3	3	3	3	3	3
PEN 60/70 + KKO	3	3	3	3	3	3
PG 70	3	3	3	3	3	3
PG 70 + KKO	3	3	3	3	3	3
Total Benda Uji = 72 Benda Uji						

**Tabel 4. 11 Jumlah Benda Uji Untuk Penumbukkan *Gyratory***

Jenis Campuran	Campuran <i>Superpave</i>					
	<i>Marshall</i>	IRS	ITS	TSR	<i>Cantabro</i>	ICL
PEN 60/70	2	2	2	2	2	2
PEN 60/70 + KKO	2	2	2	2	2	2
PG 70	2	2	2	2	2	2
PG 70 + KKO	2	2	2	2	2	2
Total Benda Uji = 48 Benda Uji						

Jumlah benda uji untuk mencari nilai KAO sebanyak 60 sampel. Untuk mencari nilai KKO pada aspal PEN 60/70 sebanyak 60 sampel, dan mencari nilai KKO pada aspal PG 70 sebanyak 60 sampel. Untuk membuat benda uji dengan penumbukkan konvensional sebanyak 72 sampel, sedangkan untuk membuat benda uji dengan penumbukkan *Gyratory* sebanyak 48 sampel. Jadi total benda uji yang digunakan dalam penelitian ini sebanyak 300 benda uji.

#### **4.6 Langkah-Langkah Pemadatan *Gyratory***

Pada penelitian ini menggunakan pemadatan *Gyratory* dengan seri Galileo. Adapun langkah – langkah dalam pemadatan *Gyratory* sebagai berikut.

1. Langkah awal dalam pengujian meliputi pengisian data awal seperti *test ID*, jenis material, dan suhu pengujian. Selanjutnya, cetakan diletakkan pada timbangan mesin *Gyratory compactor* dan dilakukan proses penyeimbangan (*balancing*). Tujuan dari proses ini adalah untuk memastikan bahwa berat cetakan tidak ikut dalam perhitungan dari berat total sampel yang akan dipadatkan. Adapun proses *balancing* dapat dilihat pada Gambar 4.2.



**Gambar 4. 2** Proses *Balancing* Cetakan *Gyratory*

2. Benda uji dimasukkan ke dalam cetakan secara perlahan. Satu cetakan mampu menampung material sebesar 2400 gram, yang setara dengan dua sampel *Marshall* masing-masing sebesar 1200 gram. Proses memasukkan benda uji ke dalam cetakan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 4.3.



**Gambar 4. 3** Proses Memasukkan Benda Uji Kedalam Cetakan *Gyratory*

3. Selanjutnya, cetakan yang berisi benda uji dimasukkan ke dalam mesin *Gyratory* dan diposisikan secara presisi terhadap kepala pematik. Sebelumnya atur mesin untuk berhenti beroperasi berdasarkan salah satu dari tiga parameter yang tersedia, yaitu jumlah putaran, tinggi sampel, atau tingkat kepadatan. Dalam penelitian ini, proses pemadatan dihentikan ketika campuran mencapai jumlah girasi yang sudah ditentukan. Untuk girasi sendiri 300 putaran tiap pemadatan benda uji. Proses pemadatan benda uji pada mesin *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 4.4.



**Gambar 4. 4 Proses Pengaturan dan Pemasangan Benda Uji Pada Mesin *Gyratory***

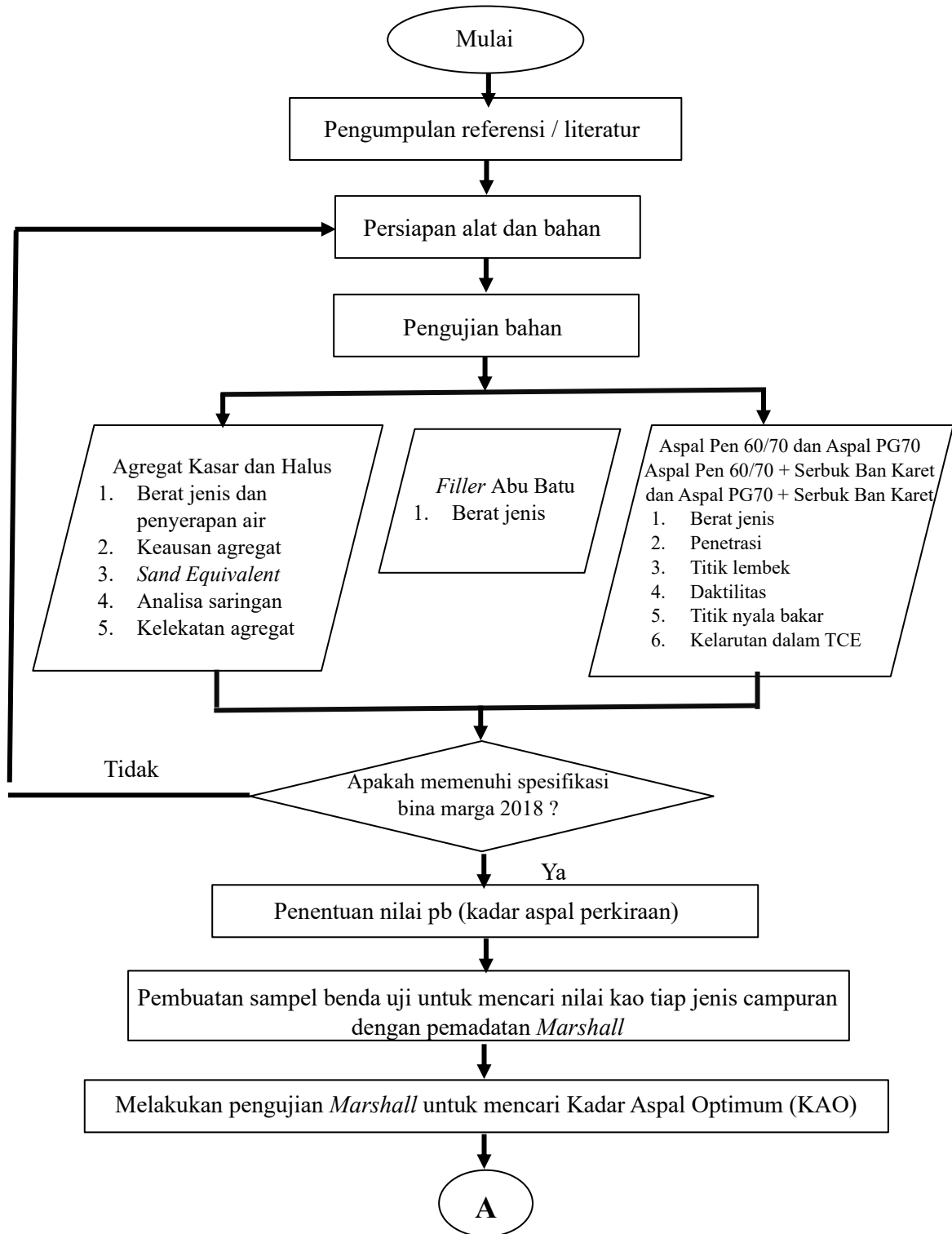
- Setelah mesin berhenti berputar maka keluarkan cetakan beserta benda uji dari dalam mesin *Gyratory*. Setelah itu keluarkan sampel menggunakan *ejector* yang tersedia langsung pada mesin *Gyratory*. Proses pengeluaran benda uji dapat dilihat pada Gambar 4.5.



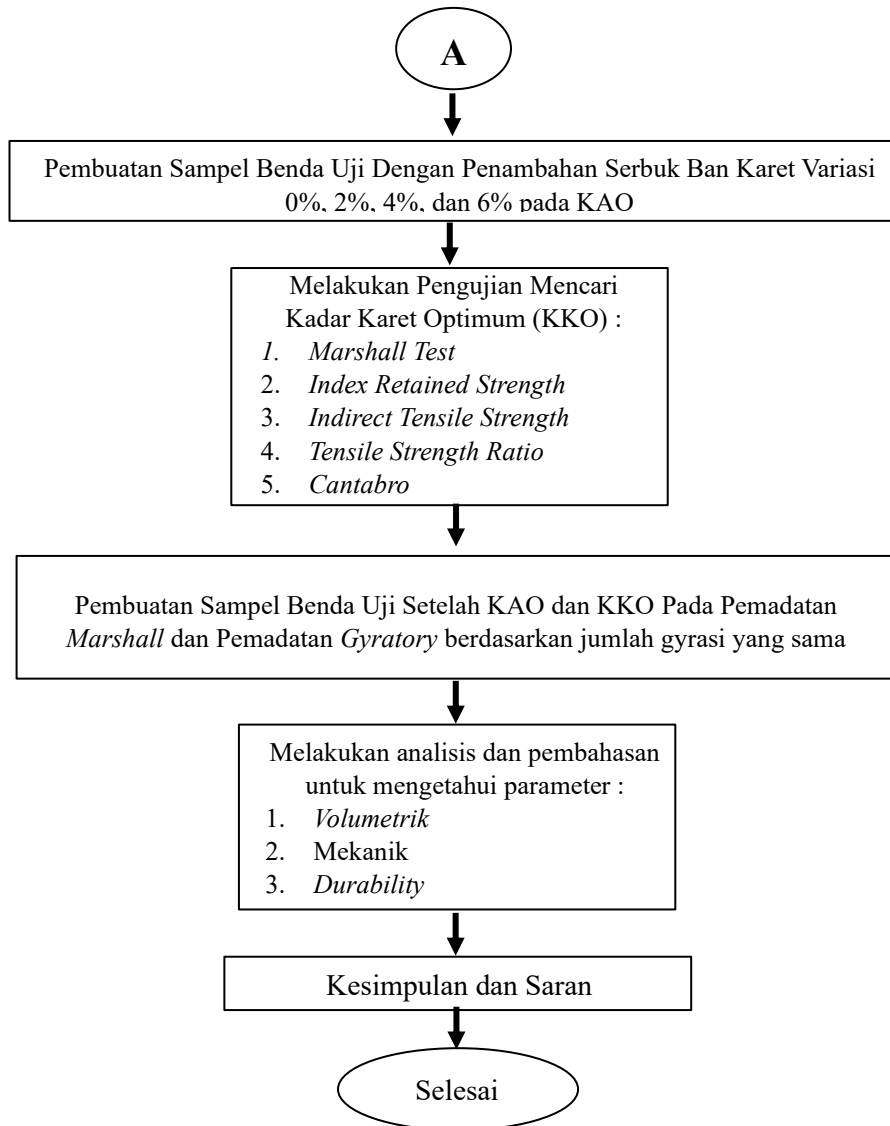
**Gambar 4. 5 Proses Pengeluaran Benda Uji Pada Mesin *Gyratory***

#### 4.7 Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian bertujuan untuk mengetahui tahapan penelitian yang dibuat secara singkat dan jelas. Adapun bagan alir pada penelitian ini antara lain



Gambar 4. 6 Bagan Alir Penelitian



**Lanjutan Gambar 4.6 Bagan Alir Penelitian**

**BAB V**  
**HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN**

**5.1. Hasil Penelitian**

Hasil pengujian, serta pembahasan dari penelitian yang telah dilakukan dapat dilihat seperti berikut ini.

**5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar dan Halus**

Pengujian karakteristik agregat dilakukan untuk memastikan kesesuaiannya dengan Spesifikasi Bina Marga 2018, karena kualitas agregat berpengaruh langsung terhadap kekuatan dan daya tahan perkerasan lentur. Apabila agregat tidak memenuhi spesifikasi, maka diperlukan alternatif material lain. Pada penelitian ini, pengujian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Hasil pengujian agregat dapat dilihat pada Tabel 5.1 hingga Tabel 5.3 berikut ini.

**Tabel 5. 1 Hasil Pengujian Agregat Kasar**

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi*	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,50$	2,574	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$< 3,00$	2,664	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal PEN 60/70 (%)	$> 95$	96	Memenuhi
4	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal PG-70 (%)	$> 95$	98	Memenuhi
5	Keausan (%)	$< 40$	26,86	Memenuhi

\*Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6

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

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,50$	2,535	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$< 3,00$	2,372	Memenuhi
3	Nilai Setara Pasir (%)	$> 50$	88.35	Memenuhi

**Tabel 5. 3 Hasil Pengujian *Filler* Abu Batu**

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,50$	2,547	Memenuhi

**5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal**

Pengujian aspal dilakukan untuk memastikan kesesuaiannya dengan Spesifikasi Bina Marga 2018, mengingat aspal merupakan komponen utama dalam perkerasan lentur yang berperan penting dalam menahan beban lalu lintas sesuai perencanaan. Pada penelitian ini, pengujian dilaksanakan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Adapun aspal yang digunakan pada penelitian ini ada dua jenis aspal, yaitu aspal PEN 60/70 dan aspal modifikasi Starbit PG-70. Adapun rekapitulasi hasil pengujian aspal dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai Tabel 5.5 berikut ini.

**Tabel 5. 4 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PEN 60/70**

Jenis Pengujian	Spesifikasi*	Hasil
Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,035
Penetrasi (0,1 mm)	60-70	65,5
Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 48$	48
Daktilitas (cm)	$\geq 100$	164
Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	320
Titik Bakar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 232$	325
Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99,5

\*Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6

**Tabel 5. 5 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG-70**

Jenis Pengujian	Spesifikasi*	Hasil
Berat Jenis	-	1,052
Penetrasi (0,1 mm)	Dilaporkan	57,5
Titik Lembek ( $^{\circ}\text{C}$ )	Dilaporkan	55
Daktilitas (cm)	$\geq 50$	130
Titik Nyala ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 225$	311
Titik Bakar ( $^{\circ}\text{C}$ )	$\geq 225$	317
Kelarutan TCE (%)	$\geq 99$	99

\*Spesifikasi Bina Marga 2018 Divisi 6

Selain dua jenis aspal, pada penelitian ini juga melakukan penambahan serbuk ban karet pada kedua jenis aspal dengan persentasi 2%, 4%, dan 6% dari berat total aspal guna mengevaluasi pengaruh modifikasi terhadap sifat fisik dan kinerja aspal. Adapun rekapitulasi hasil pengujian aspal modifikasi serbuk ban karet dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai Tabel 5.7 berikut ini.

**Tabel 5. 6 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PEN 60/70 + Serbuk Ban Karet**

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Ban Karet (%)		
	2	4	6
Berat Jenis	1,039	1.043	1,036
Penetrasi (0,1 mm)	63	61	58
Titik Lembek (°C)	51	56	59
Daktilitas (cm)	152	145	138
Titik Nyala (°C)	307	302	298
Titik Bakar (°C)	311	307	302

**Tabel 5. 7 Data Hasil Pengujian Karakteristik Aspal PG-70 + Serbuk Ban Karet**

Jenis Pengujian	Kadar Serbuk Ban Karet (%)		
	2	4	6
Berat Jenis	1,058	1,062	1,056
Penetrasi (0,1 mm)	53	50	47
Titik Lembek (°C)	59	62	65
Daktilitas (cm)	115	104	95
Titik Nyala (°C)	302	298	290
Titik Bakar (°C)	308	301	295

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

Pengujian *Marshall* sendiri dapat mengetahui nilai volumetrik dan mekanis dari campuran untuk mencari kadar aspal optimum yang menghasilkan kekuatan optimum dari volumetrik maupun mekanisnya. Adapun karakteristik *Marshall* antara lain *Void In Total Mix (VITM)*, *Void Filled With Asphalt (VFWA)*, *Void in Minerale Aggregate (VMA)*, *Density*, *Stabilitas*, dan *Flow*. Adapun rekapitulasi

pengujian *Marshall* untuk campuran *Superpave* dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Tabel 5.9 berikut ini.

**Tabel 5. 8 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KAO dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70**

Kadar Aspal (%)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Density (gr/mm <sup>3</sup> )
5	5,682	15,652	66,186	856,000	2,327	367,908	2,271
5,5	5,040	16,130	70,813	949,000	2,547	372,644	2,27
6	4,580	16,760	74,400	1073,000	2,983	359,665	2,265
6,5	4,040	17,310	78,092	970,000	3,370	287,834	2,262
7	3,710	18,050	80,640	913,000	3,903	233,903	2,254

**Tabel 5. 9 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KAO dengan Bahan Ikat Aspal PG-70**

Kadar Aspal (%)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Density (gr/mm <sup>3</sup> )
5	5,927	15,578	64,573	916,000	2,260	405,310	2,273
5,5	5,320	16,060	69,067	1017,000	2,513	404,642	2,272
6	4,850	16,650	72,730	1151,000	2,913	395,080	2,268
6,5	4,460	17,310	75,809	1034,000	3,203	322,789	2,262
7	4,030	17,940	78,843	954,000	3,640	262,088	2,257

#### **5.1.4 Hasil Pengujian *IRS* Untuk Menentukan Nilai Kadar Aspal Optimum pada Campuran *Superpave***

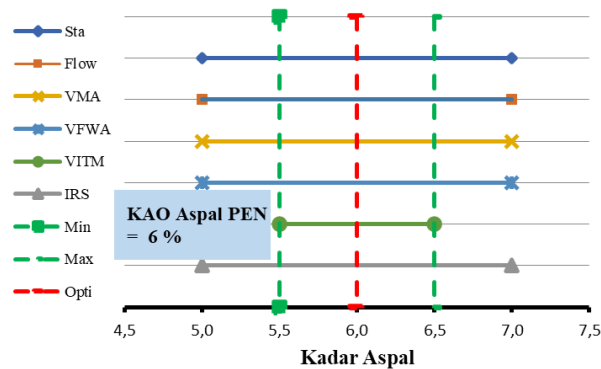
Pengujian *Index of Retained Strength* (*IRS*) merupakan metode untuk menilai durabilitas campuran beraspal melalui perbandingan nilai stabilitas sisa setelah perendaman dalam *waterbath* selama 24 jam terhadap stabilitas awal. Nilai *IRS* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki ketahanan yang baik terhadap kerusakan akibat pengaruh air, sedangkan nilai rendah mengindikasikan potensi penurunan kualitas perkerasan karena kelemahan pada ikatan aspal–agregat. Adapun hasil pengujian *IRS* untuk mencari nilai KAO dapat dilihat pada Tabel 5.10 berikut ini.

**Tabel 5. 10 Rekapitulasi Pengujian *IRS* untuk Mencari Nilai KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan PG-70**

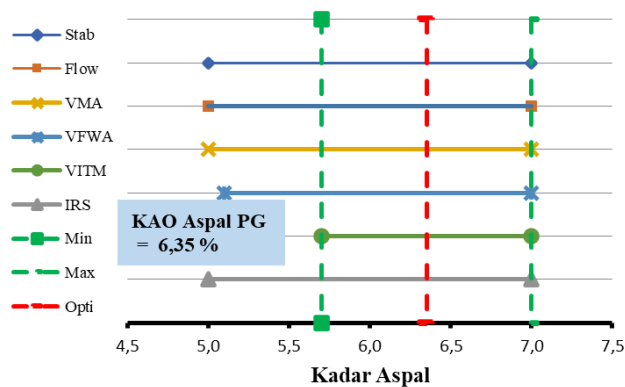
Kadar Aspal (%)	<i>Index of Retained Strength (%)</i>	
	Aspal PG-70	PEN 60/70
5	90,91	90,13
5,5	92,30	91,17
6	93,00	91,73
6,5	91,77	90,91
7	90,12	90,16

**5.1.5 Penentuan Nilai KAO Dari Pengujian *Marshall* dan *IRS*.**

Penentuan Nilai KAO pada penelitian ini menggunakan parameter pengujian *Marshall* dan *IRS*. Adapun hasil perhitungan nilai KAO dapat dilihat pada grafik yang disajikan pada Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 berikut ini.



**Gambar 5. 1 Grafik Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Aspal PEN 60/70**



**Gambar 5. 2 Grafik Kadar Aspal Optimum Campuran *Superpave* dengan Aspal PG-70**

**Tabel 5. 11 Rekapitulasi Kadar Aspal Optimum**

Jenis Aspal	Rentang Minimum dan Maksimum (%)	KAO (%)
Aspal PEN 60/70	5,5 - 6,5	6
Aspal PG-70	5,7 - 7	6,35

**5.1.6 Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) pada Campuran *Superpave***

Penentuan Nilai KAO pada penelitian ini menggunakan hasil penelitian *Marshall*, IRS, ITS, TSR, dan CL. Adapun hasil pengujian *Marshall* untuk mencari nilai KKO dapat dilihat pada Tabel 5.12 dan Tabel 5.13 berikut ini.

**Tabel 5. 12 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70**

Kadar Karet (%)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Density (gr/mm <sup>3</sup> )
0	4,783	17,290	74,032	1109,000	3,127	354,691	2,259
2	4,530	17,070	75,112	1271,000	3,340	380,539	2,265
4	4,360	16,920	75,853	1318,000	3,410	386,510	2,269
6	4,990	17,470	73,165	1019,000	3,900	261,282	2,254

**Tabel 5. 13 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PG-70**

Kadar Karet (%)	VITM (%)	VMA (%)	VFWA (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	Density (gr/mm <sup>3</sup> )
0	4,586	16,760	74,375	1011,000	3,113	324,732	2,265
2	4,450	16,650	74,969	1121,000	3,267	343,163	2,268
4	4,330	16,540	75,503	1219,000	3,387	359,941	2,271
6	4,960	17,090	72,774	1006,000	4,060	247,783	2,256

**5.1.7 Hasil Pengujian *IRS* untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran *Superpave***

Pengujian *Index of Retained Strength* (IRS) pada mencari nilai KKO untuk mengetahui *durabilitas* campuran beton aspal dengan penambahan serbuk ban karet pada aspal. Serbuk ban karet umumnya memberikan efek peningkatan elastisitas dan fleksibilitas aspal, serta berpotensi meningkatkan ikatan adhesi antara aspal

dengan agregat. Adapun hasil pengujian IRS mencari nilai KKO pada penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 5.14.

**Tabel 5. 14 Rekapitulasi Pengujian IRS untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO)**

Kadar Karet (%)	<i>Index of Retained Strength (%)</i>	
	Aspal PG-70	PEN 60/70
0	92,06	91,74
2	92,91	92,08
4	93,14	92,69
6	91,20	90,73

### 5.1.8 Hasil Pengujian ITS dan TSR untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran *Superpave*

Prinsip dasar dari pengujian ini adalah membandingkan kekuatan campuran aspal yang diuji langsung (ITS 0 jam) dengan kekuatan setelah direndam dalam water bath bersuhu tertentu, biasanya selama 24 jam pada suhu 60°C (ITS 24 jam). Tujuan pengujian ITS dan TSR untuk mencari nilai KKO ini adalah untuk menilai sejauh mana modifikasi aspal dengan karet dapat meningkatkan atau menurunkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat kelembapan. Adapun hasil pengujian ITS dan TSR mencari KKO dapat dilihat pada Tabel 5.15 dan Tabel 5.16 berikut ini

**Tabel 5. 15 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PEN 60/70**

Kadar Karet (%)	ITS 0 Jam Aspal PEN 60/70 (Kpa)	ITS 24 Jam Aspal PEN 60/70 (Kpa)	TSR Aspal PEN 60/70 (%)
0	881,06	802,70	91,11
2	957,93	876,79	91,53
4	1041,40	961,10	92,29
6	952,36	834,91	87,67

**Tabel 5. 16 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PG-70**

Kadar Karet (%)	ITS 0 Jam Aspal PG-70 (Kpa)	ITS 24 Jam Aspal PG-70 (Kpa)	TSR Aspal PG-70 (%)
0	991,58	929,34	93,72
2	1059,70	998,63	94,24

4	1123,41	1078,07	95,96
6	1037,79	937,76	90,36

### 5.1.9 Hasil Pengujian CL untuk Menentukan Nilai Kadar Karet Optimum pada Campuran Superpave

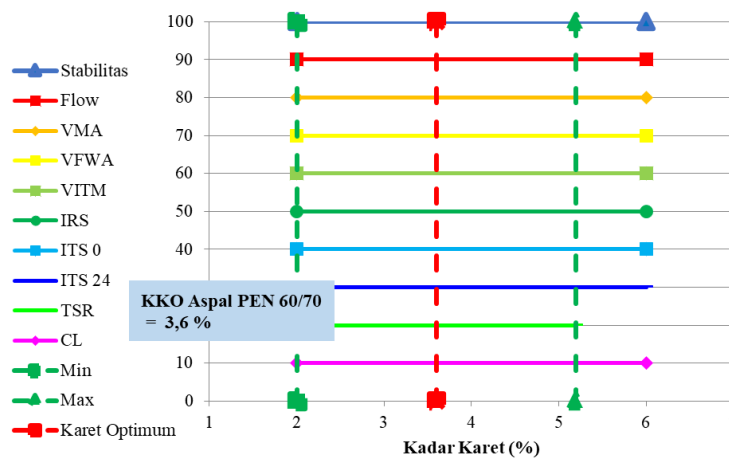
Pengujian CL sendiri bertujuan untuk mengetahui daya tahan campuran terhadap keausan. Pada pengujian CL untuk mencari nilai KKO sendiri dilakukan pengujian ini untuk mengetahui seberapa besar modifikasi aspal dengan karet meningkatkan resistensi campuran terhadap keausan. Adapun hasil CL mencari nilai KKO dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut ini.

**Tabel 5. 17 Rekapitulasi Pengujian CL untuk Mencari Nilai Kadar Karet Optimum (KKO)**

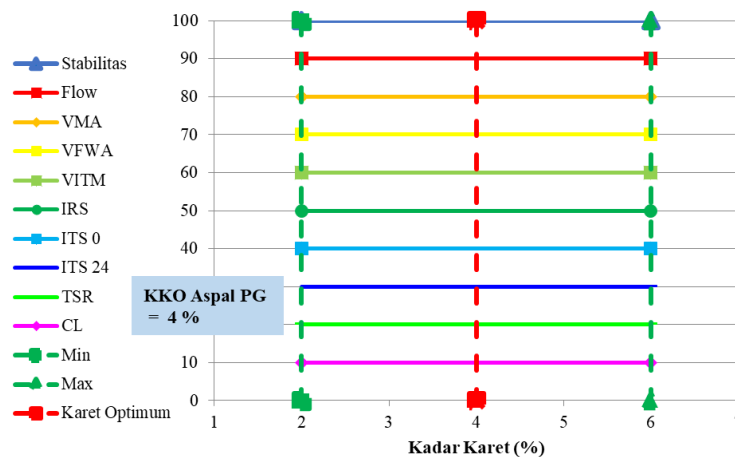
Kadar Karet	CL Aspal PG	CL Aspal PEN 60/70	Spesifikasi
0	4,03	4,73	20,00
2	3,57	4,36	20,00
4	2,93	3,84	20,00
6	3,43	4,14	20,00

### 5.1.10 Penentuan Nilai KKO dari Pengujian Marshall, IRS, ITS, TSR, dan CL

Dari hasil pengujian didapatkan nilai KKO aspal PEN 60/70 dan PG-70 seperti pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4 berikut ini.



**Gambar 5. 3 Grafik Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PEN 60/70**



**Gambar 5. 4 Grafik Kadar Karet Optimum (KKO) dengan Aspal PG-70**

Adapun rekapitulasi perhitungan KKO dapat dilihat pada Tabel 5.18 berikut ini.

**Tabel 5. 18 Rekapitulasi Kadar Karet Optimum**

Jenis Aspal	Rentang Minimum dan Maksimum (%)	KKO (%)
Aspal PEN 60/70	2 - 5,2	3,6
Aspal PG-70	2 - 6	4

### 5.1.11 Hasil Pengujian *Marshall* dan IRS dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

Adapun rekapitulasi hasil pengujian *Marshall* dan IRS pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* seperti Tabel 5.19 dan Tabel 5.20.

**Tabel 5. 19 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* dan IRS dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Pemadatan <i>Marshall</i>	Pemadatan <i>Gyratory</i>	Aspal + 3,6% Karet Pemadatan <i>Marshall</i>	Aspal + 4% Karet Pemadatan <i>Gyratory</i>
Stabilitas (kg)	1026	1369	1225	1530
VITM (%)	4,59	4,17	4,59	4,17
VMA (%)	16,76	16,39	16,61	16,21
VFWA (%)	74,37	76,25	75,15	77,23
<i>Flow</i> (mm)	3,44	3,18	3,51	3,26
IRS (%)	91,29	92,39	92,59	92,65

**Tabel 5. 20 Rekapitulasi Pengujian *Marshall* dan IRS dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Pemadatan <i>Marshall</i>	Pemadatan <i>Gyratory</i>	Aspal + 3,6% Karet Pemadatan <i>Marshall</i>	Aspal + 4% Karet Pemadatan <i>Gyratory</i>
Stabilitas (kg)	1128	1546	1319	1729
VITM (%)	4,74	4,24	4,57	4,06
VMA (%)	17,25	16,81	17,11	16,67
VFWA (%)	74,21	76,41	74,94	77,19
<i>Flow</i> (mm)	3,26	3,07	3,34	3,22
IRS (%)	92,18	93,28	93,18	93,90

Nilai Sbit dan Smix campuran pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Tabel 5.21.

**Tabel 5. 21 Rekapitulasi Perhitungan Nilai *Sbit* dan *Smix* pada Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory***

Keterangan	Nilai			
	Pen 60/70	Pen + Karet	PG 70	PG 70 + Karet
Sbit <i>Marshall</i> (Mpa)	9,49	10,66	11,71	14,54
Smix <i>Marshall</i> (Mpa)	2350,58	2564,55	2387,45	2821,86
Smix <i>Gyratory</i> (Mpa)	2495,79	2795,81	2609,61	3083,57

#### 5.1.12 Hasil Pengujian ITS dan TSR dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

Rekapitulasi perujian ITS tanpa perendaman dan ITS perendaman *waterbath* 24 jam serta nilai TSR dapat dilihat pada Tabel 5.22 dan Tabel 5.23.

**Tabel 5. 22 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Aspal PEN 60/70 <i>Marshall</i>	Aspal PEN 60/70 <i>Gyratory</i>	Aspal PEN 60/70 +3,6% Karet <i>Marshall</i>	Aspal PEN 60/70 + 4% Karet <i>Gyratory</i>
ITS 0 Jam (kg)	926,17	1273,30	1079,69	1437,62
ITS 24 Jam (kg)	837,40	1159,48	994,86	1348,67
TSR (%)	90,42	91,06	92,14	93,81

**Tabel 5. 23 Rekapitulasi Pengujian ITS dan TSR dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Aspal PG-70 <i>Marshall</i>	Aspal PG-70 <i>Gyratory</i>	Aspal PG-70 + 3,6% Karet <i>Marshall</i>	Aspal PG-70 + 4% Karet <i>Gyratory</i>
ITS 0 Jam (kg)	1000,10	1457,65	1142,08	1530,88
ITS 24 Jam (kg)	924,77	1358,18	1085,85	1470,37
TSR (%)	92,47	93,18	95,08	96,05

**5.1.13 Hasil Pengujian CL dan ICL dengan Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Rekapitulasi pernujian CL tanpa perendaman dan CL perendaman *waterbath* 24 jam serta nilai ICL dapat dilihat pada Tabel 5.24 dan Tabel 5.25.

**Tabel 5. 24 Rekapitulasi Pengujian CL dan ICL dengan Aspal PEN 60/70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Aspal PEN 60/70 <i>Marshall</i>	Aspal PEN 60/70 <i>Gyratory</i>	Aspal PEN 60/70 + Karet <i>Marshall</i>	Aspal PEN 60/70 + Karet <i>Gyratory</i>
CL 0 JAM (%)	5,00	4,26	4,49	3,99
CL 24 JAM (%)	7,85	6,55	6,73	5,61
ICL (%)	97,00	97,61	97,66	98,31

**Tabel 5. 25 Rekapitulasi Pengujian CL dan ICL dengan Aspal PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory***

Keterangan	Aspal PG-70 <i>Marshall</i>	Aspal PG-70 <i>Gyratory</i>	Aspal PG-70 + Karet <i>Marshall</i>	Aspal PG-70 + Karet <i>Gyratory</i>
CL 0 JAM (%)	4,74	3,98	4,36	3,64
CL 24 JAM (%)	6,96	5,86	5,99	5,04
ICL (%)	97,68	98,04	98,29	98,55

## 5.2. Analisis Hasil Pengujian

### 5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar dilakukan untuk mengetahui kualitas agregat kasar yang digunakan dalam bahan utama campuran perkerasan sudah sesuai dengan spesifikasi minimum atau tidak. Hal ini dikarenakan agregat kasar berperan penting dalam memberikan kekuatan, kestabilan, dan daya tahan terhadap beban lalu lintas, sehingga pemenuhan spesifikasi teknis menjadi hal yang sangat krusial. Hasil pengujian ini menjadi dasar dalam menilai kelayakan material serta memastikan bahwa agregat yang digunakan sesuai dengan standar spesifikasi teknis. Adapun hasil karakteristik agregat kasar Clereng, Kulon Progo yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Agregat Kasar

Berat jenis agregat kasar didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume agregat dengan berat volume air. Nilai berat jenis yang tinggi menunjukkan pori-pori agregat lebih kecil sehingga angka porositas rendah, yang berdampak pada peningkatan kekuatan dan durabilitas campuran perkerasan. Pengujian berat jenis menghasilkan tiga parameter, yaitu berat jenis bulk, berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry/SSD*), dan berat jenis semu. Agregat asal Clereng, Kulon Progo, memiliki nilai BJ Bulk = 2,574, BJ SSD = 2,639, dan BJ Semu = 2,754. Hasil tersebut telah memenuhi syarat minimum Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu > 2,5. Selain itu, nilai penyerapan air agregat sebesar 2,664% juga sesuai standar (< 3%), sehingga agregat ini layak digunakan sebagai bahan campuran perkerasan karena mampu memberikan kestabilan yang memadai terhadap pengaruh air dan beban lalu lintas.

#### 2. Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal bertujuan untuk menilai kemampuan agregat dalam mengikat aspal sebagai pengikat utama pada campuran perkerasan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kelekatan agregat terhadap aspal PEN 60/70 sebesar 96% dan terhadap aspal PG-70 sebesar 98%. Nilai tersebut telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu lebih dari 95%.

#### 3. Keausan Agregat dengan *Loss Angeles*

Pengujian abrasi agregat dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles* sebanyak 500 putaran dengan bola baja, di mana nilai keausan diperoleh dari perbandingan antara berat agregat sebelum diputar dengan berat agregat aus yang tertahan pada saringan No. 12. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tingkat keausan agregat sebesar 26,86%, sehingga masih berada dalam batas persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu kurang dari 40%. Nilai ini menunjukkan bahwa agregat yang digunakan memiliki ketahanan aus yang baik, sehingga mampu mempertahankan kekuatan dan stabilitas campuran perkerasan terhadap gesekan maupun beban lalu lintas dalam jangka panjang.

### **5.2.2 Karakteristik Agregat Halus**

Pengujian karakteristik agregat halus dilakukan untuk memastikan kualitas material yang digunakan dalam campuran perkerasan telah memenuhi spesifikasi teknis minimum. Agregat halus berperan penting sebagai pengisi rongga antar agregat kasar serta meningkatkan ikatan dengan aspal, sehingga berpengaruh terhadap kekedapan, stabilitas, dan durabilitas perkerasan. Pemenuhan standar teknis pada agregat halus menjadi aspek krusial agar campuran perkerasan memiliki kinerja optimal dalam menahan beban lalu lintas dan pengaruh lingkungan. Adapun hasil karakteristik agregat halus Clereng, Kulon Progo yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### **1. Berat Jenis Agregat Halus**

Berat jenis agregat halus didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume agregat halus dengan berat volume air. Nilai berat jenis yang tinggi menunjukkan bahwa agregat memiliki pori-pori lebih kecil sehingga tingkat porositas rendah, yang pada akhirnya berkontribusi terhadap peningkatan kekuatan, kepadatan, dan durabilitas campuran perkerasan. Sama seperti pada agregat kasar, pengujian berat jenis agregat halus juga menghasilkan tiga parameter utama, yaitu berat jenis bulk, berat jenis kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry/SSD*), dan berat jenis semu. Hasil pengujian ini penting untuk menilai kesesuaian agregat halus terhadap standar Spesifikasi Bina Marga 2018 serta memastikan kualitas campuran perkerasan yang dihasilkan. Agregat Halus asal Clereng, Kulon Progo, memiliki nilai BJ Bulk = 2,535, BJ SSD = 2,595, dan BJ Semu = 2,697. Hasil tersebut telah memenuhi syarat minimum Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu  $> 2,5$ .

Selain itu, nilai penyerapan air agregat sebesar 2,372 % juga sesuai standar yaitu < 3%.

## 2. Nilai Setara Pasir / *Sand Equivalent*

Pengujian nilai setara pasir ini dilakukan untuk melihat berapa kadar debu dan berapa kadar pasir atau agregat halus nya. Semakin kecil nilai *sand equivalent* maka agregat halus memiliki kandungan lumpur yang lebih banyak. Hal ini dapat menyebabkan ikatan aspal dengan agregat halus dapat terhalang karena tingginya kadar lumpur yang sifatnya lebih menolak aspal atau tidak menyerap aspal, sehingga membuat campuran menjadi tidak stabil. Pada penelitian ini nilai *sand equivalent* didapatkan sebesar 88,35 % dengan kandungan lumpur = 11,65%, hal ini sudah sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2018 dimana nilai minimum *sand equivalent* > 50%.

### 5.2.3 Karakteristik *Filler*

Adapun hasil karakteristik *filler* Clereng, Kulon Progo yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis *filler*

Berat jenis *filler* didefinisikan sebagai perbandingan antara berat volume *filler* dengan berat volume air. Nilai berat jenis yang tinggi menunjukkan bahwa *filler* memiliki pori-pori yang relatif kecil sehingga tingkat porositas rendah, yang dapat meningkatkan kepadatan, kekuatan ikatan, serta durabilitas campuran perkerasan. Secara prinsip, pengujian berat jenis *filler* dilakukan dengan metode serupa pengujian berat jenis aspal, karena ukuran butiran *filler* yang sangat halus cenderung memengaruhi sifat fisik dan homogenitas campuran. Hasil pengujian berat jenis *filler* sebesar 2,547 yang sudah sesuai dengan spesifikasi > 2,5.

### 5.2.4 Karakteristik Aspal

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal PG-70 memiliki karakteristik lebih keras dibandingkan aspal PEN 60/70, yang ditunjukkan oleh nilai penetrasi lebih rendah, titik lembek lebih tinggi, serta daktilitas yang lebih rendah. Kondisi ini disebabkan karena aspal PG-70 termasuk jenis *Polymer Modified Asphalt* (PMA) atau *Polymer Modified Bitumen* (PMB) yang mengandung bahan tambah (*additive*) untuk meningkatkan kinerja perkerasan. Modifikasi dengan polimer ini

membuat aspal lebih tahan terhadap suhu tinggi, ditandai dengan titik lembek yang meningkat sehingga sensitivitas terhadap perubahan temperatur berkurang. Selain itu, penurunan nilai daktilitas menunjukkan adanya peningkatan adhesi yang membuat aspal lebih lengket, serta ketahanan yang lebih baik terhadap radiasi ultraviolet, sehingga memperlambat proses penuaan (*ageing*) dan memperpanjang umur layanan perkerasan (Wibisono & Yuantika, 2024).

Adapun pembahasan hasil karakteristik aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 adalah sebagai berikut.

#### 1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal didefinisikan sebagai perbandingan antara berat aspal dengan berat air pada volume yang sama. Parameter ini berperan penting dalam campuran beton aspal karena aspal berfungsi sebagai pengikat utama yang menyatukan agregat menjadi satu kesatuan struktur. Semakin tinggi nilai berat jenis, semakin padat dan rapat struktur aspal pada volume tertentu, sehingga berpotensi meningkatkan kepadatan dan stabilitas campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa berat jenis aspal PEN 60/70 sebesar 1,035 dan aspal PG-70 sebesar 1,052. Keduanya memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yang mensyaratkan nilai minimal  $\geq 1,00$ . Nilai berat jenis yang lebih tinggi pada aspal PG-70 dibandingkan dengan PEN 60/70 mengindikasikan bahwa aspal PG-70 memiliki kerapatan material yang lebih baik, yang dapat mendukung peningkatan performa mekanis dan daya tahan terhadap beban lalu lintas.

#### 2. Penetrasi Aspal

Hasil pengujian didapatkan bahwa nilai penetrasi aspal PEN 60/70 sebesar 65,5 mm, dan aspal PG-70 sebesar 57,5 mm. Nilai penetrasi aspal PG-70 lebih rendah dibandingkan aspal PEN 60/70, yang mengindikasikan stabilitas PG-70 lebih tinggi. Dari segi tampilan, aspal PEN 60/70 cenderung lebih mengkilap dan terasa lentur ketika ditekan, sedangkan aspal PG-70 berwarna hitam pekat, tidak terlalu mengkilap, dan relatif kaku. Perbedaan ini mencerminkan bahwa aspal PG-70, sebagai aspal modifikasi, memiliki struktur lebih rapat dan stabilitas lebih baik, sehingga lebih tahan terhadap beban lalu lintas dan pengaruh temperatur (Wibisono & Yuantika, 2024).

#### 3. Titik Lembek Aspal

Titik lembek pada pengujian aspal PEN 60/70 didapatkan sebesar 48°C, dan aspal PG-70 sebesar 55°C. Hasil titik lembek sudah memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 dimana untuk aspal PEN 60/70  $\geq 48^\circ\text{C}$  dan aspal PG-70  $\geq 54^\circ\text{C}$ . Nilai titik lembek berkaitan dengan nilai *Penetration Index* (PI) yang merupakan kepekaan aspal terhadap temperatur. Semakin tinggi nilai titik lembek maka aspal lebih tahan terhadap perubahan suhu. Hal ini sesuai dengan penelitian Rahman (2024) dimana hasil titik lembek aspal PEN 60/70 lebih rendah dari pada aspal modifikasi Starbit PG-70. Selain itu penelitian Arkan dan Subarkah (2018) juga mendapatkan hasil yang serupa dimana titik lembek aspal PEN 60/70 lebih rendah dari aspal modifikasi Starbit.

#### 4. Daktilitas Aspal

Pengujian ini untuk mengetahui sifat kohesi atau sifat tarik menarik antar partikel yang sama. Semakin panjang daktilitas maka aspal lebih bersifat kohesi, akan tetapi selain panjang daktilitas parameter yang dapat dilihat adalah ketebalan dari aspal pada panjang yang sama. Pada penelitian ini didapatkan nilai daktilitas untuk aspal PEN 60/70 sebesar 164 cm dan aspal PG-70 sebesar 130 cm.

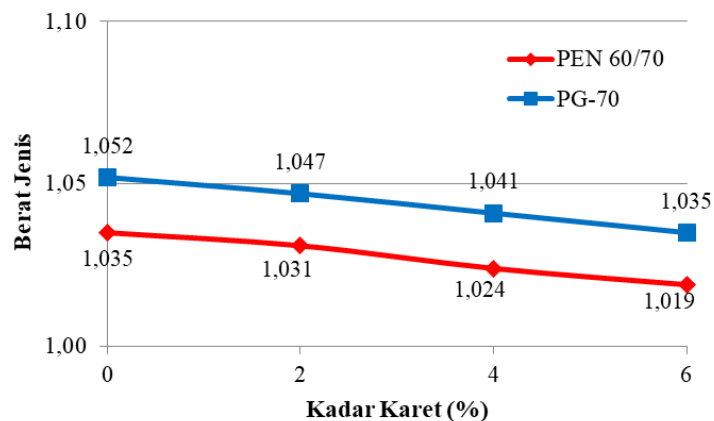
Hasil pengujian daktilitas pada panjang 140 cm menunjukkan bahwa aspal PEN 60/70 menghasilkan serat yang relatif lebih tipis dibandingkan dengan aspal PG-70 yang membentuk serat lebih tebal, sehingga mengindikasikan bahwa aspal PG-70 memiliki kemampuan lebih baik dalam menahan regangan sebelum terjadi retak atau patah dan dengan demikian memberikan kinerja yang lebih unggul dalam hal ketahanan terhadap deformasi plastis serta durabilitas, terutama pada kondisi perkerasan yang menerima beban lalu lintas tinggi (Pratama & Haratama, 2024).

#### 5. Titik Nyala Bakar Aspal

Pengujian titik nyala dan titik bakar aspal bertujuan untuk mengetahui suhu minimum saat aspal mulai mengeluarkan uap yang dapat menyala (*flash point*) dan suhu ketika terbakar secara berkelanjutan (*fire point*), yang berfungsi sebagai acuan keselamatan dalam proses pencampuran beton aspal. Titik nyala bakar juga mencerminkan kandungan fraksi minyak ringan dalam aspal yang berpengaruh terhadap kestabilan termal material. Hasil penelitian menunjukkan bahwa aspal PEN 60/70 memiliki titik nyala 320°C dan titik bakar 325°C, sedangkan aspal PG-70 memiliki titik nyala 311°C dan titik bakar 317°C. Kedua nilai tersebut telah

memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018, yaitu  $\geq 232^{\circ}\text{C}$ , sehingga aspal dapat dikategorikan aman untuk digunakan dalam proses pencampuran maupun aplikasi lapangan.

Perbedaan sifat antara aspal PG-70 yang lebih unggul dibandingkan PEN 60/70 menunjukkan perlunya upaya peningkatan kualitas pada aspal PEN 60/70. Salah satu metode yang dapat digunakan adalah dengan menambahkan serbuk ban karet sebagai bahan aditif. Penambahan serbuk ban karet tidak hanya diharapkan dapat memperbaiki sifat mekanis aspal, seperti meningkatkan kekakuan, ketahanan terhadap deformasi permanen, serta daya tahan terhadap suhu tinggi, tetapi juga memberikan manfaat lingkungan melalui pemanfaatan limbah ban bekas yang jumlahnya cukup besar. Dengan demikian, penggunaan serbuk ban karet pada campuran aspal tidak hanya berkontribusi pada peningkatan kinerja perkerasan, tetapi juga mendukung konsep pembangunan berkelanjutan melalui pengelolaan limbah secara produktif. Adapun hasil karakteristik aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 dengan penambahan serbuk ban karet. Adapun hasil pengujian Berat jenis aspal dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

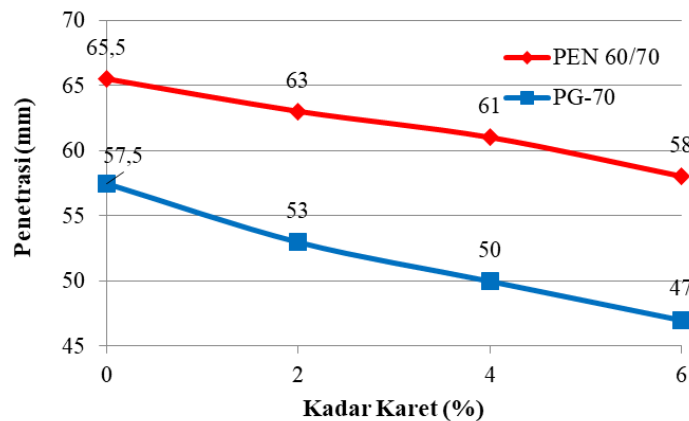


**Gambar 5. 5 Grafik Hasil Uji Berat Jenis Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penambahan variasi serbuk ban karet pada aspal cenderung menaikkan berat jenis walaupun tidak signifikan, akan tetap berat jenis akan berkurang saat penambahan serbuk ban karet terlalu banyak. Pada aspal tipe PEN 60/70, berat jenis meningkat dari 1,035 menjadi 1,043 pada penambahan 4% serbuk ban karet, tetapi menurun kembali menjadi 1,036 pada kadar 6%. Sementara itu, pada aspal PG-70, berat jenis naik dari 1,052 menjadi

1,062 pada penambahan 4%, lalu berkurang menjadi 1,056 pada kadar 6%. Kondisi ini terjadi karena serbuk ban karet memiliki massa jenis lebih rendah sehingga menambah volume total campuran tanpa diikuti peningkatan berat yang sepadan. meskipun berat jenis padatan karet bisa sedikit lebih tinggi daripada bitumen, perilaku karet di dalam binder (mengembang, berpori mikroskopis, menjebak udara) membuat volume efektif campuran bertambah lebih besar daripada pertambahan massanya, sehingga berat jenis campuran binder (dan/atau campuran beraspal) cenderung menurun ketika kadar serbuk ban karet dinaikkan.

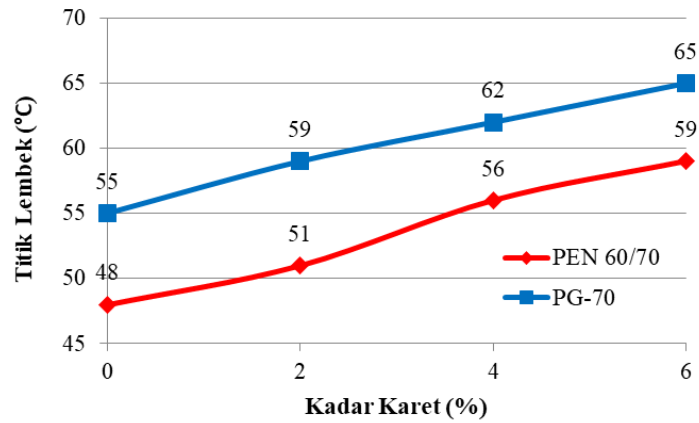
Adapun hasil pengujian penetrasi aspal dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut ini.



**Gambar 5. 6 Grafik Hasil Uji Penetrasi Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

Dari sisi sifat mekanis, seiring dengan penambahan serbuk ban karet dapat menurunkan nilai penetrasi. Pada aspal PEN60/70 sendiri dari 65,5 mm menjadi 58 mm dan 57,5 mm menjadi 47 mm pada aspal PG-70. Hasil ini sejalan dengan temuan Rini dkk. (2018) yang menunjukkan bahwa semakin tinggi kadar limbah karet yang ditambahkan, maka nilai penetrasi semakin menurun. Penurunan penetrasi ini mengindikasikan peningkatan kekerasan aspal, sehingga material menjadi lebih kaku. Penelitian serupa dilakukan oleh Indriyati & Susanto (2015), di mana penambahan 3% limbah ban karet pada aspal PEN 60/70 menurunkan nilai penetrasi dari 66,5 mm menjadi 47,05 mm. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa penggunaan serbuk ban karet sebagai bahan tambahan berpengaruh signifikan terhadap karakteristik penetrasi aspal, khususnya dalam meningkatkan kekerasan dan mengurangi kelenturannya.

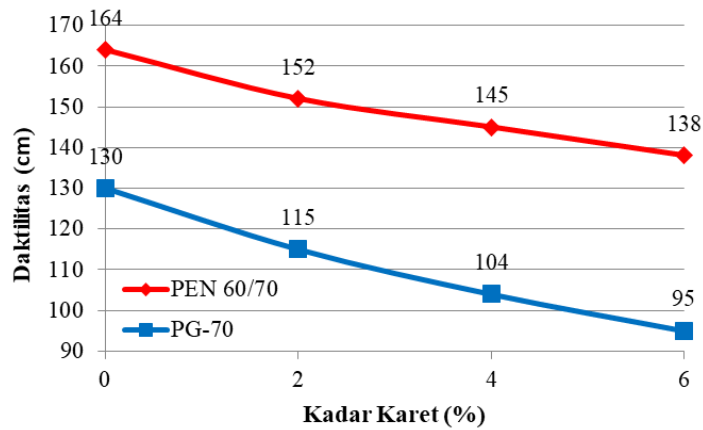
Selain itu hubungan penetrasi erat dengan hasil dari titik lembek, dimana nilai penetrasi tinggi maka titik lembek akan rendah, begitupun sebaliknya. Hasil titik lembek aspal dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



**Gambar 5. 7 Grafik Hasil Uji Titik Lembek Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

Selain itu, terjadi kenaikan suhu titik lembek yang mengindikasikan bahwa aspal lebih tahan terhadap pengaruh suhu tinggi. Dimana titik lembek aspal PEN 60/70 naik dari 55°C menjadi 65°C dan aspal PG-70 dari 48°C menjadi 59°C. Hal ini dikarenakan penambahan serbuk ban karet meningkatkan sifat fisik menjadi lebih keras ditandai dengan penetrasi yang rendah, sehingga titik lembek menjadi lebih tinggi. Hal ini juga sesuai dengan penelitian Maleve dkk. (2023), dimana seiring penambahan kadar limbah ban karet meningkat juga titik lembeknya yang menandakan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan karet ban tidak terlalu rentan terhadap variasi suhu daripada aspal yang tidak dimodifikasi. Hasil penelitian Rini dkk. (2018) juga mendapatkan hasil serupa dimana semakin tinggi kadar limbah karet, semakin tinggi pula titik lembek yang dihasilkan. Fenomena ini dapat dijelaskan secara ilmiah karena partikel karet yang bercampur dalam aspal mampu meningkatkan kekakuan matriks, mengurangi sensitivitas termal, dan memperkuat struktur ikatan antar molekul aspal. Dengan demikian, campuran aspal-karet menjadi lebih tahan terhadap deformasi plastis pada suhu tinggi, sehingga berpotensi memperpanjang umur layanan perkerasan jalan di daerah dengan iklim tropis seperti Indonesia.

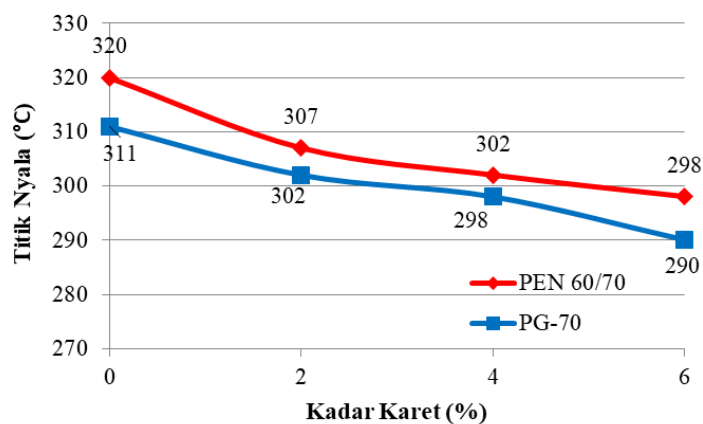
Adapun hasil uji daktilitas aspal dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut ini.



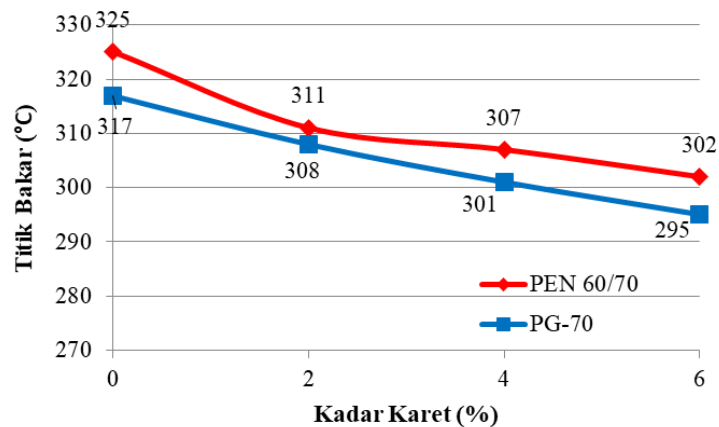
**Gambar 5. 8 Grafik Hasil Uji Daktilitas Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

Penambahan serbuk ban karet juga terbukti menurunkan nilai daktilitas aspal. Pada aspal tipe PEN 60/70, nilai daktilitas berkurang menjadi 138 cm, sedangkan pada aspal PG-70 turun menjadi 95 cm. Kondisi ini menunjukkan bahwa aspal menjadi lebih getas akibat meningkatnya kekakuan serta distribusi kohesi–adhesi antara aspal dan partikel karet yang belum homogen. Hasil penelitian Maleve dkk. (2023) mendukung temuan ini, di mana penurunan daktilitas yang cukup signifikan terjadi dari 135,5 cm pada kadar 0% karet menjadi hanya 48,3 cm pada kadar 20%. Penurunan daktilitas tersebut menandakan berkurangnya elastisitas aspal yang berimplikasi pada potensi peningkatan risiko retak ketika menerima beban lalu lintas atau perubahan temperatur.

Adapun hasil pengujian titik nyala dan bakar aspal dapat dilihat pada Gambar 5.9 dan Gambar 5.10 berikut ini.



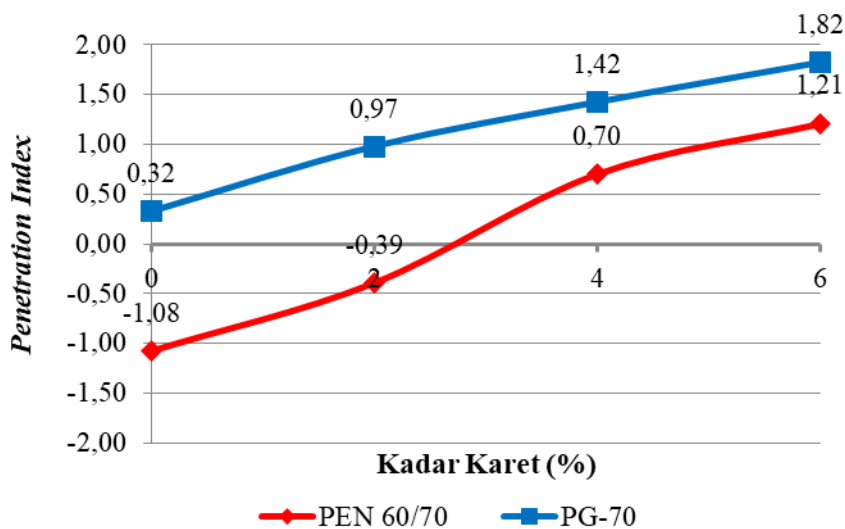
**Gambar 5. 9 Grafik Hasil Uji Titik Nyala Aspal dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**



**Gambar 5. 10 Grafik Hasil Uji Titik Bakar dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

Pengujian menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet pada aspal cenderung menurunkan nilai titik nyala dan titik bakar. Pada aspal tipe PEN 60/70, titik nyala turun dari 320°C menjadi 298°C pada kadar 6% serbuk ban karet, sedangkan pada aspal PG-70 terjadi penurunan dari 311°C menjadi 290°C pada kadar yang sama. Temuan ini konsisten dengan penelitian Rini dkk. (2018) yang melaporkan bahwa penambahan limbah ban karet menurunkan titik nyala dan titik bakar, dengan nilai terendah yaitu 310°C pada penambahan 5% karet ban. Penurunan titik nyala ini mengindikasikan bahwa campuran aspal menjadi lebih mudah terbakar akibat perubahan sifat kimiawi dan termal dari interaksi antara komponen aspal dan partikel karet, sehingga perlu diperhatikan dari sisi keamanan dalam proses produksi maupun aplikasi lapangan.

*Penetration Index (PI)* merupakan parameter penting yang digunakan untuk menilai tingkat sensitivitas aspal terhadap perubahan suhu. Nilai ini dihitung berdasarkan hasil uji penetrasi dan titik lembek (*softening point*), sehingga mampu menggambarkan kestabilan termal suatu aspal. Pengujian PI menjadi penting karena aspal yang terlalu peka terhadap suhu dapat mengalami perubahan sifat mekanis, seperti menjadi rapuh pada suhu rendah atau terlalu lunak pada suhu tinggi. Hasil perhitungan PI aspal dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.



**Gambar 5. 11 Grafik Hasil Uji Penetration Index dengan Penambahan Variasi Serbuk Ban Karet**

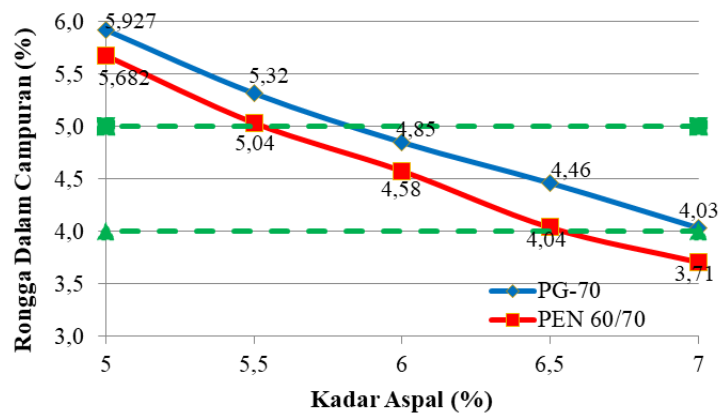
Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai PI pada aspal PEN 60/70 meningkat dari -1,08 menjadi 1,21 seiring bertambahnya kadar karet dari 0% hingga 6%. Demikian pula, pada aspal PG-70 nilai PI naik dari 0,32 menjadi 1,82. Kenaikan ini menunjukkan bahwa penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki sifat termal aspal dengan mengurangi kepekaan terhadap suhu. Secara umum, aspal PG-70 memiliki PI lebih tinggi dibandingkan PEN 60/70 pada setiap kadar karet, menandakan bahwa aspal PG-70 lebih stabil secara termal dibandingkan aspal PEN 60/70.

#### **5.2.5 Karakteristik *Marshall* dan *IRS* Untuk Mencari KAO pada Campuran *Superpave* dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70**

Pengujian untuk mencari nilai Kadar Aspal Optimum untuk campuran *Superpave* dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 pada penelitian ini menggunakan pengujian *Marshall* dan *IRS*. Dimana untuk *Marshall* sendiri terdiri dari nilai VITM, VMA, VFWA, Stabilitas, dan *Flow*. Adapun hasil pengujian dan pembahasannya seperti berikut ini.

1. Analisis dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Mencari Nilai KAO
  - a. *Void In Total Mix* (VITM)

Hasil pengujian VITM mencari KAO dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut

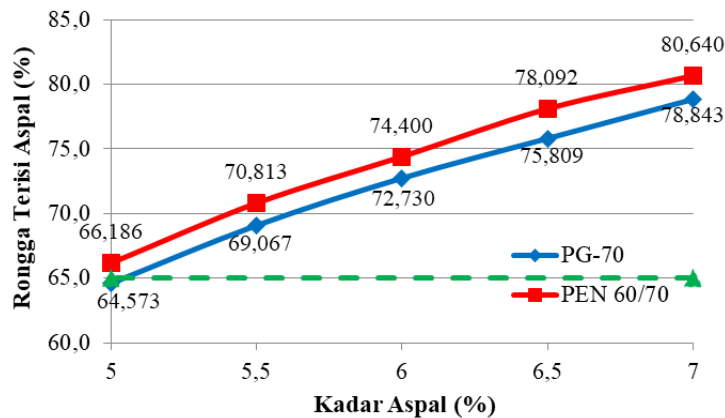


**Gambar 5. 12 Grafik VITM untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Void In Total Mix (VITM)* atau rongga udara dalam campuran merupakan persentase volume rongga udara yang terdapat pada total campuran beraspal. Parameter ini mencerminkan seberapa besar ruang kosong yang terbentuk di antara partikel agregat yang tidak terisi oleh aspal, sehingga berperan penting dalam menentukan durabilitas dan stabilitas campuran. Pada penelitian ini diperoleh bahwa campuran *Superpave* dengan aspal PEN 60/70 memenuhi spesifikasi Bina Marga (2018) pada kadar aspal 5,5% hingga 6,5%, sedangkan campuran *Superpave* dengan aspal PG-70 memenuhi spesifikasi pada kadar 5,7% hingga 7%. Rentang kadar aspal tersebut menunjukkan titik keseimbangan antara kepadatan campuran dengan ketersediaan rongga udara yang cukup, sehingga campuran tidak terlalu rapat yang berpotensi menimbulkan *bleeding* dan tidak terlalu berpori yang berpotensi mempercepat kerusakan akibat oksidasi dan masuknya air. Penelitian Hadi dkk (2021) mendapatkan hasil serupa dimana nilai VITM campuran dengan bahan modifikasi Starbit lebih tinggi daripada campuran menggunakan bahan ikat aspal PEN 60/70.

b. *Void Filled With Asphalt (VFWA)*

Hasil pengujian VFWA mencari KAO dapat dilihat pada Gambar 5.13 berikut

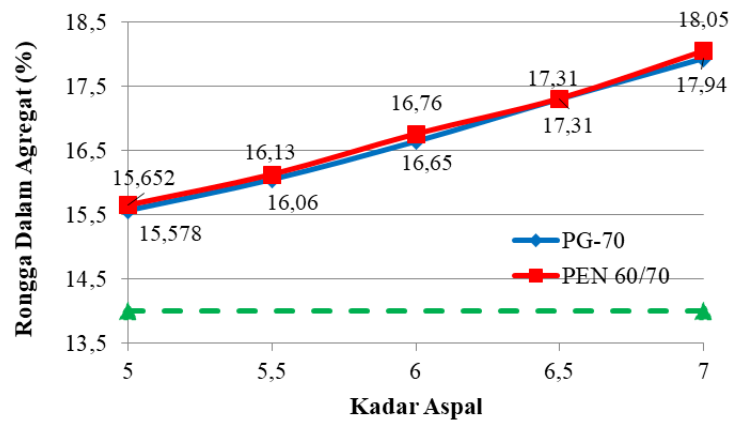


**Gambar 5. 13 Grafik VFWA untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Void Filled With Asphalt* atau rongga terisi aspal merupakan persentase rongga yang terisi oleh aspal. Berdasarkan Gambar 5.13 Nilai VFWA terus meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Nilai VFWA untuk aspal PEN 60/70 sendiri 66,186 % pada kadar aspal 5% dan tertinggi pada kadar aspal 7% sebesar 80,640%, sedangkan nilai VFWA untuk aspal PG-70 sendiri 64,573% pada kadar aspal 5% dan tertinggi pada kadar aspal 7% sebesar 78,84%. Hal ini sejalan dengan penelitian Widhiatmoko dkk (2024) dimana seiring dengan penambahan kadar aspal nilai VFWA ikut naik dikarenakan aspal mengisi rongga-rongga pada agregat dalam campuran dengan lebih menyeluruh. Adapun nilai VFWA aspal PEN 60/70 lebih tinggi dari pada aspal PG-70, hal ini dikarenakan sifat aspal PEN 60/70 yang lebih viscous dari pada aspal PG-70 yang menyebabkan aspal PEN 60/70 dapat menembus hingga kepori terdalam dari ronggo yang dapat terisi oleh aspal. Adapun hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Indriasti (2023) dimana aspal PEN 60/70 lebih peka terhadap perubahan suhu menyebabkan aspal lebih mudah mengisi rongga sehingga membuat nilai VFWA menjadi lebih tinggi dari pada aspal PG-70.

c. *Void Mineral Aggregate (VMA)*

Hasil pengujian VMA mencari KKO dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut

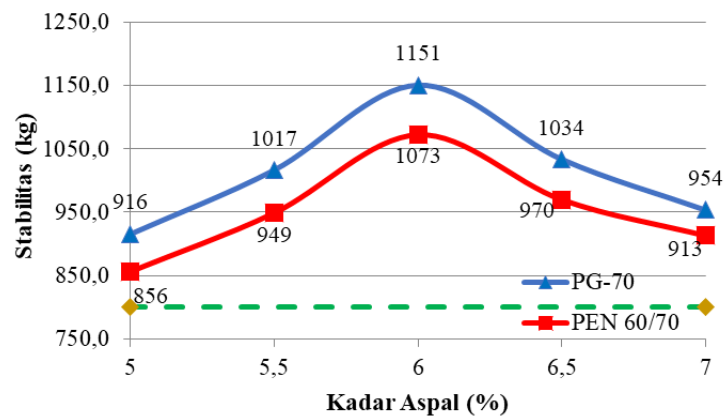


**Gambar 5. 14 Grafik VMA untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Berdasarkan Gambar 5.14, terlihat bahwa peningkatan kadar aspal diikuti dengan kenaikan nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA), meskipun kenaikan tersebut tidak terlalu signifikan. Peningkatan nilai VMA ini terjadi karena semakin banyak kadar aspal yang ditambahkan, maka selimut aspal yang menutupi permukaan agregat menjadi lebih tebal. Kondisi tersebut menyebabkan jarak antar butiran agregat semakin besar sehingga rongga antar mineral (*mineral aggregate voids*) juga meningkat. Temuan ini konsisten dengan penelitian Widhiatmoko dkk. (2024) yang melaporkan bahwa peningkatan kadar aspal berbanding lurus dengan peningkatan nilai VMA. Hasil serupa juga diperoleh oleh Lusiana dkk. (2022), yang menyatakan bahwa semakin tebal lapisan aspal yang menyelimuti agregat maka semakin besar pula jarak antarpartikel agregat. Hal ini menunjukkan bahwa pengendalian kadar aspal menjadi faktor penting untuk menjaga nilai VMA tetap dalam rentang spesifikasi, karena VMA yang terlalu tinggi dapat menurunkan kepadatan campuran, sementara VMA yang terlalu rendah dapat menyebabkan lapisan aspal tidak cukup melapisi agregat secara menyeluruh.

#### d. Stabilitas

Hasil pengujian Stabilitas mencari KAO dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut

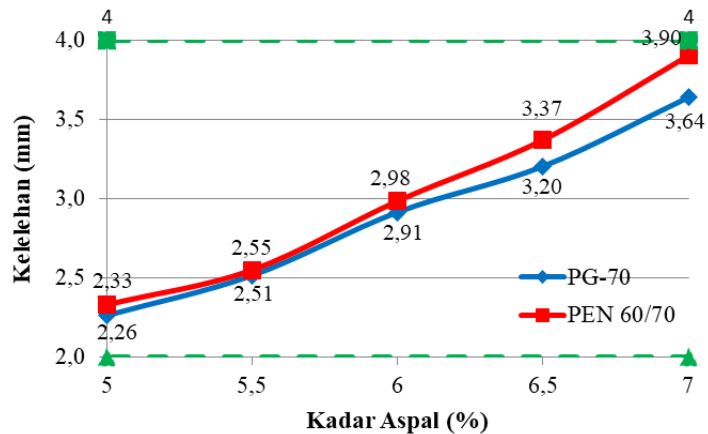


**Gambar 5. 15 Grafik Stabilitas Untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Berdasarkan Gambar 5.15, dapat dilihat bahwa peningkatan kadar aspal pada campuran cenderung meningkatkan nilai stabilitas hingga mencapai titik tertentu, namun setelah melewati kadar aspal optimum stabilitas justru mengalami penurunan. Nilai stabilitas maksimum pada aspal PEN 60/70 tercatat sebesar 1073 kg, sedangkan pada aspal PG-70 mencapai 1151 kg. Stabilitas campuran dengan aspal PG-70 lebih tinggi dibandingkan dengan PEN 60/70, yang disebabkan oleh tingginya viskositas aspal PG-70 sehingga campuran lebih tahan terhadap deformasi plastis. Temuan ini konsisten dengan penelitian Widhiatmoko dkk. (2024) yang menyatakan bahwa baik pada campuran HRS-WC maupun *Superpave*, nilai stabilitas meningkat seiring pertambahan kadar aspal, namun akan menurun setelah melewati kadar optimum. Selain itu, hasil penelitian Apteda dkk. (2023) juga menegaskan bahwa stabilitas campuran beraspal dengan aspal polimer PG-70 lebih tinggi dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal minyak PEN 60/70. Fenomena ini memperlihatkan bahwa penggunaan aspal polimer tidak hanya meningkatkan ketahanan terhadap deformasi, tetapi juga memperpanjang umur layan perkerasan, sehingga pemilihan jenis aspal menjadi faktor krusial dalam desain campuran beraspal modern.

e. Kelelehan / *Flow*

Hasil pengujian Kelelehan / *Flow* mencari KAO dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut

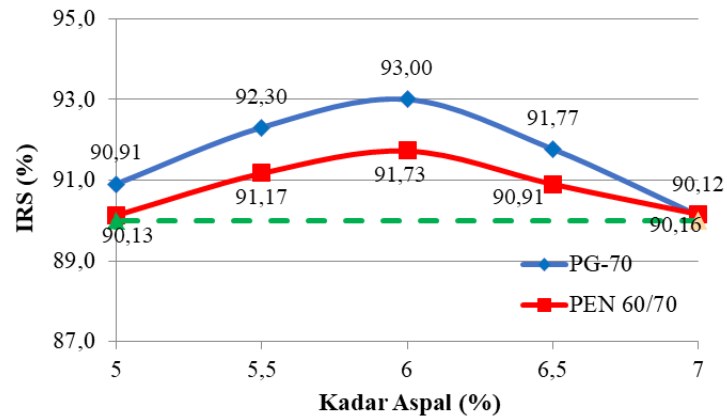


**Gambar 5. 16 Grafik Kelelahan Untuk Mencari KAO Dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Hasil pengujian terhadap nilai kelelahan (*flow*) menunjukkan bahwa peningkatan kadar aspal dalam campuran berbanding lurus dengan meningkatnya nilai kelelahan. Pada campuran *Superpave* yang menggunakan aspal PEN 60/70, diperoleh nilai kelelahan sebesar 3,90 mm, sedangkan campuran *Superpave* dengan aspal PG-70 menunjukkan nilai kelelahan yang lebih rendah yaitu 3,64 mm. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa penggunaan aspal PG-70 menghasilkan campuran dengan deformasi plastis yang lebih kecil dibandingkan dengan aspal PEN 60/70. Hal tersebut dapat dijelaskan karena aspal PG-70 memiliki karakteristik penetrasi dan kekakuan yang lebih tinggi, sehingga mampu meningkatkan stabilitas campuran serta menahan pergerakan plastis akibat beban lalu lintas. Temuan ini konsisten dengan penelitian Purnama dkk. (2021), yang melaporkan bahwa nilai kelelahan pada campuran dengan aspal PG-76 lebih rendah yaitu 3,263 mm dibandingkan campuran dengan aspal PEN 60/70 sebesar 3,505 mm. Menurut peneliti tersebut, aspal modifikasi cenderung lebih kaku dan memiliki ketahanan deformasi yang lebih baik dibandingkan aspal *Marshall*. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian Lusyana dkk. (2022) juga memperlihatkan pola yang sama, dimana nilai kelelahan campuran AC-WC dengan aspal PG-70 sebesar 2,78 mm, lebih rendah dibandingkan campuran AC-WC dengan aspal PEN 60/70 sebesar 3,03mm.

2. Analisis dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Sisa (Perendaman *Waterbath* 24 Jam) Mencari Nilai KAO
  - a. *Index Retained Strength* (IRS)

Hasil pengujian stabilitas sisa dan perhitungan IRS mencari KAO dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut



**Gambar 5. 17 Grafik IRS Untuk Mencari KAO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Berdasarkan hasil pengujian *Index of Retained Strength* (IRS), diketahui bahwa peningkatan kadar aspal pada campuran berbanding lurus dengan kenaikan nilai IRS hingga mencapai titik tertentu. Namun, setelah melewati kadar aspal optimum, nilai IRS justru mengalami penurunan. Fenomena ini terjadi karena jumlah aspal yang berlebihan menyebabkan berkurangnya kualitas ikatan antara aspal dan agregat. Pada kondisi tersebut, aspal cenderung menutupi pori-pori agregat secara berlebihan, sehingga rongga dalam campuran menjadi minim. Akibatnya, partikel agregat tidak dapat mengunci satu sama lain secara efektif saat menerima beban. Selain itu, kelebihan aspal juga meningkatkan risiko terjadinya *bleeding*, yaitu kondisi di mana aspal naik ke permukaan lapisan perkerasan akibat kandungan aspal yang terlalu tinggi dalam campuran. Dengan demikian, meskipun penambahan kadar aspal dapat meningkatkan kekuatan ikatan pada awalnya, kelebihan aspal justru berdampak negatif terhadap stabilitas dan kinerja perkerasan.

Hasil penelitian didapatkan nilai IRS campuran *Superpave* dengan bahan ikat aspal PEN 60/70 terendah 90,13% pada kadar aspal 5%, dan tertinggi 91,73% pada kadar aspal 6%, sedangkan dengan aspal PG-70 didapatkan nilai IRS terendah 90,12 pada kadar aspal 7% dan tertinggi 93,00% pada kadar aspal 6%. Pola dari nilai IRS sendiri menyerupai dengan pola Stabilitas dimana naik dan turun jika aspal sudah optimum. IRS campuran *Superpave* menggunakan aspal PG-70 lebih tinggi daripada aspal PEN 60/70 dikarenakan aspal modifikasi sendiri dirancang

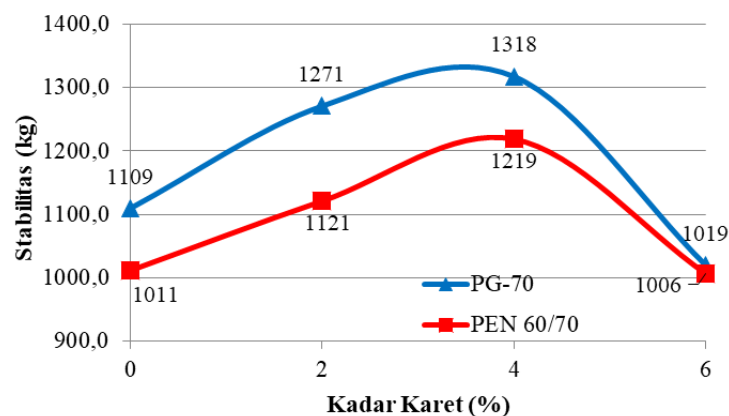
untuk tahan terhadap suhu tinggi. Hal ini sesuai dengan pengujian Rahman dkk (2024) dimana IRS aspal PG-70 dengan substitusi *flyash* 0% lebih rendah yaitu 91,45% daripada campuran menggunakan aspal PEN 60/70 substitusi *flyash* 0% sebesar 92%.

### 5.2.6 Karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *CL* untuk Mencari Kadar Karet Optimum (KKO) dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70

Serelah mendapatkan Kadar Aspal Optimum dari hasil analisis dan perhitungan pengujian *Marshall* dan *IRS* dilakukan pembuatan beton aspal yang menggunakan variasi penambahan serbuk ban karet untuk mencari Kadar Karet Optimum (KKO) . Pada penelitian ini nilai KKO sendiri diperhitungkan dari beberapa jenis pengujian antara lain *Marshall*, *IRS*, *ITS* *TSR*, dan *CL*.

1. Analisis dan Pembahasan Pengujian *Marshall* Mencari Nilai KKO
  - a. Stabilitas

Hasil pengujian Stabilitas mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut



**Gambar 5. 18 Grafik Stabilitas Untuk Mencari KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

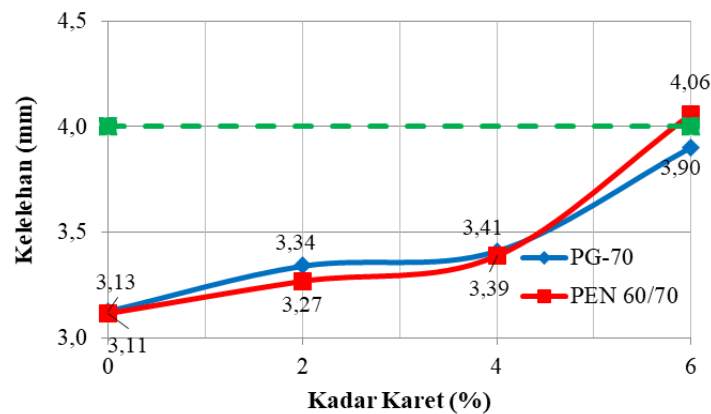
Berdasarkan hasil pengujian, diperoleh bahwa penambahan kadar serbuk ban karet dalam campuran aspal cenderung meningkatkan nilai stabilitas pada kadar tertentu. Namun, ketika kadar serbuk ban karet mencapai 6%, nilai stabilitas justru mengalami penurunan. Pada kadar serbuk ban karet yang rendah serbuk ban karet membantu sifat mekanik campuran sehingga meningkatkan kekakuan campuran. Akan tetapi, pada kadar yang berlebihan, partikel karet cenderung mengganggu mekanisme penguncian (*interlocking*) alami antara agregat dan matriks aspal. Selain itu, sifat elastis karet yang lebih tinggi dibandingkan aspal *Marshall* dapat menyebabkan distribusi tegangan yang

tidak merata ketika campuran menerima beban lalu lintas. Akibatnya, kinerja stabilitas campuran menurun pada titik tertentu meskipun kadar karet bertambah.

Pada penelitian ini didapatkan Nilai Stabilitas campuran *Superpave* menggunakan bahan ikat PEN 60/70 paling kecil 1006 kg pada penambahan serbuk ban karet 6% dan tertinggi pada kadar karet 4% sebesar 1219 kg, sedangkan stabilitas menggunakan bahan ikat PG-70 paling kecil 1019 kg pada penambahan serbuk ban karet 6% dan tertinggi pada kadar karet 4% sebesar 1318 kg.

b. Kelelahan atau *flow*

Hasil pengujian kelelahan / *flow* untuk mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut



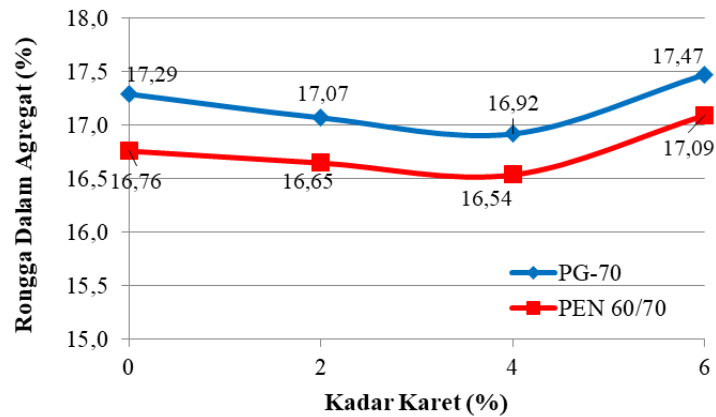
**Gambar 5. 19 Grafik Kelelahan untuk Mencari KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Flow* atau kelelahan merupakan parameter penting yang menunjukkan deformasi plastis pada campuran beton aspal akibat beban lalu lintas. Dalam penelitian ini, pengujian flow dilakukan dengan menambahkan serbuk ban karet sebagai bahan modifikasi yang diharapkan dapat meningkatkan kinerja mekanis campuran. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran dengan bahan ikat Aspal PEN 60/70 pada kadar variasi 6% menghasilkan nilai *flow* sebesar 4,06 mm, yang telah melampaui batas maksimum standar yaitu 4 mm. Sementara itu, pada campuran dengan bahan ikat Aspal PG-70, nilai flow pada kadar variasi 6% mengalami peningkatan yang cukup signifikan dibandingkan kadar 4%, yaitu dari 3,41 mm menjadi 3,90 mm. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa pada kadar

6%, campuran cenderung kehilangan sifat viskoelastis (*viscous*) optimalnya, sehingga deformasi plastis yang terjadi menjadi lebih besar.

c. *Void Mineral Aggregate (VMA)*

Hasil pengujian VMA mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut



**Gambar 5. 20 Grafik VMA Untuk Mencari Nilai KKO Dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Void in Mineral Aggregate (VMA)* secara teoritis merupakan volume rongga di antara butiran agregat dalam campuran beraspal yang mencakup ruang berisi aspal efektif dan rongga udara, sehingga nilai VMA mencerminkan besarnya ruang antar partikel agregat yang dapat diisi oleh aspal. Semakin tinggi nilai VMA, maka semakin tebal lapisan aspal yang melapisi permukaan agregat sehingga meningkatkan fleksibilitas dan daya ikat campuran, meskipun jika terlalu tinggi dapat menurunkan stabilitas karena ikatan antar agregat menjadi lebih lemah.

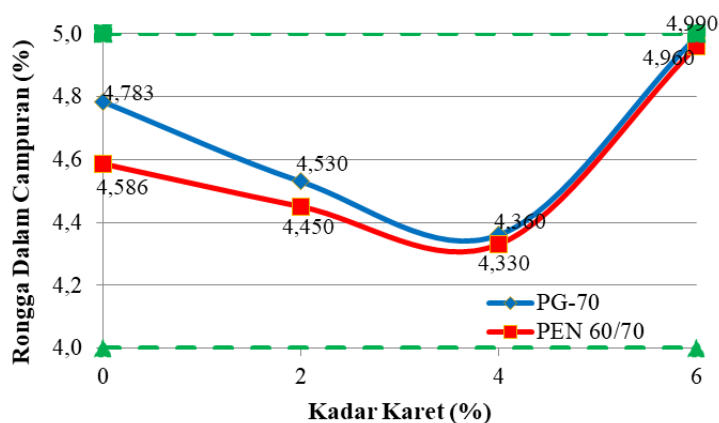
Penambahan serbuk ban karet mempengaruhi nilai VMA di mana semakin bertambah kadar karet semakin rendah nilai VMA akan tetapi jika terlalu banyak semakin tinggi nilai VMA. Pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat aspal PEN 60/70 nilai VMA terendah sebesar 16,54 % pada kadar karet 4% dan tertinggi sebesar 17,09 % pada kadar karet 6%. Selain itu dengan menggunakan bahan ikat aspal PG-70 nilai VMA terendah sebesar 16,92 % pada kadar karet 4% dan tertinggi sebesar 17,47 % pada kadar karet 6%. Karet memiliki sifat elastis yang cenderung mengembang ketika menyerap minyak aromatik dari aspal yang menyebabkan karet menjadi pengganjal tambahan diantara agregat sehingga menaikkan nilai VMA. Namun pada kadar yang optimum nilai VMA bisa menurun dikarenakan

aspal menjadi *overfilling effect* dimana rongga antar agregat terisi penuh oleh karet dan menyebabkan susunan agregat menjadi lebih padat.

Penelitian yang dilakukan oleh Iqbal dkk. (2024) menunjukkan bahwa nilai *Void in Mineral Aggregate* (VMA) mengalami penurunan pada penambahan serbuk karet sebesar 2% baik melalui metode pencampuran bertahap maupun *Marshall*. Namun, pada penambahan serbuk karet sebesar 4% terjadi peningkatan nilai VMA. Temuan ini mengindikasikan bahwa komposisi serbuk karet berpengaruh langsung terhadap struktur rongga antar-agregat dalam campuran beraspal. Selain itu, hasil penelitian tersebut juga memperlihatkan bahwa campuran dengan aspal PG-70 menghasilkan nilai VMA yang lebih tinggi dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal PEN 60/70. Hal ini konsisten dengan temuan Rahman dkk. (2024), di mana nilai VMA pada campuran menggunakan aspal PG-70 tercatat sebesar 17,52%, sedangkan pada aspal PEN 60/70 sebesar 17,48%. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa baik variasi kadar serbuk karet maupun jenis aspal yang digunakan berperan signifikan dalam menentukan besarnya nilai VMA, yang pada akhirnya akan memengaruhi kinerja struktural dan durabilitas campuran beraspal.

d. *Void In The Mix* (VITM)

Hasil pengujian VITM mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut



**Gambar 5. 21 Grafik VITM untuk Mencari Nilai KKO Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

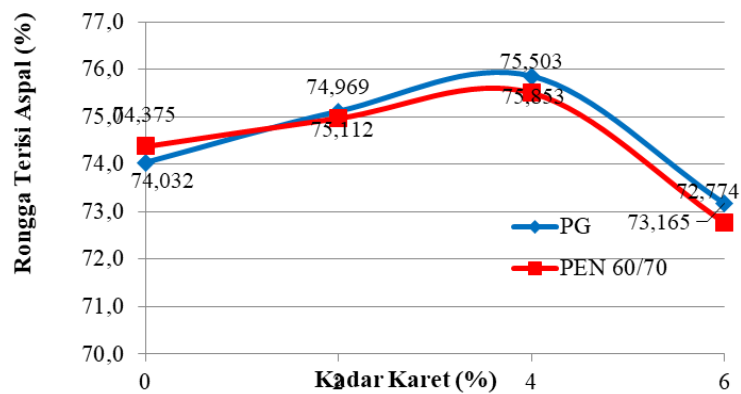
*Void in Total Mix* (VITM) merupakan persentase rongga udara total yang terdapat pada campuran beton aspal setelah dipadatkan. Hasil penelitian

menunjukkan bahwa peningkatan kadar serbuk ban karet pada campuran *Superpave* cenderung menurunkan nilai VITM hingga titik tertentu, sebelum akhirnya kembali mengalami kenaikan ketika kadar serbuk ban karet ditambahkan secara berlebihan. Pada campuran dengan aspal PEN 60/70, nilai VITM terendah tercatat pada kadar serbuk ban karet 4% sebesar 4,33%, sedangkan nilai tertinggi terdapat pada kadar 6% sebesar 4,96%. Sementara itu, pada campuran dengan aspal PG-70, nilai VITM terendah diperoleh pada kadar serbuk ban karet 4% sebesar 4,36%, dan tertinggi pada kadar 6% sebesar 4,99%. Pola ini sejalan dengan fenomena pada VMA, di mana serbuk ban karet berperan sebagai pengisi rongga dalam campuran. Pada kadar rendah, serbuk karet mampu mengisi celah antar-agregat sehingga mengurangi rongga udara atau menurunkan VITM. Namun, pada kadar tinggi, partikel karet yang semakin banyak justru mengganggu kepadatan susunan agregat dan menyebabkan rongga udara meningkat kembali.

Penelitian yang dilakukan oleh Al-Salih dkk. (2020) menunjukkan bahwa penambahan *Crumb Rubber* (CR) pada campuran aspal memberikan pengaruh yang fluktuatif terhadap nilai *Air Void*. Pada kadar CR 3%, nilai *Air Void* mengalami penurunan, kemudian meningkat kembali pada kadar CR 6%, dan selanjutnya menurun kembali ketika kadar CR mencapai 9%. Sementara itu, hasil penelitian Dina dkk. (2019) menemukan bahwa peningkatan kadar parutan karet ban cenderung meningkatkan nilai *Void in Total Mix* (VITM), dengan nilai tertinggi sebesar 19,59% pada kadar karet 5%. Fenomena ini dapat dijelaskan karena karet yang digunakan berupa parutan ban bekas dengan bentuk yang tidak seragam dan tidak berbentuk butiran halus, sehingga distribusi agregat dalam campuran menjadi kurang padat dan menyebabkan terbentuknya rongga yang lebih besar. Hal ini menegaskan bahwa bentuk dan ukuran partikel karet memiliki pengaruh signifikan terhadap karakteristik volumetrik campuran beraspal, khususnya terhadap nilai *Air Void* dan VITM.

#### *e. Void Filled With Asphalt*

Hasil pengujian VFWA mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut



**Gambar 5. 22 Grafik VFWA Untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Void Filled with Asphalt* (VFWA) secara teoritis didefinisikan sebagai persentase rongga dalam agregat yang terisi oleh aspal efektif. Nilai VFWA berperan penting dalam menunjukkan kemampuan aspal untuk mengisi ruang antar agregat dan menentukan ketahanan campuran terhadap deformasi maupun keretakan. Berdasarkan hasil penelitian pada grafik, nilai VFWA untuk campuran *Superpave* baik dengan aspal PEN 60/70 maupun PG-70 berada pada rentang 73–76%, yang masih sesuai dengan spesifikasi standar. Grafik menunjukkan bahwa tren VFWA mengalami peningkatan pada penambahan serbuk ban karet hingga 4%, kemudian menurun pada kadar karet 6%, yang menunjukkan adanya pengaruh signifikan dari variasi kadar karet terhadap karakteristik volumetrik campuran.

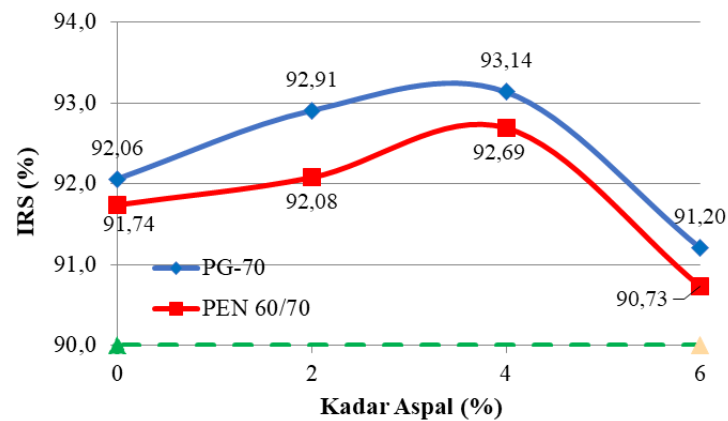
Peningkatan kadar serbuk ban karet hingga 4% menghasilkan kenaikan nilai VFWA, yaitu mencapai 75,503% pada aspal PG-70 dan 75,383% pada aspal PEN 60/70. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk ban karet berfungsi sebagai filler yang membantu mengisi rongga antar agregat, sehingga meningkatkan volume aspal yang dapat mengisi celah tersebut. Namun, pada kadar karet yang lebih tinggi (6%), nilai VFWA justru mengalami penurunan signifikan menjadi 73,165% untuk aspal PG-70 dan 73,774% untuk aspal PEN 60/70. Fenomena ini dapat dijelaskan karena kelebihan karet dalam campuran berpotensi mengganggu distribusi aspal efektif, menurunkan ikatan antara agregat dan aspal, serta menciptakan rongga tambahan yang tidak terisi sempurna, sehingga menurunkan nilai VFWA.

Secara umum, nilai VFWA campuran yang menggunakan aspal PG-70 cenderung lebih tinggi dibandingkan dengan campuran menggunakan aspal PEN

60/70 pada kadar karet yang sama. Perbedaan ini dapat dijelaskan melalui sifat rheologi aspal PG-70 yang memiliki viskositas lebih tinggi dan ketahanan deformasi yang lebih baik, sehingga mampu melapisi agregat dengan lebih merata dan meningkatkan proporsi rongga yang terisi aspal. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rahman dkk. (2024) yang menyatakan bahwa aspal modifikasi, termasuk PG-70, memiliki kinerja volumetrik yang lebih baik dalam hal pengisian rongga agregat dibandingkan aspal *Marshall* PEN 60/70.

f. *Index Retained Strength* (IRS)

Hasil pengujian stabilitas sisa dan perhitungan IRS mencari KKO dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut



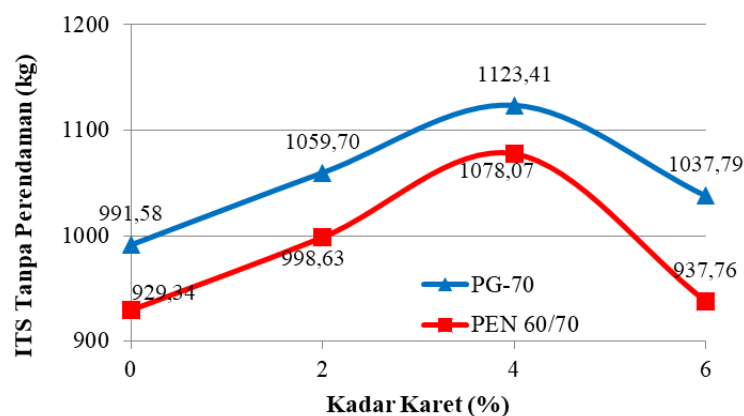
**Gambar 5. 23 Grafik IRS Untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Index Retained Strength* (IRS) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai ketahanan campuran beraspal terhadap kerusakan akibat pengaruh air (*moisture damage*). IRS dihitung dari perbandingan antara kekuatan campuran setelah perendaman dengan kekuatan campuran dalam kondisi kering. Semakin tinggi nilai IRS, semakin baik ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air. Berdasarkan grafik, nilai IRS campuran *Superpave* dengan aspal PEN 60/70 dan PG-70 berkisar antara 91–93%, yang menunjukkan bahwa kedua campuran memiliki ketahanan yang baik karena masih berada di atas nilai minimum standar IRS yaitu 90%. Tren hasil penelitian memperlihatkan adanya peningkatan IRS hingga kadar karet 4%, namun menurun kembali ketika kadar karet mencapai 6%.

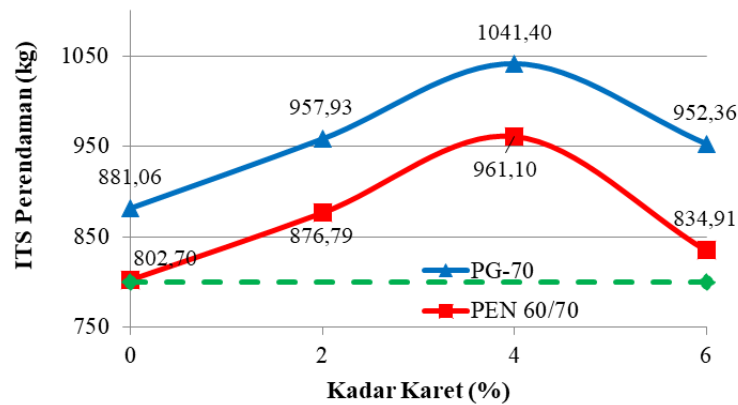
Peningkatan kadar serbuk ban karet hingga 4% terbukti memberikan pengaruh positif terhadap nilai IRS. Pada campuran aspal PG-70, IRS meningkat

dari 92,06% pada kadar 0% menjadi 93,14% pada kadar 4%, sementara pada aspal PEN 60/70 meningkat dari 91,74% menjadi 92,69% pada kadar yang sama. Hal ini menunjukkan bahwa serbuk ban karet mampu meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat sehingga lebih tahan terhadap pengaruh air. Namun, ketika kadar serbuk ban karet dinaikkan hingga 6%, nilai IRS justru menurun signifikan menjadi 91,20% untuk PG-70 dan 90,73% untuk PEN 60/70. Penurunan ini disebabkan oleh kelebihan karet yang mengganggu ikatan aspal dengan agregat, menurunkan ikatan mekanis, serta menciptakan rongga yang lebih rentan terhadap kerusakan akibat kelembaban. Temuan ini mengindikasikan bahwa ada batas optimum dalam penggunaan serbuk ban karet, dimana pada kadar rendah karet berperan sebagai filler yang memperkuat ikatan antar partikel, namun pada kadar berlebih justru menyebabkan efek sebaliknya. Oleh karena itu, pemilihan kadar serbuk karet yang tepat sangat penting agar campuran aspal tidak hanya memiliki kekuatan tarik tidak langsung yang tinggi, tetapi juga ketahanan yang baik terhadap kerusakan akibat air dan siklus pembebanan lalu lintas. ITS 0 Jam dan ITS 24 Jam

Hasil pengujian ITS tanpa perendaman dan ITS perendaman 24 jam untuk mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.24 dan Gambar 5.25 berikut



**Gambar 5. 24 Grafik ITS Tanpa Perendaman untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**



**Gambar 5. 25 Grafik ITS Perendaman 24 Jam untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

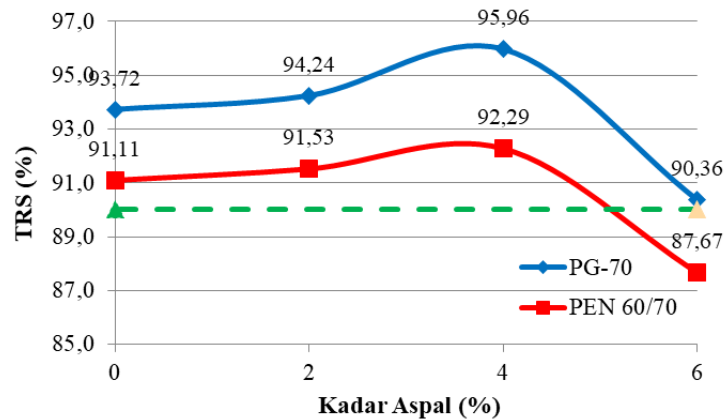
*Indirect Tensile Strength* (ITS) merupakan parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kekuatan tarik tidak langsung pada campuran beraspal. ITS tanpa perendaman menggambarkan kekuatan awal campuran dalam kondisi kering, sedangkan ITS dengan perendaman menunjukkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air (*moisture damage*). Berdasarkan hasil penelitian pada grafik, nilai ITS tanpa perendaman menunjukkan peningkatan seiring dengan penambahan karet hingga kadar 4%, yaitu mencapai 1123,41 kg pada aspal PG dan 1078,07 kg pada aspal PEN 60/70, kemudian menurun pada kadar 6%. Pola serupa terlihat pada ITS dengan perendaman, di mana nilai tertinggi juga terjadi pada kadar 4%, yaitu 1041,40 kg untuk aspal PG dan 961,10 kg untuk aspal PEN 60/70, lalu kembali menurun pada kadar 6%. Hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan penambahan karet dalam jumlah optimum dapat meningkatkan daya tahan campuran baik dalam kondisi kering maupun basah.

Kadar serbuk ban karet berpengaruh signifikan terhadap nilai ITS. Pada kadar rendah (2–4%), serbuk ban karet dapat mengisi rongga antar agregat sehingga memperkuat ikatan antara agregat dan aspal, menghasilkan ITS yang lebih tinggi. Namun, pada kadar berlebih (6%), nilai ITS justru menurun karena kelebihan karet dapat menyebabkan terganggunya interlocking antar agregat dan berkurangnya ikatan aspal efektif. Kadar serbuk ban karet berpengaruh signifikan terhadap nilai ITS. Pada kadar rendah (2–4%), serbuk ban karet dapat mengisi rongga antar agregat sehingga memperkuat ikatan antara agregat dan aspal, menghasilkan ITS yang lebih tinggi. Namun, pada kadar berlebih (6%), nilai ITS justru menurun

karena kelebihan karet dapat menyebabkan terganggunya *interlocking* antar agregat dan berkurangnya ikatan aspal efektif.

g. *Tensile Strength Ratio* (TSR)

Hasil pengujian ITS tanpa perendaman dan ITS perendaman 24 jam yang di hitung sebagai nilai TSR untuk mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.26.

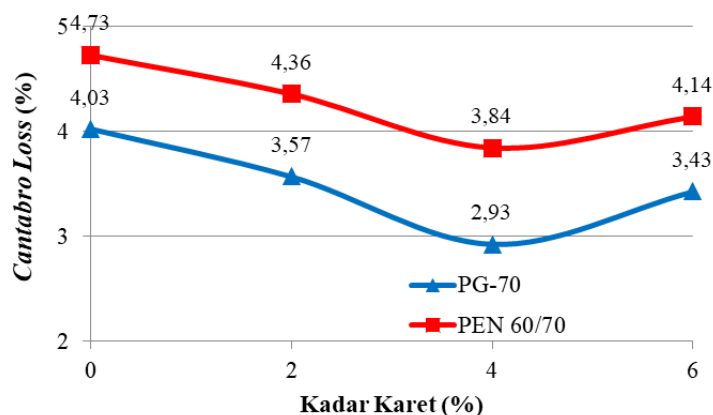


**Gambar 5. 26 Grafik TSR untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Hasil perbandingan antara ITS tanpa perendaman dan dengan perendaman dianalisis melalui nilai *Tensile Strength Ratio* (TSR). Berdasarkan grafik, nilai TSR tertinggi terjadi pada kadar karet 4%, yaitu 95,96% untuk aspal PG dan 92,29% untuk aspal PEN 60/70. Nilai ini menunjukkan bahwa campuran dengan aspal PG memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap kerusakan akibat air (*stripping*) dibandingkan aspal PEN 60/70. Secara umum, penambahan karet dalam kadar optimum mampu meningkatkan daya tahan campuran terhadap kelembaban sekaligus memperbaiki kekuatan tarik tidak langsung. Namun, pada kadar karet yang berlebih, nilai TSR menurun karena ikatan antara aspal dan agregat melemah. Hal ini menegaskan bahwa kadar karet optimum berada pada 4% untuk mencapai keseimbangan antara kekuatan dan ketahanan terhadap kelembaban.

h. Cantabro Loss

Hasil pengujian CL tanpa perendaman untuk mencari nilai KKO dapat dilihat pada Gambar 5.27.



**Gambar 5. 27 Grafik Cantabro Loss untuk Mencari Nilai KKO dengan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

*Cantabro Loss* (CL) merupakan parameter yang digunakan untuk menilai ketahanan campuran beraspal terhadap pelepasan butir (*raveling*) akibat gaya mekanis. Semakin kecil nilai CL, semakin baik daya ikat antara agregat dan aspal dalam campuran. Berdasarkan grafik, nilai CL pada kedua jenis aspal cenderung menurun seiring dengan peningkatan kadar karet hingga mencapai titik terendah pada kadar 4%, yaitu 2,93% untuk aspal PG dan 3,84% untuk aspal PEN 60/70, kemudian meningkat kembali pada kadar 6%. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan karet dalam kadar optimum mampu meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat pelepasan butir.

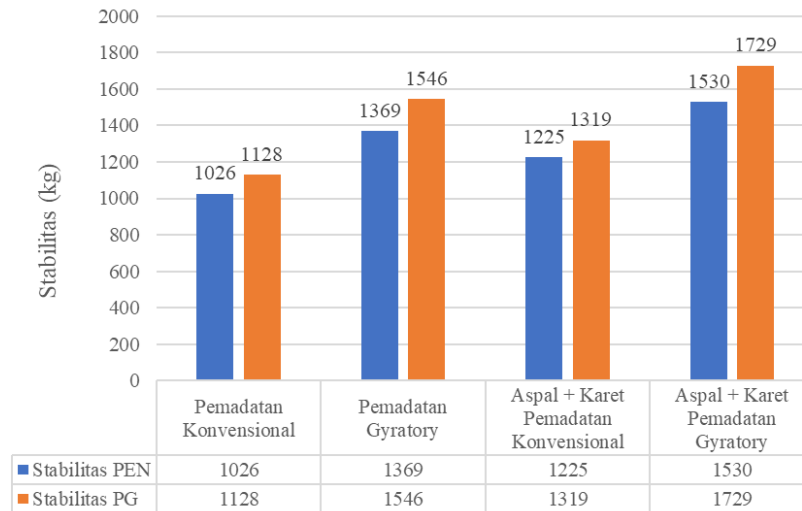
Kadar karet memiliki pengaruh langsung terhadap besarnya *Cantabro Loss*. Pada kadar rendah (0–4%), penambahan karet mampu mengurangi nilai CL karena serbuk karet berfungsi sebagai filler elastis yang memperkuat ikatan antara aspal dan agregat, sehingga campuran menjadi lebih stabil dan tidak mudah mengalami *raveling*. Namun, pada kadar tinggi (6%), nilai CL kembali meningkat. Hal ini disebabkan oleh kelebihan serbuk karet yang dapat menurunkan kohesi antar partikel agregat dan mengurangi aspal efektif yang berfungsi sebagai perekat, sehingga daya tahan campuran terhadap pelepasan butir menurun. Nilai CL pada campuran dengan aspal PG lebih rendah dibandingkan dengan aspal PEN 60/70 pada setiap kadar karet. Hal ini menunjukkan bahwa aspal PG memiliki kemampuan adhesi dan elastisitas yang lebih baik, sehingga ikatan antara agregat dan aspal lebih kuat dan tahan terhadap gaya mekanis.

### 5.3. Pembahasan

#### 5.3.1. Karakteristik *Marshall*, dan IRS dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 Pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

##### a. Stabilitas

Hasil pengujian stabilitas pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.28 berikut.



**Gambar 5. 28 Grafik Stabilitas dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* Pada Tiap Jenis Aspal**

Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* memiliki perbedaan prinsip dalam menghasilkan kepadatan campuran beraspal. Pemadatan *Marshall* menggunakan tumbukan standar yang relatif terbatas dalam menghasilkan kepadatan, sedangkan pemadatan *Gyratory* mensimulasikan kondisi lalu lintas sebenarnya dengan memberikan tekanan sekaligus gerakan rotasi sehingga mampu menghasilkan kepadatan yang lebih tinggi dan distribusi partikel yang lebih merata.

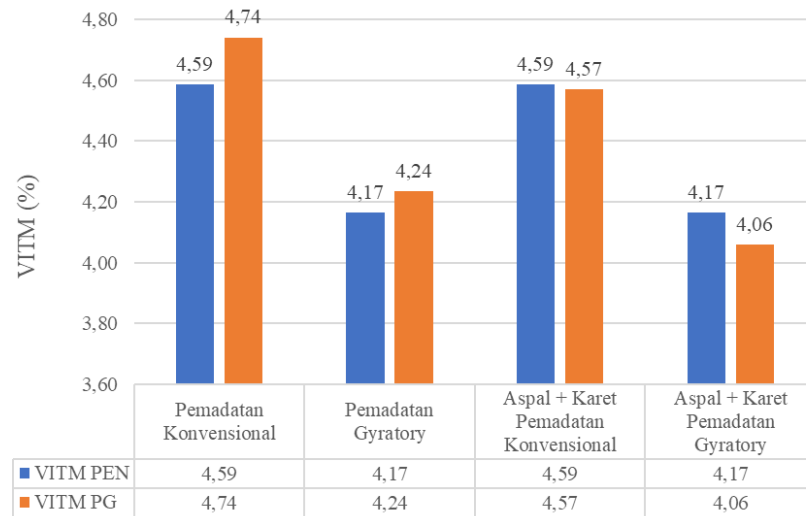
Hasil penelitian menunjukkan bahwa stabilitas campuran dengan aspal PG selalu lebih tinggi dibandingkan aspal PEN, baik pada pemadatan *Marshall* maupun *Gyratory*. Pada pemadatan *Marshall*, stabilitas campuran aspal PG mencapai 1128 kg sedangkan aspal PEN hanya 1026 kg. Peningkatan yang lebih signifikan terjadi pada pemadatan *Gyratory*, yaitu 1546 kg untuk aspal PG dan 1369 kg untuk aspal PEN. Selain itu, penambahan karet juga terbukti meningkatkan stabilitas campuran. Pada metode *Marshall*, stabilitas aspal + karet mencapai 1319 kg pada aspal PG-70 dan 1225 kg pada aspal PEN, sedangkan dengan pemadatan *Gyratory* stabilitas

meningkat lebih tinggi menjadi 1729 kg pada aspal PG-70 dan 1530 kg pada aspal PEN 60/70. Hasil ini menegaskan bahwa kombinasi penggunaan aspal PG, penambahan karet, dan pemadatan *Gyratory* memberikan kinerja paling optimal terhadap stabilitas campuran beraspal. Peningkatan stabilitas ini terjadi karena aspal PG memiliki viskositas dan kekakuan yang lebih tinggi sehingga mampu mempertahankan bentuk campuran di bawah beban lalu lintas, sementara serbuk ban karet berfungsi sebagai penguat tambahan yang meningkatkan daya lekat antara agregat dan binder. Di sisi lain, metode *Gyratory* menghasilkan distribusi agregat yang lebih rapat dan ikatan mekanis yang lebih baik dibandingkan pemadatan *Marshall*, sehingga campuran tidak hanya lebih stabil tetapi juga lebih tahan terhadap deformasi permanen seperti rutting. Dengan demikian, kombinasi ketiga faktor tersebut menciptakan campuran beraspal dengan performa struktural dan durabilitas yang lebih unggul.

Penelitian Leonardo dkk (2017) mendapatkan hasil *resilient modulus* pada campuran *Superpave* 100 mm dengan pemadatan *Gyratory* sebanyak 100 girasi dan 150 mm dengan 100 girasi lebih besar dari pada sampel dengan penumbukkan *Marshall* sebanyak 75 tumbukkan. Nilai *resilient modulus* pada pemadatan mold ukuran 100 mm dengan 100 girasi sekitar 6200 Mpa, pemadatan mold ukuran 150 mm dengan 100 girasi sekitar 7500 MPa, dan pemadatan *Marshall* sekitar 5800 MPa. Nilai *resilient modulus* menggambarkan kekakuan dari campuran akibat pembebanan berulang, semakin tinggi nilai *resilient modulus* maka semakin kaku dan stabil yang dimana menandakan semakin besar juga nilai stabilitasnya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian dimana hasil stabilitas campuran dengan pemadatan *Gyratory* lebih tinggi dari pada pemadatan *Marshall*. Penelitian Sarsam dan Jumaah (2016) mendapatkan hasil stabilitas dengan pemadatan *Gyratory* pada kadar aspal yang sama 4,2%, 4,7%, dan 5,2 % memiliki nilai stabilitas yang lebih besar dari campuran dengan pemadatan *Marshall*, adapun nilainya secara berurutan kadar aspal sebesar 15,203 kN, 17,225 kN, 16,506 kN untuk pemadatan *Gyratory* dan untuk pemadatan *Marshall* sebesar 12,215 kN, 14,16 kN, dan 12,41 kN.

b. *Void In The Mix* (VITM)

Hasil pengujian VITM pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.29 berikut.



**Gambar 5. 29 Grafik VITM dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* Pada Tiap Jenis Aspal**

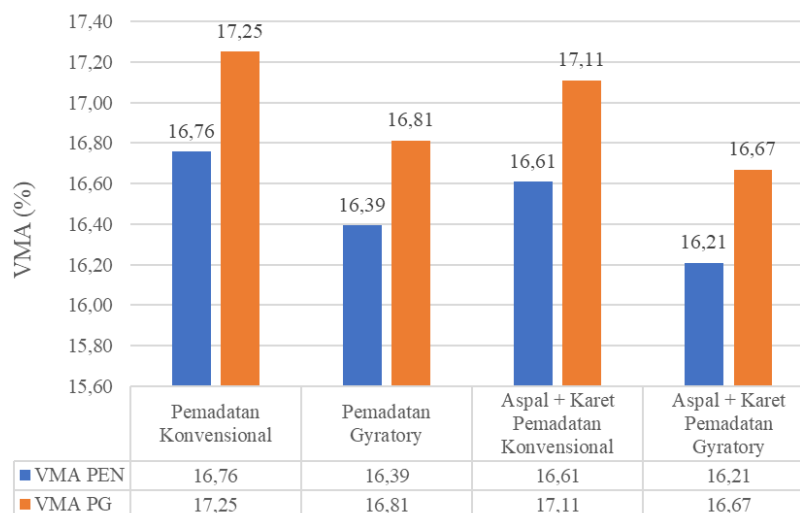
*Void in The Mix* (VITM) menggambarkan persentase rongga udara dalam campuran beraspal yang berpengaruh langsung terhadap durabilitas dan stabilitas perkerasan. Pemadatan *Marshall* menghasilkan nilai VITM yang lebih tinggi dibandingkan pemadatan *Gyratory*. Hal ini terjadi karena pemadatan *Gyratory* mampu mensimulasikan kondisi lalu lintas dengan tekanan dan gerakan rotasi, sehingga menghasilkan kepadatan yang lebih optimal dan mengurangi rongga udara dalam campuran.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa perbedaan jenis aspal (PG dan PEN) serta penambahan karet mempengaruhi nilai VITM. Pada pemadatan *Marshall* tanpa karet, aspal PG menunjukkan nilai VITM lebih tinggi (4,74%) dibandingkan aspal PEN (4,59%). Namun pada pemadatan *Gyratory*, perbedaan keduanya lebih kecil, yaitu 4,24% (PG) dan 4,17% (PEN). Dengan penambahan karet, nilai VITM pada pemadatan *Marshall* relatif sama, yaitu 4,57% (PG) dan 4,59% (PEN). Sebaliknya, pada pemadatan *Gyratory* terjadi penurunan signifikan dengan nilai 4,06% (PG) dan 4,17% (PEN). Hal ini menunjukkan bahwa kombinasi pemadatan *Gyratory* dengan aspal PG dan penambahan karet mampu menekan rongga udara paling rendah, sehingga menghasilkan kepadatan campuran terbaik untuk ketahanan jangka panjang.

Penelitian yang dilakukan oleh Lokesh dkk. (2014) menunjukkan bahwa nilai *Void in Total Mix* (VITM) pada pemadatan *Marshall* lebih tinggi dibandingkan dengan pemadatan *Gyratory* pada kadar aspal yang sama. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa pemadatan *Gyratory* mampu menghasilkan campuran yang lebih rapat dan padat, sehingga berpotensi meningkatkan stabilitas serta ketahanan campuran terhadap beban lalu lintas. Penelitian yang dilakukan oleh Calberg dkk. (2004) menunjukkan bahwa nilai *average air content* pada campuran yang dipadatkan dengan metode *gyratory* lebih rendah dibandingkan dengan metode *Marshall*, baik pada variasi T45, T65, maupun T85. Hasil serupa juga diperoleh dari penelitian Leonardo dkk. (2017), di mana *air void* pada campuran *Superpave* dengan cetakan berdiameter 100 mm menggunakan 100 girasi serta cetakan 150 mm dengan 100 girasi lebih kecil dibandingkan *air void* pada sampel yang dipadatkan menggunakan metode *Marshall* dengan 75 tumbukan. Temuan ini menegaskan bahwa pemadatan *gyratory* mampu menghasilkan campuran dengan kepadatan dan kestabilan volumetrik yang lebih baik, sehingga lebih representatif dalam menggambarkan kondisi pemadatan di lapangan.

c. *Void Minerale Aggregate* (VMA)

Hasil pengujian VMA pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.30 berikut.

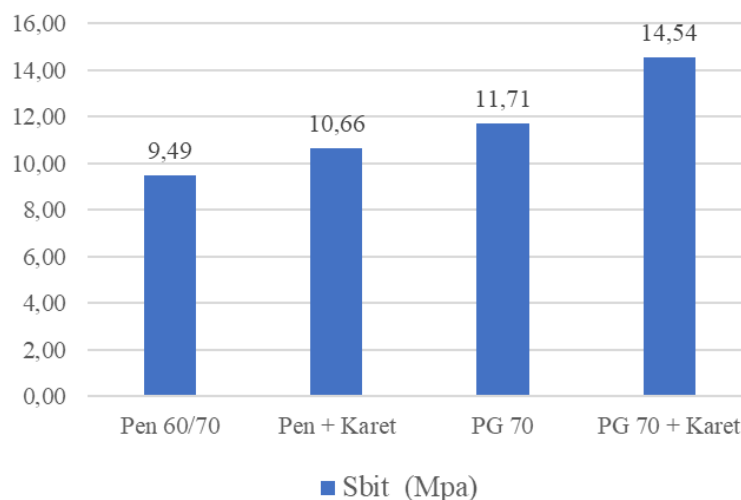


**Gambar 5. 30 Grafik VMA dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* Pada Tiap Jenis Aspal**

*Void in Mineral Aggregate* (VMA) adalah volume rongga antara partikel agregat yang terisi oleh aspal dan rongga udara, sehingga menjadi indikator penting dalam menilai kemampuan campuran menerima kadar aspal optimum. Dari grafik terlihat bahwa pemadatan *Marshall* menghasilkan nilai VMA yang lebih tinggi dibandingkan pemadatan *Gyratory*, baik pada aspal PG maupun PEN. Hasil penelitian juga memperlihatkan bahwa jenis aspal dan penambahan karet memengaruhi nilai VMA. Pada pemadatan *Marshall*, aspal PG selalu menghasilkan nilai VMA lebih tinggi dibandingkan aspal PEN, yaitu 17,25% berbanding 16,76% tanpa karet, dan 17,11% berbanding 16,61% dengan karet. Hal yang sama terjadi pada pemadatan *Gyratory*, di mana nilai VMA aspal PG tetap lebih tinggi (16,81% dan 16,67%) dibandingkan aspal PEN (16,39% dan 16,21%). Penambahan karet cenderung sedikit menurunkan VMA pada kedua jenis aspal, baik dengan pemadatan *Marshall* maupun *Gyratory*, karena elastisitas karet membantu pengisian rongga antar agregat. Dengan demikian, kombinasi pemilihan jenis aspal dan metode pemadatan memberikan pengaruh signifikan terhadap besarnya VMA dalam campuran beraspal.

Penelitian Calberg dkk (2004) menjelaskan bahwa hasil Pemadatan *Superpave Gyratory Compactor* (SGC) lebih rendah dari pada pemadatan *Marshall* yang ditunjukkan pada tren tiga campuran uji dan penurunan nilai VMA ini dapat mengurangi keretakan. Selain itu penelitian Sarsam dan Jumrah (2016) mendapatkan hasil nilai VMA dengan pemadatan *Gyratory* pada kadar aspal yang sama 4,2 %, 4,7 %, dan 5,2 % memiliki nilai VMA yang lebih besar dari campuran dengan pemadatan *Marshall*, adapun nilainya secara berurutan kadar aspal sebesar 16,139 % 15,093 %, 14,964 % untuk pemadatan *Gyratory* dan untuk pemadatan *Marshall* sebesar 14,181 %, 14,00 %, dan 13,923 %.

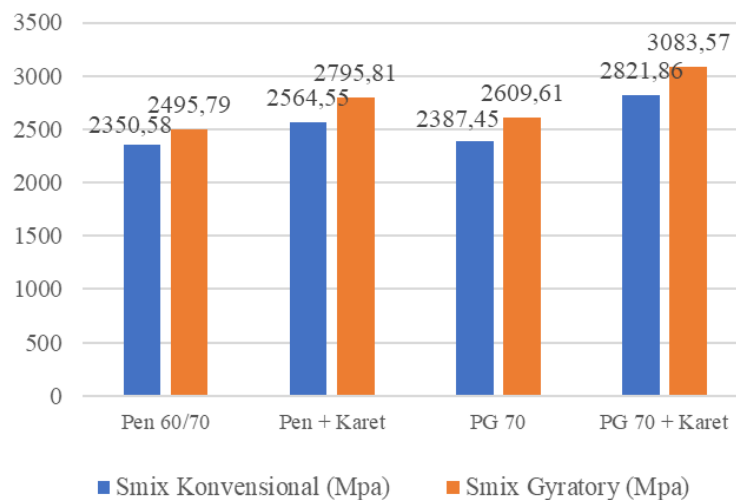
Dari nilai VMA dan nilai penetrasi aspal serta titik lembeknya, dapat dilakukan perhitungan kekakuan bitumen (*Sbit*) dan kekakuan campuran (*Smix*). Adapun hasil kekakuan dapat dilihat pada Gambar 5.31 dan Gambar 5.32



**Gambar 5. 31 Grafik Perhitungan Nilai Kekakuan Bitumen (*Sbit*)**

Grafik pada Gambar 5.31 menunjukkan nilai kekakuan bitumen (*Sbit*) dari berbagai jenis aspal. Aspal PEN 60/70 memiliki nilai *Sbit* sebesar 9,49 MPa, kemudian meningkat menjadi 10,66 MPa ketika ditambahkan serbuk karet. Pada aspal PG-70, nilai *Sbit* lebih tinggi yaitu 11,71 MPa, dan kembali mengalami peningkatan signifikan hingga 14,54 MPa setelah ditambahkan karet. Hasil ini memperlihatkan bahwa penambahan serbuk karet konsisten meningkatkan kekakuan bitumen pada kedua jenis aspal.

Peningkatan nilai *Sbit* mengindikasikan bahwa bitumen menjadi lebih kaku dan stabil terhadap beban lalu lintas, yang berpotensi memperbaiki ketahanan deformasi plastis pada campuran beraspal. Kekakuan yang lebih tinggi pada level bitumen akan memengaruhi nilai *Smix* (stiffness campuran aspal secara keseluruhan), karena bitumen berperan sebagai pengikat utama agregat. Dengan demikian, semakin besar nilai *Sbit*, maka *Smix* juga cenderung meningkat, yang berarti campuran aspal lebih mampu menahan beban lalu lintas berat dan mengurangi risiko deformasi permanen (*rutting*). Selain itu, peningkatan *Sbit* akibat modifikasi karet juga dapat dikaitkan dengan sifat elastomerik karet yang mampu memperkuat matriks bitumen dan mengurangi kepekaan terhadap perubahan suhu. Dengan karakteristik ini, aspal termodifikasi karet tidak hanya lebih resisten terhadap deformasi, tetapi juga lebih adaptif terhadap kondisi iklim ekstrem yang umum terjadi di daerah tropis seperti Indonesia, sehingga berpotensi memperpanjang umur layan perkerasan jalan.



**Gambar 5. 32 Grafik Smix dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Tiap Jenis Aspal**

Grafik pada Gambar 5.32 menunjukkan nilai kekakuan campuran (*Smix*) dari berbagai jenis aspal dengan dua metode pemadatan. Pada pemadatan *Marshall*, nilai *Smix* aspal PEN 60/70 adalah 2350,58 MPa, meningkat menjadi 2564,55 MPa dengan penambahan karet. Aspal PG-70 memiliki nilai *Smix* sebesar 2387,45 MPa, dan meningkat signifikan menjadi 2821,86 MPa ketika ditambahkan karet. Sementara itu, hasil pemadatan *gyratory* memperlihatkan tren serupa dengan nilai *Smix* yang lebih tinggi, yaitu 2495,79 MPa untuk PEN 60/70, meningkat menjadi 2795,81 MPa dengan karet, 2609,61 MPa untuk PG-70, dan mencapai nilai tertinggi sebesar 3083,57 MPa untuk PG-70 dengan karet.

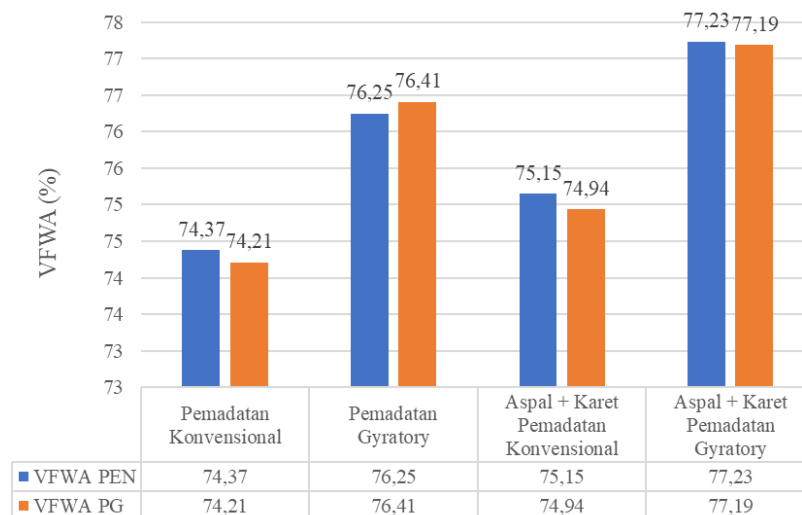
Perbandingan antara pemadatan *Marshall* dan *gyratory* memperlihatkan bahwa metode *gyratory* menghasilkan nilai *Smix* yang lebih tinggi pada semua jenis aspal. Hal ini terjadi karena pemadatan *gyratory* mampu memberikan gaya tekan dan geser yang lebih merata, sehingga menghasilkan kepadatan campuran yang lebih baik serta ikatan yang lebih kuat antara agregat dan aspal. Dengan demikian, metode *gyratory* lebih representatif dalam menggambarkan kondisi lapangan, terutama pada beban lalu lintas tinggi, karena mampu meningkatkan kekakuan campuran.

Penelitian yang dilakukan oleh Sarsam dan Jumah (2016) menunjukkan bahwa nilai *stiffness* pada campuran aspal yang dipadatkan dengan metode *Marshall* lebih rendah dibandingkan dengan campuran yang dipadatkan

menggunakan metode gyratory. Pada pemadatan *Marshall*, nilai *stiffness* untuk kadar aspal 4,2%, 4,7%, dan 5,2% masing-masing sebesar 3,847 kN/mm, 4,402 kN/mm, dan 3,665 kN/mm. Sementara itu, hasil pada pemadatan *gyratory* menunjukkan nilai yang lebih tinggi, yaitu 4,604 kN/mm, 4,913 kN/mm, dan 4,642 kN/mm. Perbedaan ini mengindikasikan bahwa metode *gyratory* mampu menghasilkan kepadatan campuran yang lebih optimal dan distribusi gaya yang lebih merata dibandingkan metode *Marshall*, sehingga menghasilkan kekakuan struktural campuran yang lebih baik serta lebih representatif terhadap kondisi lalu lintas di lapangan.

d. *Void Filled With Asphalt* (VFWA)

Hasil pengujian VFWA pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.33 berikut



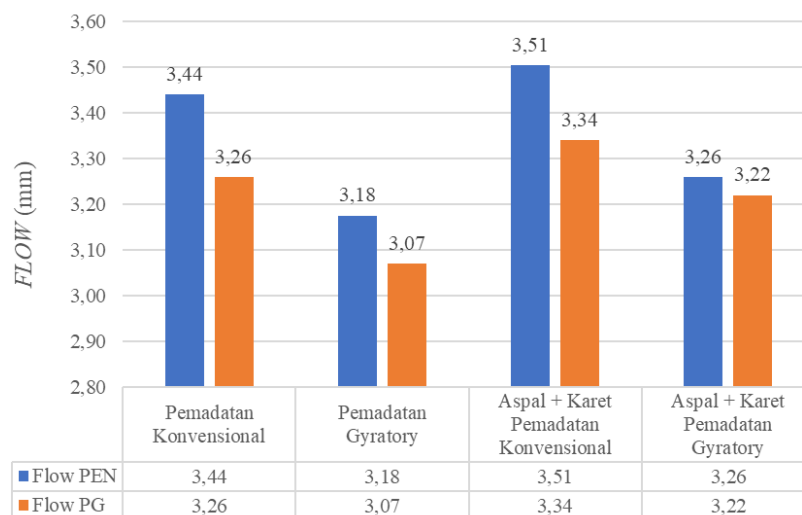
**Gambar 5. 33 Grafik VFWA dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Tiap Jenis Aspal**

*Void Filled with Asphalt* (VFWA) merupakan parameter yang menunjukkan persentase rongga antar agregat (VMA) yang terisi oleh aspal efektif. Dari grafik terlihat bahwa pemadatan *Gyratory* menghasilkan nilai VFWA lebih tinggi dibandingkan dengan pemadatan *Marshall*, baik pada aspal PEN maupun PG. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa jenis aspal dan penambahan karet memberikan variasi terhadap nilai VFWA. Pada pemadatan *Marshall*, nilai VFWA aspal PG cenderung sedikit lebih rendah dibandingkan aspal PEN sebesar 74,21% dan

74,37%, begitu juga setelah penambahan karet yaitu 74,94% pada aspal PG-70 lebih rendah dibandingkan 75,15% pada aspal PEN 60/70. Namun, tren berbeda terlihat pada pemadatan *Gyratory*, di mana aspal PG sedikit lebih tinggi dibandingkan aspal PEN, baik tanpa karet sebesar 76,41% dan 76,25% maupun dengan karet sebesar 77,19% dan 77,23%. Secara umum, penambahan karet meningkatkan nilai VFWA baik pada aspal PEN maupun PG, dengan hasil tertinggi diperoleh pada campuran aspal + karet dengan pemadatan *Gyratory*, yaitu 77,23% pada aspal PEN 60/70 dan 77,19% pada aspal PG. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan karet dan pemadatan *Gyratory* mampu meningkatkan efisiensi pengisian rongga oleh aspal sehingga campuran menjadi lebih rapat dan stabil. Sejalan dengan penelitian Calberg dkk (2004) dimana hasil *Voids Filled* pada pemadatan SGC lebih tinggi dari pada pemadatan *Marshall* pada tiap jenis pengujian. Pada pemadatan *gyratory* didapatkan VFWA sebesar 76,4% untuk T45, 74,6% untuk T65, dan 71,17 % untuk T85.

e. *Flow*

Hasil pengujian *Flow* pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.34 berikut



**Gambar 5. 34 Grafik *Flow* dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Tiap Jenis Aspal**

*Flow* menunjukkan besar deformasi plastis campuran aspal akibat pembebanan sampai titik kerusakan. Dari grafik terlihat bahwa metode pemadatan *Marshall* menghasilkan nilai flow yang lebih tinggi dibandingkan dengan

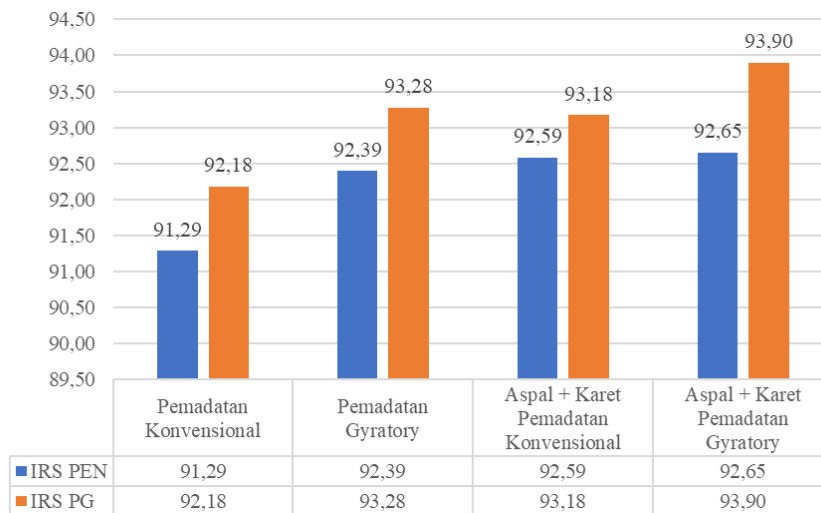
pemadatan *Gyratory*, baik pada aspal PEN maupun PG. Hal ini mengindikasikan bahwa pemadatan *Marshall* menghasilkan campuran yang lebih plastis dengan deformasi lebih besar, sedangkan pemadatan *Gyratory* memberikan campuran yang lebih kaku dan stabil dengan deformasi lebih kecil.

Hasil pengujian juga menunjukkan variasi nilai *flow* pada penggunaan jenis aspal yang berbeda serta penambahan karet. Pada pemadatan *Marshall*, campuran aspal PEN menunjukkan *flow* lebih tinggi baik tanpa karet sebesar 3,44 mm maupun dengan karet sebesar 3,51 mm dibandingkan dengan aspal PG sebesar 3,26 mm tanpa karet dan 3,34 mm dengan karet. Sementara itu, pada pemadatan *Gyratory*, tren serupa juga terjadi, di mana aspal PEN menghasilkan *flow* lebih tinggi dibanding aspal PG, baik tanpa karet sebesar 3,18 mm dan 3,07 mm maupun dengan karet sebesar 3,26 mm dan 3,22 mm. Secara keseluruhan, penambahan karet meningkatkan nilai *flow* pada kedua jenis aspal, dengan nilai tertinggi diperoleh pada aspal PEN dengan pemadatan *Marshall* yaitu 3,51 mm. Hal ini menunjukkan bahwa karet meningkatkan fleksibilitas campuran, namun pengaruh metode pemadatan tetap dominan dalam menentukan tingkat deformasi plastis campuran.

Pada penelitian Leonardo dkk (2017) mendapatkan hasil nilai *resilient modulus* campuran dengan pemadatan *Gyratory* pada ukuran mold 100 mm dan 150 mm dengan 100 putaran lebih tinggi dari pada pemadatan *Marshall*. *Flow* sendiri merupakan pengukuran dari deformasi plastis dalam satuan mm pada beban maksimum, semakin tinggi nilai *resilient modulus* maka semakin rendah nilai *flow* nya. Hal ini sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan dimana nilai *flow* pada campuran pemadatan *Gyratory* dengan jenis aspal yang berbeda dan penambahan serbuk ban karet menurunkan nilai *flow* dari pada campuran dengan pemadatan *Marshall*.

#### f. IRS

Hasil pengujian IRS pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.35 berikut



**Gambar 5. 35 Grafik IRS dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Tiap Jenis Aspal**

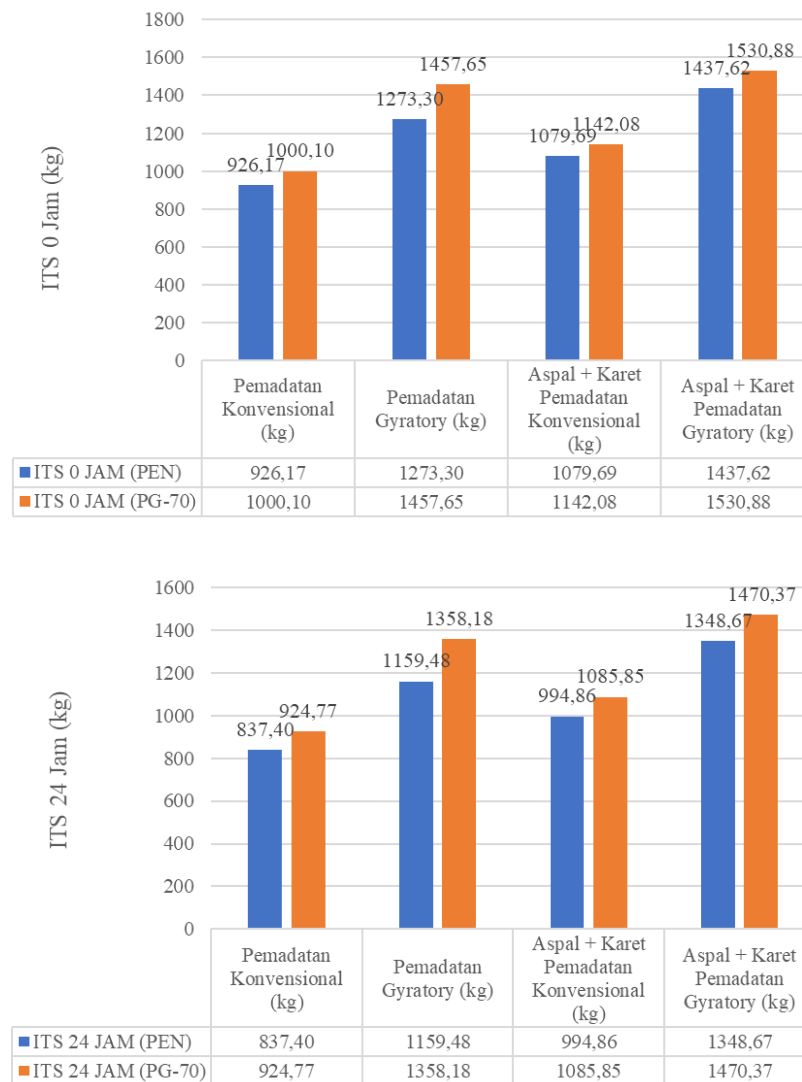
Nilai *Index Retained Strength* (IRS) mencerminkan tingkat ketahanan campuran aspal terhadap kerusakan akibat kelembaban, yang berhubungan erat dengan daya lekat aspal terhadap agregat. Dari grafik terlihat bahwa metode pemadatan *Gyratory* memberikan nilai IRS yang lebih tinggi dibandingkan dengan pemadatan *Marshall*, baik pada aspal PEN maupun PG. Hal ini menunjukkan bahwa pemadatan *Gyratory* mampu menghasilkan campuran dengan kepadatan dan interlocking antar-agregat yang lebih baik, sehingga meningkatkan ketahanan terhadap pengaruh air dan kelembaban.

Jika dilihat dari variasi jenis aspal dan penggunaan karet, aspal PG secara konsisten menunjukkan nilai IRS lebih tinggi dibandingkan aspal PEN pada kedua metode pemadatan. Pada pemadatan *Marshall*, aspal PG mencapai IRS sebesar 92,18%, lebih tinggi dibandingkan aspal PEN sebesar 91,29%. Begitu pula pada pemadatan *Gyratory*, aspal PG memiliki IRS tertinggi yaitu 93,28%, sedangkan aspal PEN sebesar 92,39%. Penambahan karet juga terbukti meningkatkan nilai IRS pada kedua jenis aspal. Misalnya, aspal PEN meningkat dari 91,29% tanpa karet menjadi 92,59% dengan karet dan pemadatan *Marshall*, serta dari 92,39% menjadi 92,65% dengan karet dan pemadatan *Gyratory*. Tren serupa terjadi pada aspal PG yang meningkat dari 92,18% menjadi 93,18% pada pemadatan *Marshall*, dan dari 93,28% menjadi 93,90% pada pemadatan *Gyratory*. Dengan demikian, kombinasi

aspal PG, karet, dan metode pemadatan *Gyratory* menghasilkan nilai IRS tertinggi yaitu sebesar 93,90%.

### 5.3.2. Karakteristik ITS, dan TSR dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 pada Pemadatan *Marshall* dan Pemadatan *Gyratory*

Hasil pengujian *ITS* dan *TSR* pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.36 dan Gambar 5.37 berikut



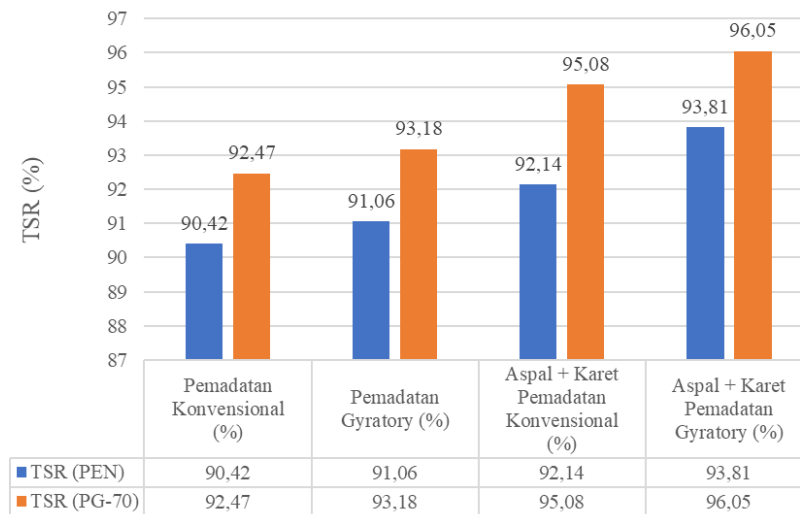
**Gambar 5. 36 Grafik ITS 0 Jam dan ITS 24 Jam dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Pemadatan *Marshall* adalah metode pemadatan campuran aspal yang umumnya menggunakan tumbukan standar, sehingga menghasilkan struktur kepadatan yang lebih sederhana dengan ikatan antar-agregat yang terbatas. Sementara itu, pemadatan *Gyratory*

bekerja dengan memberikan gaya putar (*gyrasi*) selama proses pemadatan, sehingga menghasilkan distribusi agregat yang lebih rapat, orientasi partikel yang lebih baik, dan rongga udara yang lebih terkendali. Hubungan metode pemadatan ini dengan nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) dapat dilihat dari perbedaan signifikan hasilnya dimana pemadatan *Gyratory* secara konsisten memberikan nilai ITS yang lebih tinggi dibandingkan pemadatan *Marshall*. Hal ini menunjukkan bahwa struktur campuran yang dihasilkan dari *Gyratory* lebih homogen dan memiliki daya lekat aspal-agregat yang lebih kuat, sehingga meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung campuran.

Berdasarkan hasil uji, aspal PEN 60/70 dengan pemadatan *Marshall* memiliki nilai ITS terendah yaitu 926,17 kPa untuk tanpa perendaman dan 837,40 kPa pada perendaman 24 jam. Ketika menggunakan pemadatan *Gyratory*, nilai ITS meningkat signifikan menjadi 1273,30 kPa tanpa perendaman dan 1159,48 kPa pada perendaman 24 jam dengan TSR 91,06%. Penambahan karet pada aspal PEN 60/70 juga memberikan peningkatan kinerja, di mana pada pemadatan *Marshall* nilai ITS naik menjadi 1079,69 kPa tanpa perendaman dan 994,86 kPa perendaman 24 jam. Peningkatan terbesar terlihat pada kombinasi aspal PEN + karet dengan pemadatan *Gyratory*, yang mencapai ITS tertinggi yaitu 1437,62 kPa tanpa perendaman dan 1348,67 kPa pada perendaman 24 jam dengan TSR 93,81%. Hasil ini menunjukkan bahwa penggunaan karet sebagai aditif serta penerapan metode pemadatan *Gyratory* mampu meningkatkan ketahanan campuran terhadap beban tarik tidak langsung sekaligus memperbaiki resistensi terhadap kerusakan akibat kelembaban.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai ITS pada aspal PG-70 dengan pemadatan *Marshall* diperoleh sebesar 1000,10 kPa pada 0 jam dan 924,77 kPa pada 24 jam. Sedangkan pada pemadatan *Gyratory*, nilai ITS meningkat signifikan menjadi 1457,65 kPa pada 0 jam dan 1358,18 kPa pada 24 jam. Selanjutnya, penggunaan aspal PG-70 yang dimodifikasi dengan karet juga memberikan peningkatan nilai ITS. Pada metode *Marshall*, diperoleh ITS 1142,08 kPa (0 jam) dan 1085,85 kPa (24 jam), sedangkan pada pemadatan *Gyratory* mencapai nilai tertinggi yaitu 1530,88 kPa (0 jam) dan 1470,37 kPa (24 jam). Hasil ini menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan aspal PG-70 dengan karet serta pemadatan *Gyratory* menghasilkan campuran aspal dengan kekuatan dan ketahanan terhadap kelembaban yang lebih baik dibandingkan metode lainnya.



**Gambar 5. 37 Grafik TSR dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

Grafik menunjukkan bahwa nilai *Tensile Strength Ratio* (TSR) pada campuran aspal PG-70 secara konsisten lebih tinggi dibandingkan dengan aspal PEN 60/70 pada semua kondisi pengujian, baik pemadatan *marshall* maupun *gyratory*, serta dengan penambahan karet. Pada pemadatan *Marshall*, TSR aspal PG-70 mencapai 92,47% sedangkan PEN 60/70 hanya 90,42%, dan pada pemadatan *gyratory* meningkat menjadi 93,18% untuk PG-70 serta 91,06% untuk PEN 60/70. Penambahan karet turut meningkatkan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air, ditunjukkan dengan kenaikan TSR menjadi 95,08% pada PG-70 dan 92,14% pada PEN 60/70, sedangkan kombinasi terbaik diperoleh pada PG-70 dengan pemadatan *gyratory* yang mencapai 96,05%. Hasil ini membuktikan bahwa pemadatan *gyratory* lebih efektif dibandingkan pemadatan *Marshall*, sementara penggunaan aspal PG-70 dan serbuk karet mampu meningkatkan adhesi aspal-agregat, sehingga menghasilkan campuran dengan ketahanan kelembaban paling optimal.

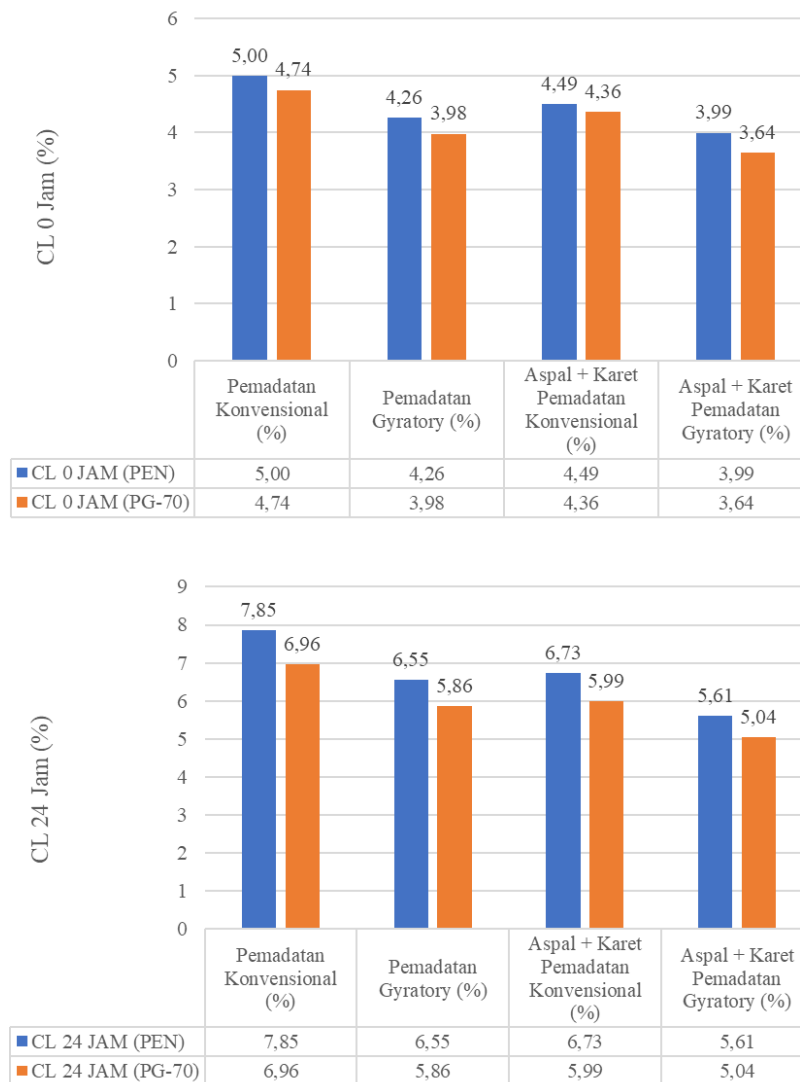
Penelitian yang dilakukan oleh Sarsam dan Al-Obaidi (2014) menunjukkan bahwa nilai *Indirect Tensile Strength* (ITS) pada suhu 25°C, 40°C, dan 60°C dengan metode pemadatan *Gyratory* lebih tinggi dibandingkan pemadatan *Marshall*. Peningkatan ini terlihat baik pada pengujian ITS tanpa perendaman maupun setelah perendaman selama 24 jam dalam waterbath, sehingga menghasilkan nilai *Tensile*

*Strength Ratio* (TSR) yang lebih besar pada pemadatan *Gyratory*. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemadatan *Gyratory* mampu meningkatkan ketahanan campuran terhadap kelembaban sekaligus menjaga stabilitas campuran pada berbagai kondisi suhu. Hal ini disebabkan oleh mekanisme pemadatan *Gyratory* yang memberikan tekanan vertikal sekaligus gaya geser rotasional, sehingga menghasilkan distribusi agregat yang lebih rapat dan ikatan aspal-agregat yang lebih kuat. Dengan demikian, campuran yang dipadatkan dengan metode *Gyratory* memiliki kerapatan lebih baik, porositas lebih rendah, serta resistensi yang lebih tinggi terhadap kerusakan akibat beban lalu lintas berulang maupun efek lingkungan, sehingga lebih representatif dalam mensimulasikan kondisi lapangan..

Penelitian Sarsam dan Jummah (2016) menunjukkan bahwa nilai *Stiffness Modulus* dengan pemadatan *Gyratory* lebih besar dibandingkan campuran dengan pemadatan Marshall, masing-masing sebesar 4,604 kN/mm, 4,913 kN/mm, dan 4,642 kN/mm, sedangkan pada pemadatan *Marshall* sebesar 3,847 kN/mm, 4,402 kN/mm, dan 3,66 kN/mm. Semakin tinggi nilai *stiffness*, maka kemampuan campuran dalam menahan beban tekan semakin tinggi sehingga nilai ITS cenderung meningkat. Namun, campuran dengan *stiffness* yang terlalu tinggi dapat menjadi rapuh, sehingga pada suhu rendah berpotensi menyebabkan keretakan bahkan terbelahnya sampel. Hal ini menunjukkan perlunya keseimbangan antara kekakuan dan fleksibilitas campuran, di mana pemadatan *Gyratory* cenderung menghasilkan kinerja yang lebih optimal karena mampu mengkombinasikan kepadatan tinggi dengan distribusi tegangan yang lebih baik, sehingga meningkatkan daya tahan campuran terhadap variasi beban dan kondisi lingkungan..

### **5.3.2 Karakteristik CL, dan ICL dengan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 pada Pemadatan Marshall dan Pemadatan Gyratory**

Hasil pengujian CL dan ICL pada pemadatan *Marshall* dan *gyratory* dapat dilihat pada Gambar 5.38 dan Gambar 5.39 berikut



**Gambar 5. 38 Grafik CL 0 Jam dan CL 24 Jam dengan Pemadatan *Marshall* dan *Gyratory* pada Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG-70**

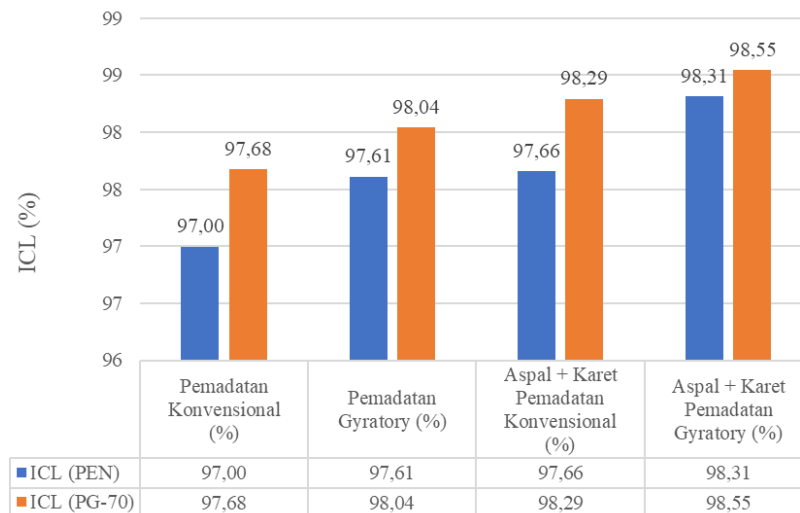
Pemadatan *Marshall* merupakan metode yang menggunakan tumbukan standar dengan jumlah tertentu untuk mencapai kepadatan, sedangkan pemadatan *Gyratory* bekerja dengan memberikan tekanan dan sudut putaran yang lebih realistis menyerupai kondisi lalu lintas di lapangan. Perbedaan metode ini berpengaruh terhadap nilai CL (*Cantabro Loss*) yang mengukur ketahanan campuran terhadap keausan, serta ICL (*Indirect Cantabro Loss*) yang menunjukkan ketahanan campuran terhadap kelembaban. Grafik menunjukkan bahwa pemadatan *Gyratory* cenderung menghasilkan nilai CL yang lebih rendah dibandingkan metode *Marshall*, yang berarti ketahanan terhadap keausan lebih baik. Sementara itu, nilai ICL dari kedua metode relatif tinggi, dengan *Gyratory* menghasilkan nilai

sedikit lebih tinggi, menandakan campuran yang lebih tahan terhadap kerusakan akibat pengaruh air.

Hasil pengujian pada aspal PEN 60/70 dengan pemadatan *Marshall* menunjukkan nilai CL sebesar 5,00% tanpa perendaman/0 jam dan 7,85% pada perendaman 24 jam. Pada pemadatan *Gyratory*, nilai CL menurun menjadi 4,26% tanpa perendaman/0 jam dan 6,55% perendaman 24 jam. Selanjutnya, pada campuran aspal PEN 60/70 yang dimodifikasi dengan karet, metode *Marshall* menghasilkan CL sebesar 4,49% (0 jam) dan 6,73% (24 jam). Sedangkan pemadatan *Gyratory* menunjukkan hasil terbaik dengan CL sebesar 3,99% (0 jam) dan 5,61% (24 jam)..

Hasil pengujian menunjukkan bahwa aspal PG-70 dengan pemadatan *Marshall* menghasilkan CL sebesar 4,74% tanpa perendaman / 0 jam dan 6,96% perendaman 24 jam. Pada metode *Gyratory*, nilai CL turun menjadi 3,98% (0 jam) dan 5,86% (24 jam). Ketika aspal PG-70 dimodifikasi dengan karet, metode *Marshall* menghasilkan CL sebesar 4,36% (0 jam) dan 5,99% (24 jam). Sementara itu, pemadatan *Gyratory* menunjukkan hasil terbaik dengan CL terendah 3,64% (0 jam) dan 5,04% (24 jam). Hal ini membuktikan bahwa kombinasi penggunaan aspal PG-70 dengan karet dan pemadatan *Gyratory* mampu meningkatkan ketahanan campuran aspal terhadap keausan sekaligus menjaga stabilitas terhadap pengaruh air secara optimal.

Hal ini menegaskan bahwa penggunaan karet serta penerapan pemadatan *Gyratory* secara bersamaan dapat meningkatkan ketahanan campuran beraspal terhadap keausan dan kelembaban secara signifikan. Kondisi ini terjadi karena serbuk karet berfungsi sebagai *filler* elastis yang memperbaiki ikatan antarpartikel agregat sekaligus menutup rongga udara, sehingga mengurangi potensi pelepasan butir akibat beban lalu lintas maupun penetrasi air. Di sisi lain, pemadatan *Gyratory* menghasilkan susunan agregat yang lebih rapat dengan *interlocking* yang lebih baik, sehingga campuran tidak hanya lebih stabil tetapi juga memiliki durabilitas lebih tinggi dibandingkan dengan hasil pemadatan *Marshall*.



**Gambar 5. 39 Grafik ICL dengan Pemadatan Marshall dan Gyratory pada Aspal PG-70**

Grafik pada Gambar di atas menunjukkan perbandingan nilai *Index Cantabro Loss* (ICL) antara aspal PEN 60/70 dan PG-70 pada berbagai metode pemadatan, baik Marshall maupun *gyratory*, serta dengan dan tanpa penambahan serbuk ban karet. Secara umum, terlihat bahwa aspal PG-70 selalu menghasilkan nilai ICL lebih tinggi dibandingkan aspal PEN 60/70 pada semua kondisi, yang mengindikasikan bahwa aspal PG-70 memiliki ketahanan aus yang lebih baik. Pada pemadatan Marshall, nilai ICL aspal PG-70 tercatat sebesar 97,68%, lebih tinggi dari aspal PEN sebesar 97,00%. Tren serupa terjadi pada pemadatan *gyratory*, di mana nilai ICL aspal PG-70 mencapai 98,04% dan aspal PEN 97,61%. Penambahan serbuk ban karet semakin meningkatkan kinerja campuran, ditandai dengan kenaikan nilai ICL menjadi 98,29% pada aspal PG-70 dan 97,66% pada aspal PEN untuk pemadatan Marshall. Hasil terbaik diperoleh pada kombinasi aspal PG-70 + karet dengan pemadatan *gyratory*, yang menghasilkan ICL tertinggi yaitu 98,55%, sedangkan aspal PEN + karet mencapai 98,31%. Peningkatan ini menunjukkan bahwa kombinasi penggunaan aspal PG-70, penambahan karet, dan metode pemadatan *gyratory* mampu memaksimalkan daya tahan campuran terhadap keausan. Secara teknis, hal ini disebabkan oleh sifat viskoelastis karet yang memperbaiki ikatan antar partikel agregat, sementara PG-70 yang lebih kental dibandingkan PEN 60/70 meningkatkan kohesi dan adhesi aspal, serta pemadatan

*gyratory* yang mensimulasikan kondisi lapangan secara lebih representatif menghasilkan struktur campuran yang lebih rapat dan stabil.

#### **5.4. Rekapitulasi Pengaruh Jenis Aspal , Serbuk Ban Karet dan Metode Pematatan Pada Kinerja Campuran *Superpave***

Berdasarkan hasil pengujian, analisis, dan pembahasan yang telah dilakukan, selanjutnya disusun rekapitulasi guna memperoleh gambaran yang lebih jelas mengenai keterkaitan serta pengaruh dari variabel penelitian, yaitu jenis aspal, penambahan serbuk ban karet, dan metode pematatan terhadap kinerja campuran *Superpave*. Rekapitulasi ini bertujuan untuk memperkuat temuan penelitian sekaligus memudahkan dalam mengidentifikasi pola pengaruh antarvariabel yang diuji. Adapun rekapitulasi hasil penelitian dapat dilihat pada Tabel 5.23 hingga Tabel 5.25 berikut.

**Tabel 5. 26 Rekapitulasi Pengaruh Jenis Bahan Ikat atau Aspal Pada Kinerja Campuran *Superpave***

No	Keterangan	Pengaruh Jenis Bahan Ikat Aspal PEN 60/70 dan PG-70
1	Volumetrik	Jenis aspal memengaruhi karakteristik volumetrik campuran beton aspal, dimana aspal PG-70 menghasilkan VITM lebih besar dan VMA sedikit lebih rendah yang mendukung stabilitas campuran, sedangkan aspal PEN 60/70 memiliki VFWA lebih tinggi yang menunjukkan pengisian rongga oleh aspal lebih baik namun cenderung membuat campuran lebih plastis.
2	Mekanis	Jenis aspal berpengaruh terhadap sifat mekanis campuran beton aspal, dimana penggunaan aspal PG-70 memberikan stabilitas lebih tinggi (1151 kg dibanding 1073 kg pada PEN 60/70) serta menurunkan nilai flow, sehingga meningkatkan kinerja campuran dalam menahan beban lalu lintas dengan deformasi plastis yang lebih kecil.
3	Durabilitas	Penggunaan aspal PG-70 meningkatkan durabilitas campuran beton aspal dibandingkan aspal PEN 60/70, yang ditunjukkan oleh nilai Index Retained Strength (IRS) lebih tinggi sehingga campuran lebih tahan terhadap pengaruh kelembapan.

**Tabel 5. 27 Rekapitulasi Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Pada Kinerja Campuran *Superpave***

No	Keterangan	Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet (2%, 4%, 6%)
1	Volumetrik	Penambahan serbuk ban karet pada campuran beton aspal secara umum menurunkan nilai VITM dan VMA serta meningkatkan VFWA pada kadar 2% dan 4% karena serbuk karet berfungsi sebagai filler elastis yang memperbaiki penyelimutan aspal, namun pada kadar berlebihan (6%) terjadi peningkatan kembali nilai VITM dan VMA serta penurunan VFWA akibat terganggunya keseimbangan volumetrik campuran.
2	Mekanis	Penambahan serbuk ban karet pada campuran beton aspal mampu meningkatkan stabilitas, memperbaiki sifat kelelahan ( <i>flow</i> ), serta meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung (ITS) baik tanpa maupun dengan perendaman, dan memperbaiki ketahanan terhadap keausan (CL) pada kadar optimum 2–4%, namun pada kadar berlebih (6%) kinerja mekanis cenderung menurun.
3	Durabilitas	Penambahan serbuk ban karet pada campuran beton aspal meningkatkan durabilitas melalui perbaikan nilai IRS dan TSR pada kadar optimum 2–4%, namun pada kadar berlebih (6%) ketahanannya terhadap kelembapan cenderung menuru

**Tabel 5. 28 Rekapitulasi Pengaruh Jenis Pemadatan Pada Kinerja *Superpave***

No	Keterangan	Pengaruh Pemadatan <i>Marshall</i> dan Pemadatan <i>Gyratory</i>
1	Volumetrik	Metode pemadatan <i>Gyratory</i> pada campuran beton aspal menghasilkan volumetrik yang lebih rapat dengan nilai VITM dan VMA lebih rendah serta VFWA lebih tinggi dibandingkan pemadatan <i>Marshall</i> , sehingga mencerminkan kepadatan dan efisiensi pengisian aspal yang lebih baik.
2	Mekanis	Metode pemadatan <i>Gyratory</i> pada campuran beton aspal terbukti lebih unggul dibandingkan pemadatan <i>Marshall</i> karena mampu meningkatkan stabilitas dan nilai ITS baik tanpa maupun dengan perendaman, menurunkan nilai <i>flow</i> sehingga campuran lebih kaku dan stabil, serta menghasilkan nilai CL yang lebih tinggi sebagai indikasi peningkatan ketahanan campuran terhadap keausan.
3	Durabilitas	Metode pemadatan <i>Gyratory</i> secara konsisten meningkatkan durabilitas campuran beton aspal dibandingkan pemadatan <i>Marshall</i> , ditunjukkan dengan nilai IRS dan TSR yang lebih tinggi sehingga campuran lebih tahan terhadap kelembapan serta peningkatan nilai ICL yang menegaskan ketahanan campuran terhadap kerusakan akibat air dan keausan.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dan analisis pengaruh dari jenis bahan ikat aspal PEN 60/70 dan PG 70 , penambahan serbuk ban karet , dan metode pemadatan *Marshall* dan pemadatan *gyratory* terhadap karakteristik campuran *Superpave*, maka ditarik kesimpulan sebagai berikut..

1. Jenis aspal dan penambahan serbuk ban karet berpengaruh signifikan terhadap karakteristik volumetrik, di mana aspal PG-70 memberikan VITM lebih besar dan VMA lebih rendah yang mendukung stabilitas, sedangkan aspal PEN 60/70 menghasilkan VFWA lebih tinggi namun cenderung lebih plastis; penambahan karet 2–4% menurunkan VITM dan VMA serta meningkatkan VFWA, tetapi pada 6% keseimbangan terganggu dengan naiknya kembali VITM dan VMA serta turunnya VFWA.
2. Jenis aspal dan penambahan serbuk ban karet berpengaruh nyata terhadap sifat mekanis, di mana aspal PG-70 meningkatkan stabilitas dan menurunkan *flow* sehingga lebih tahan terhadap beban, sedangkan karet 2–4% memperbaiki stabilitas, *flow*, ITS, dan CL, namun pada 6% kinerja mekanis menurun.
3. Secara keseluruhan, aspal PG-70 meningkatkan durabilitas campuran melalui nilai IRS lebih tinggi, sedangkan serbuk ban karet pada kadar 2–4% memperbaiki IRS dan TSR, namun pada kadar 6% efeknya menurun sehingga ketahanan terhadap kelembapan berkurang.
4. Pemadatan *Gyratory* menghasilkan campuran beton aspal yang lebih rapat dengan VITM dan VMA lebih rendah serta VFWA lebih tinggi dibanding *Marshall*, sehingga menunjukkan kepadatan dan efisiensi pengisian aspal yang lebih baik.

5. Pemasadatan *Gyratory* lebih unggul dari *Marshall* karena meningkatkan stabilitas dan ITS, menurunkan flow sehingga campuran lebih kaku dan stabil, serta menaikkan CL sebagai indikasi ketahanan aus yang lebih baik.
6. Pemasadatan *Gyratory* lebih baik dari *Marshall* karena meningkatkan durabilitas campuran dengan nilai IRS, TSR, dan ICL lebih tinggi, sehingga lebih tahan terhadap kelembapan, air, dan keausan.

## 6.2 Saran

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian yang dinilai dari sifat volumetrik, mekanistik, dan *durabilitas* campuran *Superpave* dengan bahan ikan aspal PEN 60/70 dan aspal PG-70 dengan modifikasi penambahan serbuk ban karet pada pemasadatan *Marshall* dan *gyratory*, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Menggunakan variasi aspal PG dengan nilai *Penetration Grade* lainnya, hal ini dikarenakan di Indonesia penerapan aspal PG tidak hanya menggunakan jenis aspal PG-70 tetapi sudah sampai 76 dan 78.
2. Variasi ukuran serbuk ban karet ditambahkan. Penelitian ini menggunakan serbuk ban karet dengan ukuran lolos saringan no #16 tertahan #30 dimana penelitian selanjutnya dapat menggunakan saringan yang lebih kecil ataupun lebih besar untuk melihat efektifitas dan signifikansi dari pengaruh ukuran ban karet yang ditambahkan.
3. Ditambahkan variasi pencampuran serbuk ban karet. Penelitian ini menggunakan metode pencampuran basah atau *wet mix*, dimana karet ditambahkan pada aspalnya. Sedangkan, terdapat metode lainnya yaitu pencampuran kering atau *dry mix*, dimana karet ditambahkan pada agregatnya atau pengganti sebagai agregat.
4. Diperlukan pengujian yang lebih kompleks terkait aspal PG-70 seperti pengujian nilai G, RTFOT, dan sebagainya yang mempengaruhi perhitungan girasi pada pemasadatan *gyratory*.
5. Selain itu pada pemasadatan *Superpave Gyratory Compactor* menggunakan data jumlah ESAL sebagai panduan berapa jumlah girasi,

dan bebannya, maka diperlukan perhitungan ESAL dalam mendesain campuran SGC ini.

## DAFTAR PUSTAKA

- Adityaningrum, M. (2022). *Pengaruh Penggunaan Limbah Gerabah Sebagai Substitusi Filler Terhadap Karakteristik Marshall Pada Campuran Superpave*. (Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta)
- Ahmad, J., Md Yusoff, N. I., Hainin, M. R., Abd Rahman, M. Y., & Hossain, M. (2014). Evaluation on performance characteristics of Superpave asphalt mix design under tropical climatic conditions. *International Journal of Pavement Research and Technology*, 7(5), 331–342.
- Almadwi, F. S., & Assaf, G. J. (2017). Performance testing of paving mixes for Libya's hot and arid conditions, using Marshall stability and Superpave gyratory compactor methods. In *International Congress and Exhibition: Sustainable Civil Infrastructures—Innovative Infrastructure Geotechnology* (pp. 313–323). Springer.
- Apteda, P. E., Royyan, M., Yuwanto, H. A. P., Romadhon, M. H. S., & Putri, A. M. (2023). Perbandingan karakteristik Marshall pada aspal modifikasi polimer PG70 dengan aspal minyak Pen 60/70 pada proyek preservasi jalan Sidoarjo–Malang. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 2(1), 23–31. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v2i1.867>
- Arkan, N., dan Subarkah. (2018). Pemanfaatan Limbah Gerabah Kasongan Sebagai Pengganti Bahan Pengisi Pada Campurab Lapisan AW-WC. (Tugas Akhir, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta)
- Bayomy, F., Masad, E., Dessoukey, S., & Omer, M. (2006). *Development and Performance Prediction of Idaho Superpave Mixes* (No. NIATT Project No. KKK 464).
- Browne, M. J., Mokwa, R. L., & Cuelho, E. (2006). Feasibility of using a Gyratory compactor to determine compaction characteristics of soil. In *Proceeding 40th Symposium on Engineering Geology and Geotechnical Engineering* (pp. 268–277).
- Carlberg, M., Berthelot, C., & Richardson, N. (2003). Comparison of Marshall and Superpave gyratory volumetric properties of Saskatchewan asphalt concrete mixes. In *Proceedings of the 2003 Annual Conference and Exhibition of the Transportation Association of Canada: The Transportation Factor* (pp. 1–18).

- Cerni, G., & Corradini, A. (2023). Compaction characteristics assessment of cold mix patching materials through *Gyratory* shear compactor. *Construction and Building Materials*, 364(September 2022), 129926. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129926>
- D'Angelo, J. A., Harm, E. E., Bartoszek, J. C., & Baumgardner, G. L. (1995). Comparison of the Superpave gyratory compactor to the Marshall for field quality control. *Proceedings of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 64, 611–629.
- Dina, F., Saleh, S. M., & Suryani, F. M. (2019). Karakteristik penggunaan parutan ban dalam bekas kendaraan roda empat terhadap campuran AC-BC. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1(1), 1–7.
- El-Atrash, K. (2020). *Modified marshall mix design method for asphalt roads in hot and arid climate* (Doctoral dissertation, École de technologie supérieure).
- El-Atrash, K., & De, É. (2018). *The Effect of Several Parameters On The Behaviour Of Asphalt Mixture In Libya. 5<sup>th</sup> GeoChina International Conferencer 2018.*
- El-Atrash, K., & De, É. (2018). *The Effect of Several Parameters On The Behaviour Of Asphalt Mixture In Libya. 2<sup>nd</sup> GeoMEast International Congress and Exhibition on Sustainable Civil Infrastructures, Egypt 2018.* [https://doi.org/10.1007/978-3-030-01908-2\\_5](https://doi.org/10.1007/978-3-030-01908-2_5)
- Faisal, D., Setyawan, A., & Sumarsono, A. (2018). Pemilihan beberapa campuran lapis tipis aspal panas untuk aplikasi di lapangan. *Matriks Teknik Sipil*, 6(3), 419–427. <https://doi.org/10.20961/mateksi.v6i3.36547>
- Ferbiansyah, R., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Analisis Durabilitas Campuran Ac-Wc Menggunakan Asphalt Buton Pen 60/70 Dan Asphalt Pg76 Perbandingan 40: 60. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(3).
- Ismail, I. (2019). *Studi Karakteristik Penggunaan Serbuk Ban Bekas (Perkerasan AC dan HRS)* UNIMAL PRESS.
- Gallego, J., Rodríguez-Alloza, A. M., & Saiz-Rodríguez, L. (2020). Evaluation of warm rubberized stone mastic asphalt mixtures through the Marshall and gyratory compactors. *Materials*, 13(2), 1–15. <https://doi.org/10.3390/ma13020265>
- Hadi, M. A., & Fauziah, M. (2022). Comparative Study of Service Life Prediction Between *Superpave* and AC-WC Mixtures Using Viscoelastic and Elastic Modeling. *Jurnal Teknisia*, 27(02), 71–82.
- Hariyadi, E. S., & Dewi, C. K. T. (2024). Analisis Kinerja Laboratorium Campuran Stone Mastic Asphalt Dengan Asbuton Murni Yang Dipadatkan

Menggunakan Superpave Gyratory Compactor. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 2(6).

Harman, T., Bukowski, J., Moutier, F., Huber, G., & McGennis, R. (2002). History and future challenges of gyratory compaction: 1939 to 2001. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1789, 200–207.

Ikhwandito, Y., Indriani, A. M., & Utomo, G. (2023). Analisis Perkerasan Aspal Buton Pen 60/70 & P<sub>g</sub>76 (30: 70) Terhadap Karakteristik Marshall. *Konferensi Nasional Teknik Sipil (KoNTekS)*, 1(3).

Indriyati, E. W., & Susanto, H. A. (2015). Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Dinamika Rekayasa*, 11(1), 24-28.

Iqbal, & Fauziah, M. (2023). *Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course*. 44(2), 167–175. <https://doi.org/10.14710/teknik.v44i2.57565>

Maleve, J. M., Abongo, D. A., Oduor, F. D. O., & Mwea, S. K. (2023). The effects of waste tire rubber on penetration, softening point, viscosity, ductility, flash point, specific gravity, solubility and aging of bitumen used in Kenya. *International Journal of Scientific Research in Science and Technology*, 120–133. <https://doi.org/10.32628/ijrst2310185>

Kamba, C. (2013). Pengaruh Penentuan Kadar Aspal Optimum terhadap Kualitas Desain Campuran Beraspal. *Proceeding Seminar Teknik Sipil UKI Paulus Makassar*, 87–95.

Kennedy, T. W., Huber, G. A., Harrigan, E. T., Cominsky, R. J., Hughes, C. S., Quintus, H. Von, & Moulthrop, J. S. (1994). *Superior performing asphalt pavements (Superpave): The product of the SHRP asphalt research program* (Report SHRP-A-410). Strategic Highway Research Program, National Research Council.

Leandro, R. P., Vasconcelos, K. L., & Bernucci, L. L. B. (2017). Evaluation of the laboratory compaction method on the air voids and the mechanical behavior of hot mix asphalt. *Construction and Building Materials*, 156, 424–434. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.178>

Lusyana, Mukhlis, Suardi, E., Fitri, R., & Sagita, D. C. (2022). Perbandingan Karakteristik Campuran Asphalt Concrete-Wearing Course (AC-WC) Menggunakan Aspal PEN 60/70 dan Aspal PG 76. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sipil*, 19(1), 88–95. <https://doi.org/10.30630/jirs.v19i1.701>

Lokesh, Y., Dr. M. S. Amarnath, D. M. S. A., & Dr. Manjesh. L, D. M. L. (2011). A Comparative Study on The Effect of Compaction on Strength and Physical

- Properties of Stone Matrix Asphalt Compacted by *Marshall* Compaction and *Superpave Gyratory* Compaction Methods. *Indian Journal of Applied Research*, 4(7), 209–211. <https://doi.org/10.15373/2249555x/july2014/64>
- Mahmoud, A. F. F., & Bahia, H. (2004). *Using Gyratory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures*. Wisconsin Highway Research Program.
- Oliver, J. W. H. (1994). *Research report ARR-259: The Austroads asphalt mix design method version 1*. Australian Road Research Board Ltd.
- Pratama, N. G., & Haratama, K. R. (2024). Studi Komparasi Karakteristik dan Nilai Daktilitas Aspal Modifikasi Pg 70 dengan Aspal Pertamina Penetrasi 60/70. *Jurnal Media Publikasi Terapan Transportasi*, 2(2), 183–189. <https://doi.org/10.26740/mitrans.v2n2.p183-189>
- Prayogi, I. S., Salonten, S., & Elvina, I. (2022). Karakteristik Pemanfaatan Penggunaan Ban Dalam Kendaraan Bekas Roda Empat Terhadap Campuran Laston. *Jurnal Kacapuri : Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 4(2), 172
- Purnama, A. R. (2021). Kinerja Campuran Beraspal Dengan Menggunakan Aspal Starbit E-55 dan Aspal PG 76 FR Berdasarkan Gradasi Asphalt Concrete (AC) Bandar Udara. *FTSP Series*, 1(1), 1–8.
- Putra, M. T., Destania, H. R., & Febryandi, F. (2023). Analisis Karakteristik *Marshall* Campuran Aspal Modifikasi pada Asphalt Concrete – Wearing Course (AC – WC) dengan Penambahan Serbuk Ban Kendaraan. *Jurnal Teknik Sipil*, 19(2), 335–350. <https://doi.org/10.28932/jts.v19i2.5580>
- Qassim Al-Salih, W. (2020). Using Crumb Rubber to Improve the Bituminous Mixes: Experimental Investigation of Rutting Behavior of Flexible Asphalt Mix for Road Construction. *Journal of Physics: Conference Series*, 1527(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1527/1/012015>
- Rahman, I. Y. (2023). *Pengaruh Substitusi Fly Ash Sebagai Filler Terhadap Karakteristik Campuran Superpave Dengan Bahan-Iat PEN 60/70 Dan Starbit PG-70*. Universitas Islam Indonesia.
- Rini, T. K., Pratama, W., & Amarwati, A. (2018). Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Terhadap Kuat Tekan *Marshall* Pada Campuran Beton Aspal. Program Studi Teknik Sipil. Univeritas Borobudur. Jakarta.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D. Y. and Kennedy, T.W. “Hot Mix Asphalt Materials, Mix Design, and Construction, 2nd Ed.,” NAPA Research and Education Foundation, Lanham, Maryland, 1996, p. 305.
- RSNI M-01-2003. (2010). Diklat Penggunaan Bahan & Alat Untuk Pekerjaan Jalan & Jembatan. *Modul Bahan Aspal Untuk Perkerasan Lentur*, 1–84.

- Ruth, B.E. and R.C. West. 1995. *Compaction and Strength of Stone Matrix Asphalt Mixtures in the Gyratory Testing Machine*, Proceedings, Association of Asphalt Paving Technology, Vol. 64, pp. 33 - 45
- Sarsam, S. I., & Al-Obaidi, M. K. (2014). Assessing the Impact of Various Modes of Compaction on Tensile Property and Temperature Susceptibility of Asphalt Concrete. *International Journal of Scientific Research in Knowledge*, 2(6), 297–305. <https://doi.org/10.12983/ijsrk-2014-p0297-0305>
- Sarsam, S. I., & Jumaah, M. K. (2016). Modeling of Comparative Performance of Asphalt Concrete under Hammer, Gyratory, and Roller Compaction. *Journal of Engineering*, 22(11), 1–15. <https://doi.org/10.31026/j.eng.2016.11.01>
- Sukirman, S. (2016). Beton Aspal Campuran Panas. In *Institut Teknologi Nasional*.
- Takallou, H. B., Bahia, H. U., Perdomo, D., & Schwartz, R. (1997). Use of Superpave Technology for Design and Construction of Rubberized Asphalt Mixtures. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 1583(1), 71–81. <https://doi.org/10.3141/1583-09>
- Tilik, L. F. (2022). Studi Karakteristik *Marshall* Pada Aspal Dengan Perbandingan Lateks Pada Lapisan Wearing Course. *Journal of Applied Civil Engineering and Infrastructure Technology*, 3(2), 26–32. <https://doi.org/10.52158/jaceit.v3i2.407>
- Wibisono, R. E., & Yuantika, R. (2024). Analisis Kualitas Aspal Pertamina Dan Aspal PG 70 Berdasarkan Uji Penetrasi Menggunakan SNI 2456-2011. *Jurnal Perencanaan Dan Rekayasa Sipil*, 07(2), 77–82.
- Widhiatmoko, G., & Fauziah, M. (2024). Analisis perbandingan tebal perkerasan lentur dengan metode viskoelastik pada MDPJ 2017 dan MDP 2024 menggunakan KENPAVE (Studi kasus: Ruas Jalan Tol Solo–Yogyakarta–NYIA Kulon Progo pada STA). *Konferensi Nasional Inovasi Lingkungan Terbangun – FTSP UII*.
- Widhiatmoko, G., & Hadi, M. A. (2024). Studi Perbandingan karakteristik *Marshall* dan IRS antara aspal polimer PG70 campur serbuk ban karet dengan aspal PEN 60/70 campur serbuk ban karet pada campuran HRS-WC dan *SUPERPAVE*. *Proceeding Civil Engineering Research Forum*, 4(1).

# LAMPIRAN

# Lampiran 1 Pemerksanaan Berat Jenis Aspal



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

## Lampiran 1. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,72	23,71
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,46	46,9
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,74	23,19
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	28,19	27,28
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	3,47	3,57
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,58	47,02
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	19,39	19,74
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	3,35	3,45
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,04	1,03
10	Rata-rata BJ Aspal	1,035	



Mengetahui  
Kataib, Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 2. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,72	23,71
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,48	46,9
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,76	23,19
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	27,19	26,88
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	2,47	3,17
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,58	47,01
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,39	20,13
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	2,37	3,06
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,04	1,04
10	Rata-rata BJ Aspal	1,039	



Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertien Kustiati, M.Eng., I.H.M., ASEAN Eng.  
NIK: 01 21 0401

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 3 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



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.uii.ac.id

Lampiran 3. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 4 %  
3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,72	23,71
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,49	46,87
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,77	23,16
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	26,44	25,39
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,72	1,68
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,56	46,94
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,12	21,55
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,65	1,61
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,04	1,04
10	Rata-rata BJ Aspal	1,043	



Disahkan Oleh  
Mangrove Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Dedi Kusnanti, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 311 0141

Mengetahui  
Kulab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 4 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 4. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 6 %  
3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,72	23,71
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	47,48	46,86
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,76	23,15
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	27,1	26,17
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	2,38	2,46
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,55	46,96
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,45	20,79
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	2,31	2,36
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,03	1,04
10	Rata-rata BJ Aspal	1,036	

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalady Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %



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. ftp.uui.ac.id

Lampiran 5. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	65	65	x	x	
2	65	66	x	x	
3	66	65	x x x	x x x	
4	65	66	x	x	
5	66	66			
Rata2	65,4	65,6			
Rata2	65,5				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng, IP.M., ASEAN.Eng.  
NIK 901 811 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 6. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.30 WIB	
	Selesai	25 °C	14.00 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	63	62	X	X	
2	64	63	X	X	
3	62	63	X X X	X X X	
4	63	64	X	X	
5	63	63			
Rata2	63	63			
Rata2	63				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng, I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 7 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 7. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 4 %
- 3 Diuji Pada : Agustus 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	14.00 WIB	
	Selesai	25 °C	14.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	60	62			
2	61	60			
3	61	61			
4	62	62			
5	61	60			
Rata2	61	61			
Rata2	61				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko  
NIK : 23 914 007

## Lampiran 8 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 8. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %

#### PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

#### HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	58	58			
2	58	57			
3	57	58			
4	59	59			
5	58	58			
Rata2	58	58			
Rata2	58				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnari, M.Eng. IRM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Mohamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 9 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 9. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %

## PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	48 °C	13.24 WIB	

### HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0	0		
2	10 °C	60	60		
3	15 °C	120	120		
4	20 °C	180	180		
5	25 °C	240	240		
6	30 °C	300	300		
7	35 °C	360	360		
8	40 °C	420	420		
9	45 °C	480	480		
10	50 °C	511	513	48°C	48°C
11	55 °C				
12	60 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Keshari, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 10 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



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.uii.ac.id

### Lampiran 10. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %

## PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	52 °C	13.25 WIB	

### HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	558 detik	560 detik	51 °C	52 °C
12	60 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
I. Anwar Kusnani, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 11 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 11. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 4 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	56 °C	13.21 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	605 detik	606 detik	56°C	56°C



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 12 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 12. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	59 °C	13.27 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	658 detik	658 detik	59°C	59°C

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kusnaryo, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 13 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 13. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 0 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

#### Persiapan pemeriksaan

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

#### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	164 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Mahamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 14 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 14. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 2 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

#### Persiapan pemeriksaan

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

#### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	153 cm	Putus
2	Sampel 2	151 cm	Putus
4	Rata-rata	152 cm	



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 15 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 15. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 4 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

##### Persiapan pemeriksaan

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

##### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	146 cm	Putus
2	Sampel 2	144 cm	Putus
4	Rata-rata	145 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Sibarani, M.Eng, I.P.M., ASEAN, Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab - Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 16 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + karet 6 %



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.uii.ac.id

Lampiran 16. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE**

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

- 1 Contoh dari : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 6 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	136 cm	Putus
2	Sampel 2	140 cm	Putus
4	Rata-rata	138 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
In. Baglan Kusnata, M.Eng. IPM, ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
In. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 17 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 17. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 0 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	325 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	320 °C	325 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	320 °C	325 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
G. Berhan Kusnir, M.Eng.I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab, Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 18 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 18. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	311 °C	10.15 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	307 °C	311 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	307 °C	311 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 19 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 19. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 4 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	307 °C	10.13 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	302 °C	307 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	302 °C	307 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Ir. Berlian Ruzhaty, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti



Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 20 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 20. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PEN 60/70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	302 °C	10.10 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	298 °C	302 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	298 °C	302 °C	



Dibahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Barisan S. Shorif, M.Eng., I.P.M., ASEAN, Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 21 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 21. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 0 %

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 0 %  
3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat viciometer kosong (gr)	24,07	23,88
2	Berat viciometer + Aquadest (gr)	46,82	46,57
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,75	22,69
4	Berat viciometer + Aspal (gr)	26,02	25,79
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,95	1,91
6	Berat viciometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,92	46,66
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,9	20,87
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,85	1,82
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,05	1,05
10	Rata-rata BJ Aspal	1,052	



Disahkan Oleh  
Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Barlihusaini, M.T., I.P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0164

Mengetahui  
Kalah, Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 22 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 2 %



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.uii.ac.id

Lampiran 22. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %  
3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicinometer kosong (gr)	24,07	23,88
2	Berat vicinometer + Aquadest (gr)	46,81	46,58
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,74	22,7
4	Berat vicinometer + Aspal (gr)	26,00	25,77
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,93	1,89
6	Berat vicinometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,92	46,68
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,92	20,91
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,82	1,79
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,06	1,06
10	Rata-rata BJ Aspal	1,058	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Sukharni, M.Eng., I.P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0104

Mengetahui  
Ketab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 23 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 23. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 4 %

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap  
2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 4 %  
3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,07	23,88
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,84	46,61
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,77	22,73
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,94	25,61
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,87	1,73
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,95	46,71
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,01	21,1
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,76	1,63
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,06	1,06
10	Rata-rata BJ Aspal	1,062	



Mengetahui  
Kalebr Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Lampiran 24 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Kare 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 24. Pemeriksaan Berat Jenis Aspal PG-70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	24,07	23,88
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	46,8	46,6
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,73	22,72
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	25,90	25,62
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,83	1,74
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,89	46,7
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	20,99	21,08
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,74	1,64
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,05	1,06
10	Rata-rata BJ Aspal	1,056	



Mengetahui  
Kalah. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 25 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 25. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 0 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.30 WIB	
	Selesai	25 °C	14.00 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	56	57			
2	58	58			
3	57	57			
4	58	58			
5	58	58			
Rata2	57,4	57,6			
Rata2	57,5				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0701

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 26 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 26. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	14.00 WIB	
	Selesai	25 °C	14.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	54	52			
2	53	53			
3	54	53			
4	52	53			
5	53	53			
Rata2	53,2	52,8			
Rata2	53				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Heriawan Kusrini, M.Eng, IPM., ASEAN, Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 27 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 27. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 4 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	13.00 WIB	
	Selesai	25 °C	13.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	49	52			
2	51	49	X	X	
3	50	49	X X X	X X X	
4	50	50	X	X	
5	49	51			
Rata2	49,8	50,2			
Rata2	50				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusri, M. Eng, I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Lampiran 28 Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 28. Pemeriksaan Penetrasi Aspal PG-70 + Karet 6 %

**PEMERIKSAAN PENETRASI ASPHAL**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	25 °C	14.00 WIB	
	Selesai	25 °C	14.30 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Benda Uji		Sket Pengujian		Keterangan
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2	
1	47	46			
2	48	47			
3	47	46			
4	48	47			
5	48	46			
Rata2	47,6	46,4			
Rata2	47				



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

*[Signature]*  
Ir. Berlian Kusriani, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

*[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 29 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 0 %



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. ftp.uui.ac.id

Lampiran 29. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 0 %

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	55 °C	13.25 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	599 detik	600 detik	55°C	55°C
12	60 °C				
13	65 °C				
14	70 °C				



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng, UPM, ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 30 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 30. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	59 °C	13.28 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0	0		
2	10 °C	60	60		
3	15 °C	120	120		
4	20 °C	180	180		
5	25 °C	240	240		
6	30 °C	300	300		
7	35 °C	360	360		
8	40 °C	420	420		
9	45 °C	480	480		
10	50 °C	540	540		
11	55 °C	600	600		
12	60 °C	656	657	59°C	59°C
13	65 °C				
14	70 °C				

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Beniawan Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Lampiran 31 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 31. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL**

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	62 °C	13.28 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	660 detik	660 detik		
13	65 °C	672 detik	680 detik	61 °C	62 °C
14	70 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Bintang Kusnadi, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0401

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

## Lampiran 32 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 32. Pemeriksaan Titik Lembek Aspal PG-70 + Karet 6 %

### PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	65 °C	13.30 WIB	

### HASIL PENGAMATAN

No.	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji I	Benda Uji II	I	II
1	5 °C	0 detik	0 detik		
2	10 °C	60 detik	60 detik		
3	15 °C	120 detik	120 detik		
4	20 °C	180 detik	180 detik		
5	25 °C	240 detik	240 detik		
6	30 °C	300 detik	300 detik		
7	35 °C	360 detik	360 detik		
8	40 °C	420 detik	420 detik		
9	45 °C	480 detik	480 detik		
10	50 °C	540 detik	540 detik		
11	55 °C	600 detik	600 detik		
12	60 °C	660 detik	660 detik		
13	65 °C	718 detik	720 detik	65°C	65°C
14	70 °C				

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Bertian Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 33 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 0 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 33. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 0 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Starbit PG 70 + Karet 0 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

##### Persiapan pemeriksaan

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

##### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	130 cm	Putus
2	Sampel 2	130 cm	Putus
4	Rata-rata	130 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnoro, M.Eng. IPM-ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 34 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 34. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 2 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

#### Persiapan pemeriksaan

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

#### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	116 cm	Putus
2	Sampel 2	114 cm	Putus
4	Rata-rata	115 cm	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kuslan, M.Eng., IPM, ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0104

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 35 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 4 %



**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

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

### Lampiran 35. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 4 %

#### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Starbit PG 70 + Karet 4 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

#### Persiapan pemeriksaan

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

#### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	108 cm	Putus
2	Sampel 2	100 cm	Putus
4	Rata-rata	104 cm	



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 36 Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 6 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 36. Pemeriksaan Daktilitas Aspal PG-70 + Karet 6 %

### PEMERIKSAAN DAKTILITAS (DUCTILITY)/RESIDUE

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

- 1 Contoh dari : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis contoh : Aspal Starbit PG 70 + Karet 6 %
- 3 Diperiksa tg : April 2024

#### Persiapan pemeriksaan

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


#### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	96 cm	Putus
2	Sampel 2	94 cm	Putus
4	Rata-rata	95 cm	


Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

  
Ir. Berlian Kusnani, M.Eng., I.P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 37 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 0 %



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.uii.ac.id

Lampiran 37. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 0 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 0 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	317 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	311 °C	317 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	311 °C	317 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Dalila Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 38 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 2 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 38. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 2 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

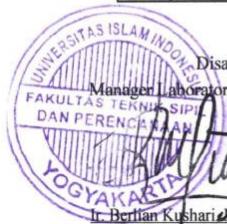
RUJUKAN; AASHTO T 48-74, ASTM D 92-52

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 2 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	308 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	302 °C	308 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	302 °C	308 °C	



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 39 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakas Aspal PG-70 + Karet 4 %



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 39. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 4 %

**PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR**

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 4 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	301 °C	10.20 WIB	

**HASIL PENGAMATAN**

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	298 °C	301 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	298 °C	301 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Bertlan Kishari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 40 Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 6 %



**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.uii.ac.id

Lampiran 40. Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal PG-70 + Karet 6 %

### PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN BAKAR

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

- 1 Sumber Material : PT. Bintang Djaja, Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Starbit PG 70 + Karet 6 %
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda uji</b>			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	<b>Didiamkan pada suhu ruang</b>			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	<b>Diperiksa</b>			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	295 °C	10.20 WIB	

#### HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	290 °C	295 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	290 °C	295 °C	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti



Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

# Lampiran 41 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 41 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

## PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1610,62	1611,23	1610,93
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1000,41	1000,80	1000,61
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1574,21	1568,25	1571,23
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,580	2,569	2,574
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,639	2,640	2,639
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,743	2,764	2,754
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	2,313	2,741	2,527
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,662	2,666	2,664

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kuslari, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Girl Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 42 Pemeriksaan Kelekatatan Agregat Terhadap Aspal



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.uii.ac.id

### Lampiran 42 Pemeriksaan Kelekatatan Agregat Terhadap Aspal

#### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL PEN 60/70

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : April 2024

##### Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda Uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	08.00 WIB	
	Selesai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
2	<b>Didiamkan Pada Suhu Ruang</b>			
	Mulai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
3	<b>Perendaman benda uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	10.15 WIB	

##### Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	96%	Memenuhi
	Rata-rata	96%	



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Behnan Kusrini, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 43 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 43 Pemeriksaan Kelekatan Agregat Terhadap Aspal

#### PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL PG-70

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : April 2024

##### Persiapan pemeriksaan


No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	<b>Pemanasan Benda Uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	08.00 WIB	
	Selesai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
2	<b>Didiamkan Pada Suhu Ruang</b>			
	Mulai	150 <sup>o</sup> C	08.15 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
3	<b>Perendaman benda uji</b>			
	Mulai	25 <sup>o</sup> C	09.45 WIB	
	Selesai	25 <sup>o</sup> C	10.15 WIB	

##### Hasil pemeriksaan

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

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnani, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0701

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Mohammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 44 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles



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.uii.ac.id

### Lampiran 44 Pemeriksaan Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

#### PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : April 2024

No	Jenis Gradasi Saringan		Benda Uji		Keterangan
	Lolos	Tertahan	1	2	
	1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")		
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	2500,00	
7	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500,00	2500,00	
8	09.5 mm (3/8")	06.3 mm (1/4")			
9	06.3 mm (1/4")	04.75 mm (4")			
10	04.75 mm (No.4)	02.36 mm (No.8)			
11	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000,00	5000,00	
12	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		4656,00	4666,00	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		6,880	6,680	
14	JUMLAH BENDA UJI (A)		4656,00	4666,00	
15	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12(B)		3412,22	3405,44	
16	KEAUSAN 400x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		26,713	27,016	
17	Rata-rata Keausan (%)		26,86		



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusnan, M.Eng., Ph.D., ASCE, Eng.  
NIK: 01 51 0101

Mengetahui  
Kalab. Jember Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM: 23 914 007

## Lampiran 45 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



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.uii.ac.id

Lampiran 45 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,02	500,04	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	647,03	681,31	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	954,16	988,84	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	488,82	488,01	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,534	2,536	2,535
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,592	2,598	2,595
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,690	2,704	2,697
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	2,287	2,457	2,372
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu})/2$	2,559	2,620	2,589

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kusnanto, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 21 511 0101

Mengetahui  
Kalah, Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 46 Pemeriksaan Sand Equivalent



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

### Lampiran 46 Pemeriksaan Sand Equivalent

### PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Halus
- 3 Diuji Pada : April 2024

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl <sub>2</sub> selama (± 10.1 menit).	Mulai	09.25	09.30	
		Selesai	09.35	09.40	
2	Waktu pengendapan (benda uji setelah digojok sebanyak 90x, dan di tambah larutan CaCl <sub>2</sub> )	Mulai	09.38	09.43	
		Selesai	09.50	09.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		5,10	5,20	5,15
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		4,50	4,60	4,55
6	$Sand\ Equivalent = \frac{Sand\ Reading}{Clay\ Reading} \times 100\ %$		88,24	88,46	88,35
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		11,76	11,54	11,65

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berlian Kusnari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalah Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2024  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

## Lampiran 47 Pemeriksaan Berat Jenis Filler *Debu*



### FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

Lampiran 47 Pemeriksaan Berat Jenis *Filler Debu*

### PEMERIKSAAN BERAT JENIS *FILLER DEBU*

RUJUKAN : SNI 2441-2011

- 1 Jenis Material : *Filler Abu Batu*
- 2 Sumber Material : *Clereng*
- 3 Diuji Pada : *April 2024*

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Vicnometer Kosong gr	23,80	23,54	
2	Berat Vicnometer + Air gr	46,43	46,35	
3	Berat Vicnometer (2-1) gr	22,63	22,81	
4	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> gr	34,80	34,70	
5	Berat <i>Filler</i> (4-1) gr	11,000	11,160	11,08
6	Berat Vicnometer + <i>Filler</i> + Aquadest gr	53,12	53,12	53,12
7	Berat Aquadest (6-4) gr	18,320	18,420	18,37
8	Volume <i>Filler</i> (3-7) gr	4,310	4,390	4,35
9	Berat Jenis <i>Filler</i> = Berat/Vol (5/8)	2,552	2,542	2,547



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

# Lampiran 48 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal



**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.uii.ac.id

Lampiran 48. Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

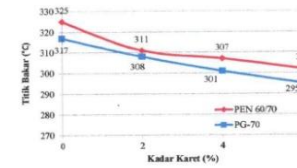
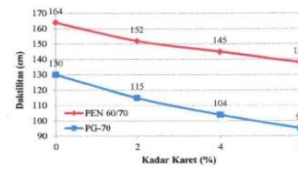
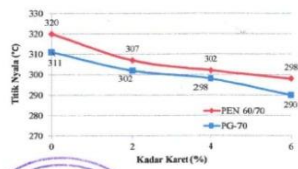
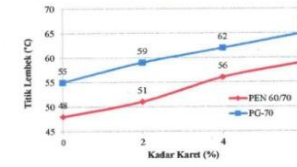
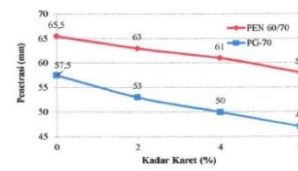
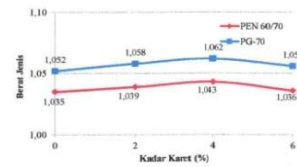
## REKAPITULASI PENGUJIAN KARAKTERISTIK ASPAL

ASPAL PEN 60/70

Jenis Pengujian	0% Serbuk Ban Karet	2% Serbuk Ban Karet	4% Serbuk Ban Karet	6% Serbuk Ban Karet
Berat Jenis	1,035	1,039	1,043	1,036
Penetrasi (0,1 mm)	65,5	63	61	58
Titik Lembek (°C)	48	51	56	59
Daktilitas (cm)	164	152	145	138
Titik Nyala (°C)	320	307	302	298
Titik Bakar (°C)	325	311	307	302

ASPAL PG-70

Jenis Pengujian	0% Serbuk Ban Karet	2% Serbuk Ban Karet	4% Serbuk Ban Karet	6% Serbuk Ban Karet
Berat Jenis	1,052	1,058	1,062	1,056
Penetrasi (0,1 mm)	57,5	53	50	47
Titik Lembek (°C)	55	59	62	65
Daktilitas (cm)	130	115	104	95
Titik Nyala (°C)	311	302	298	290
Titik Bakar (°C)	317	308	301	295



Disetujui Oleh  
Dekan Fakultas Teknik Sipil  
Dan Perencanaan  
Yogyakarta

Mengetahui  
Kepala Jalan Raya  
Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Gin Wahidmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 49 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 49. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60-70**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : Agustus 2024

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Isi	BJ Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelehan Plastis ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )	
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dan camp (VITM)	Rongga dalam Aggrt (VMA)	Rongga terisi Aspal (VPWA)	Angka Koreksi	di Bacr			di Sesuaikan
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
		% Total Campuran	$\frac{100}{100-B} + \frac{B}{T}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$C \cdot H \times 100$	$100 - (H \times (100-B)) / G$	$B \times H / T (B \times H / T) + 1 \times 100\%$	Data Pemb. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. Lab	M	
															N	
1	72,19	5	2,408	1180,06	666,16	1185,83	519,67	2,271				70	860,931	2,34		
	69,96			1188,05	669,94	1192,15	522,21	2,275				70	860,931	2,36		
	71,58			1185,45	668,54	1191,24	522,7	2,268				69	848,632	2,28		
	<b>71,2433</b>							<b>2,271</b>	<b>5,682</b>	<b>15,652</b>	<b>66,186</b>	<b>0,832</b>	<b>69,67</b>	<b>856</b>	<b>2,327</b>	<b>367,908</b>
2	69,59	5,5	2,391	1183,25	667,64	1189,54	521,9	2,267				76	945,532	2,45		
	70,72			1181,05	668,55	1187,83	519,28	2,274				77	957,973	2,6		
	70,44			1184,65	666,98	1188,98	522	2,269				76	945,532	2,59		
	<b>70,25</b>							<b>2,27</b>	<b>5,04</b>	<b>16,13</b>	<b>70,813</b>	<b>0,841</b>	<b>76,33</b>	<b>949</b>	<b>2,547</b>	<b>372,644</b>
3	70,58	6	2,374	1185,76	669,62	1192,95	523,33	2,266				86	1068,959	2,96		
	70,39			1188,19	668,49	1192,4	523,91	2,268				87	1081,389	3,05		
	70,02			1184,54	669,57	1193,58	524,01	2,261				86	1068,959	2,94		
	<b>70,33</b>							<b>2,265</b>	<b>4,58</b>	<b>16,76</b>	<b>74,400</b>	<b>0,840</b>	<b>86,33</b>	<b>1073</b>	<b>2,983</b>	<b>359,665</b>
4	70,4	6,5	2,357	1188,76	669,63	1193,47	523,84	2,269				77	962,014	3,35		
	69,37			1188,46	669,9	1196,54	526,64	2,257				78	974,508	3,45		
	69,88			1187,25	668,39	1193,46	525,07	2,261				78	974,508	3,31		
	<b>69,8833</b>							<b>2,262</b>	<b>4,04</b>	<b>17,31</b>	<b>78,092</b>	<b>0,845</b>	<b>77,67</b>	<b>970</b>	<b>3,370</b>	<b>287,834</b>
5	68,55	7	2,341	1181,91	663,3	1186,71	523,41	2,258				70	887,718	3,95		
	68,59			1171,3	656,01	1177,22	521,21	2,247				71	900,399	3,87		
	68,57			1175,68	659,68	1180,49	520,81	2,257				75	951,126	3,89		
	<b>68,57</b>							<b>2,254</b>	<b>3,71</b>	<b>18,05</b>	<b>80,640</b>	<b>0,857</b>	<b>72,00</b>	<b>913</b>	<b>3,903</b>	<b>233,983</b>
	4 - 7								4 - 5	-15	-65		min 800	2 - 4	200 - 350	

Disetujui Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
I. Berlian Kusuma, S.T., M.Eng., ASEAN Eng.  
NIM : 01 21 01 01 01

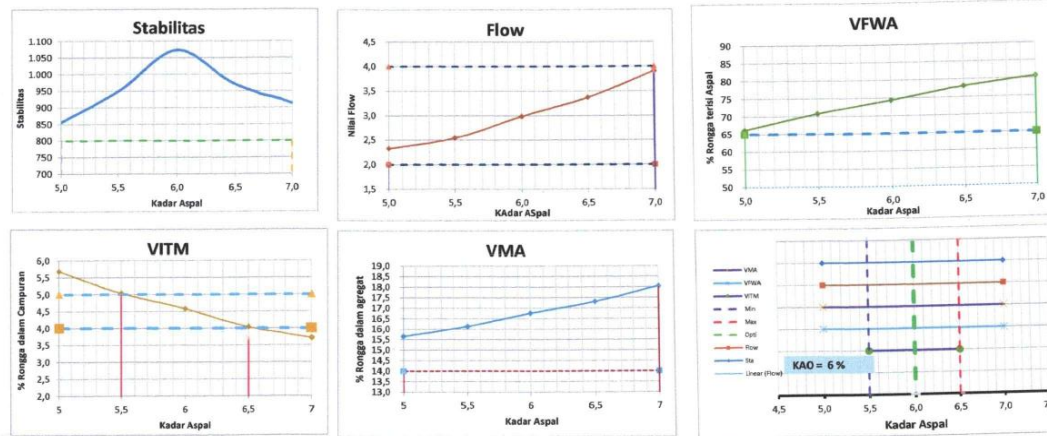
Mengetahui  
Kalah Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 49. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : Agustus 2024



Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Beriman Kusnanto, M. Eng. IRYT - ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalala: *[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Gho Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 50 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 50. Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PEN 60/70

**IRS CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2024

Persen Aspal (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability				Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)			
												Tebal Sampel		Koreksi					
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX				
5,0%	1	69,58	70,28	70,25	70,04	0,88	1183,17	61	14,31779	873,39	772,54	802,80	771,47	800	69,9	71,4	0,89	0,83	90,13
	2	68,57	69,66	68,39	68,87	0,89	1182,44	63	14,31779	902,02	802,80	771,47	800	68,3	69,9	0,89	0,89		
	3	69,28	70,11	69,68	69,69	0,89	1185,27	58	14,31779	830,43	739,08	802,80	771,47	800	68,3	69,9	0,89	0,89	
5,5%	1	68,38	69,31	68,49	68,73	0,89	1180,59	68	14,31779	973,61	866,51	828,28	865,24	800	68,3	69,9	0,89	0,89	91,17
	2	68,68	69,55	68,21	68,81	0,89	1180,18	65	14,31779	930,66	828,28	865,24	800	68,3	69,9	0,89	0,89		
	3	67,29	67,99	68,55	67,94	0,90	1181,77	70	14,31779	1002,25	900,94	828,28	865,24	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
6,0%	1	66,55	67,25	66,28	66,69	0,93	1182,87	75	14,31779	1073,83	998,80	918,98	984,31	800	65,1	66,7	0,96	0,93	91,73
	2	67,88	67,25	66,54	67,22	0,92	1180,48	70	14,31779	1002,25	918,98	984,31	800	66,7	68,3	0,93	0,89		
	3	66,06	66,22	66,39	66,22	0,94	1181,66	77	14,31779	1102,47	1035,15	918,98	984,31	800	65,1	66,7	0,96	0,93	
6,5%	1	66,55	66,55	66,68	66,59	0,93	1175,87	66	14,31779	944,97	880,72	823,14	800	800	65,1	66,7	0,96	0,93	90,91
	2	67,25	66,28	67,19	66,91	0,92	1177,89	70	14,31779	1002,25	926,91	881,79	800	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
	3	66,06	67,12	67,07	66,75	0,93	1175,28	63	14,31779	902,02	837,75	881,79	800	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
7,0%	1	65,87	66,82	66,41	66,37	0,94	1175,54	59	14,31779	844,75	790,90	842,34	823,14	800	65,1	66,7	0,96	0,93	90,16
	2	67,28	67,11	67,00	67,13	0,92	1174,87	64	14,31779	916,34	842,34	823,14	800	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
	3	66,58	67,01	66,87	66,82	0,93	1174,88	63	14,31779	902,02	836,17	842,34	823,14	800	66,7	68,3	0,93	0,89	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
R. Pratiwi Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 51 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70



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.uii.ac.id

Lampiran 51. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2024

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	Rongga dalam Camp (VITM)			Angka Koreksi	Stabilitas		Kelelahan Plastis ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )
				di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dalam camp (VITM)	Rongga dalam Agrgt (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFWA)		di Baca	di Sesuaikan		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O		
		% Total Campuran	100 - $\frac{100-B}{C} \times \frac{B}{T}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$\frac{C-H \times 100}{C}$	$\frac{100 - (H \times (100-B))}{G}$	$\frac{B \times H / T}{(B \times H / T) + 1} \times 100\%$	Data Pemb. Prov. Ring	Data Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. Lab	M	
1	70,32	5	2,416	1181,1	669,16	1186,53	517,37	2,283				77	945,298	2,31		
	72,32			1182,46	667,24	1187,74	520,5	2,272				73	896,192	2,32		
	71,56			1181,65	664,54	1186,24	521,7	2,265				74	908,468	2,15		
	<b>71,4</b>							<b>2,273</b>	<b>5,927</b>	<b>15,578</b>	<b>64,57</b>	<b>0,830</b>	<b>74,67</b>	<b>916</b>	<b>2,260</b>	<b>405,310</b>
2	69,35	5,5	2,400	1176,09	663,65	1181,95	518,3	2,269				82	1008,872	2,45		
	72,84			1176,09	664,2	1180,43	516,23	2,278				80	984,265	2,56		
	71,45			1175,98	662,74	1180,98	518,24	2,269				86	1058,085	2,53		
	<b>71,2133</b>							<b>2,272</b>	<b>5,32</b>	<b>16,06</b>	<b>69,067</b>	<b>0,8318</b>	<b>82,67</b>	<b>1017</b>	<b>2,513</b>	<b>404,642</b>
3	70,23	6	2,384	1176,22	661,73	1181,95	520,22	2,261				93	1160,227	2,98		
	69,68			1176,95	662,57	1180,4	517,83	2,273				90	1122,800	2,89		
	70,12			1175,86	662,34	1180,58	518,04	2,27				94	1172,703	2,87		
	<b>70,01</b>							<b>2,268</b>	<b>4,85</b>	<b>16,65</b>	<b>72,730</b>	<b>0,843</b>	<b>92,33</b>	<b>1151</b>	<b>2,913</b>	<b>395,680</b>
4	69,4	6,5	2,368	1174,46	657,15	1178,47	521,32	2,253				82	1034,538	3,26		
	68,46			1170,93	660,22	1176,54	516,32	2,268				83	1047,154	3,19		
	69,22			1172,38	661,26	1178,46	517,2	2,267				81	1021,921	3,16		
	<b>69,0267</b>							<b>2,262</b>	<b>4,46</b>	<b>17,31</b>	<b>75,809</b>	<b>0,853</b>	<b>82,00</b>	<b>1034</b>	<b>3,203</b>	<b>322,789</b>
5	67,18	7	2,352	1171,54	655,32	1175,71	520,39	2,251				75	946,224	3,65		
	67,65			1171,79	657,29	1175,22	517,93	2,262				78	984,072	3,59		
	67,11			1170,96	656,87	1175,49	518,62	2,258				74	933,607	3,68		
	<b>67,3133</b>							<b>2,257</b>	<b>4,03</b>	<b>17,94</b>	<b>78,843</b>	<b>0,879</b>	<b>75,67</b>	<b>954</b>	<b>3,640</b>	<b>262,688</b>
	4 - 7								4-5	-15	-65		75,67	954	3,640	200 - 350



Dibagikan Oleh  
Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Bernardus C. M. Eng. FPM IASPHAN Eng.  
NIK : 01 274 0191

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Wahjatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007



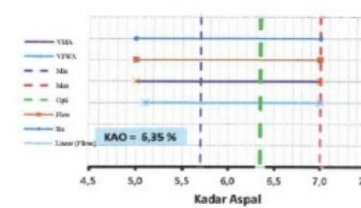
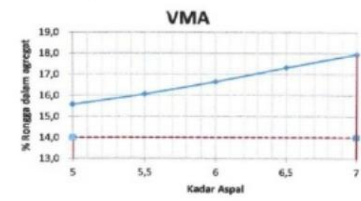
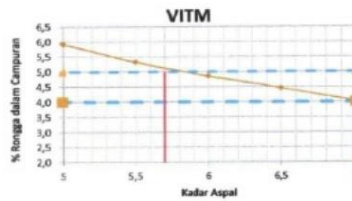
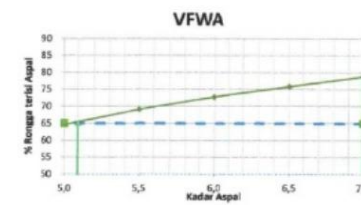
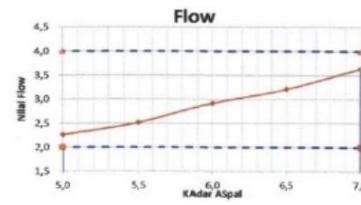
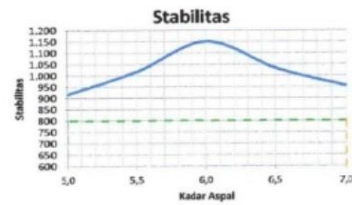
FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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.uii.ac.id

Lampiran 51. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KAO Bahan Ikut PG-70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2024



Disiapkan Oleh  
Mentor : *[Signature]*  
Dibuat dan Ditinjau oleh  
Mentor : *[Signature]*  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
YOGYAKARTA  
Ir. Perintah Kusnanto, M.Eng., IPM., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalih Wulan Rayu  
*[Signature]*  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 52 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 52. Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70

**IRS CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2024

Persen Aspal (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)			
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN		MAX		
5,0%	1	70,29	70,88	70,55	70,57	0,86	1181,27	66	14,31779	944,97	815,58		69,9	71,4	0,89	0,83	90,91	
	2	69,49	70,54	69,66	69,90	0,89	1184,57	66	14,31779	944,97	841,03	832,70	800	68,3	69,9	0,89		0,89
	3	71,21	70,27	69,18	70,22	0,88	1181,55	67	14,31779	959,29	841,49			69,9	71,4	0,89		0,83
5,5%	1	69,17	68,51	69,35	69,01	0,89	1178,69	76	14,31779	1088,15	968,46			68,3	69,9	0,89	0,89	92,30
	2	69,44	69,72	68,66	69,27	0,89	1180,57	76	14,31779	1088,15	968,46	938,72	800	68,3	69,9	0,89	0,89	
	3	69,38	68,29	69,47	69,05	0,89	1182,68	69	14,31779	987,93	879,26			68,3	69,9	0,89	0,89	
6,0%	1	69,11	68,88	69,25	69,08	0,89	1176,89	83	14,31779	1188,38	1057,66			68,3	69,9	0,89	0,89	93,00
	2	69,38	69,31	68,49	69,06	0,89	1177,28	83	14,31779	1188,38	1057,66	1070,40	800	68,3	69,9	0,89	0,89	
	3	68,29	68,99	68,55	68,61	0,89	1179,68	86	14,31779	1231,33	1095,88			68,3	69,9	0,89	0,89	
6,5%	1	68,22	67,55	68,02	67,93	0,90	1175,87	74	14,31779	1059,52	952,77			66,7	68,3	0,93	0,89	91,77
	2	67,88	68,11	67,92	67,97	0,90	1177,89	72	14,31779	1030,88	925,99	948,88	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
	3	68,39	67,25	67,90	67,85	0,90	1175,28	75	14,31779	1073,83	967,88			66,7	68,3	0,93	0,89	
7,0%	1	67,28	67,88	67,54	67,57	0,91	1175,54	63	14,31779	902,02	819,34			66,7	68,3	0,93	0,89	90,12
	2	67,06	68,06	67,58	67,57	0,91	1174,87	68	14,31779	973,61	884,36	859,79	800	66,7	68,3	0,93	0,89	
	3	66,03	66,22	66,54	66,26	0,94	1174,88	65	14,31779	930,66	875,67			66,7	68,3	0,93	0,89	

Disahkan Oleh  
Mantan Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
Ir. Berhan Kusnanti, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.  
NIP. 1971 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 53 Rekapitulasi Hasil Pengujian Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70 & PEN 60/70

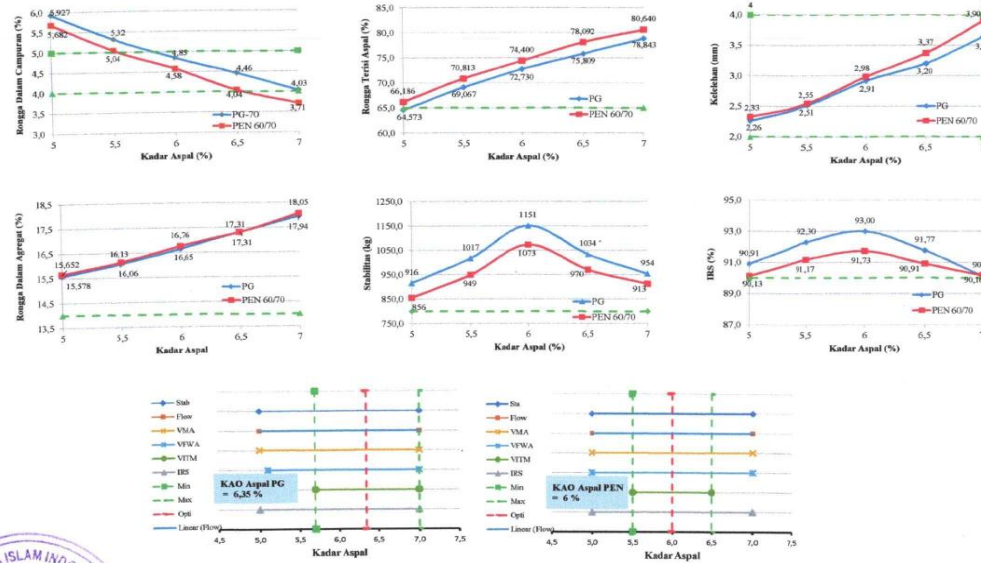


FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 53 Rekapitulasi Hasil Pengujian Untuk Mencari KAO Bahan Ikat PG-70 & PEN 60/70

REKAPITULASI KADAR ASPAL OPTIMUM



Mengetahui  
Kedua Jalan Raya  
Giri Edhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Mengetahui  
Kedua Jalan Raya  
Giri Edhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Edhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Lampiran 54 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 54. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PEN 60/70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR KARET OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKUT PEN 60/70**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : September 2024

No. Benda Uji	Kadar Karet (%)	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal Optimum	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelahan Plastik ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )		
					di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm camp (VIM)	Rongga dalam Agrgt (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFA)	Angka Koreksi	di Baca			di Sesuaikan	
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O				
				100	Data	Data	Data	F - E	D / G	C - H x 100	100 -	B x H / T	Data	Nilai	Data	M		
			% Total Campuran	100-B + B	Timbangan Laborat	Timbangan Laborat	Timbangan Laborat			-----	( H x (100-B) ) / Gab	( B x H / T ) x 100%	Prov. Ring	Stabilitas (kg)	Penabc. Lab	-----	N	
				Gae T						C								
1	0	69,18 69,59 69,98 <b>69,5833</b>	6	2,374	1175,28 1177,55 1176,18	662,16 663,24 662,54	1180,58 1182,11 1183,20	518,42 518,87 520,66	2,267 2,269 2,259		<b>4,586</b>	16,76	74,37	<b>0,848</b>	<b>80,67</b>	<b>1011</b>	<b>3,113</b>	<b>32-4,732</b>
2	2	70,25 70,32 69,87 <b>70,1467</b>	6	2,374	1180,25 1177,69 1179,18	666,11 661,57 666,94	1186,33 1183,22 1184,62	520,22 521,65 517,68	2,269 2,258 2,278		<b>4,45</b>	16,65	74,969	<b>0,8421</b>	<b>90,00</b>	<b>1121</b>	<b>3,267</b>	<b>34-3,163</b>
3	4	71,25 70,99 70,28 <b>70,84</b>	6	2,374	1179,11 1181,57 1177,84	668,59 669,25 661,61	1185,79 1189,17 1182,35	517,2 519,92 520,74	2,28 2,273 2,262		<b>4,33</b>	16,54	75,503	<b>0,835</b>	<b>98,67</b>	<b>1219</b>	<b>3,387</b>	<b>35-9,941</b>
4	6	71,58 72,64 71,55 <b>71,9233</b>	6	2,374	1176,65 1178,87 1173,55	659,55 660,27 659,55	1181,47 1185,41 1176,46	521,92 525,14 516,91	2,254 2,245 2,27		<b>4,96</b>	17,09	72,774	<b>0,823</b>	<b>82,67</b>	<b>1006</b>	<b>4,060</b>	<b>24-7,783</b>
			4-7							4-5	-15	-65		min 800	2-4	200 - 350		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berlian Kushari, M.Eng. I.P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalak Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007



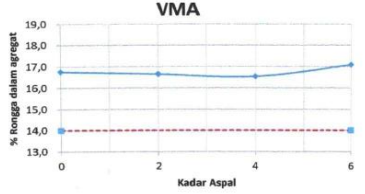
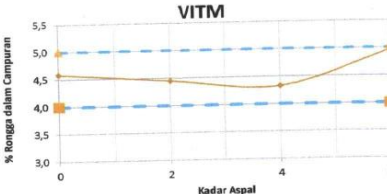
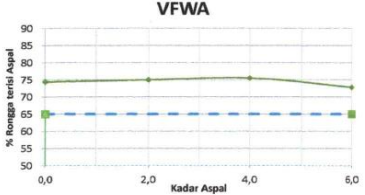
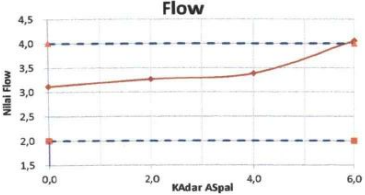
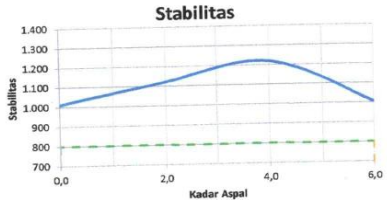
FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 54. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70

**MARSHALL UNTUK Mencari KADAR KARET OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : September 2024



Dibuat dan Oleh  
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA

Mengetahui  
Kajab. Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 55 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 55. Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PEN 60/70

**IRS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PEN 60/70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

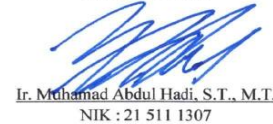
Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : September 2024

Persen Karet (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)		
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN		MAX	
0,0%	1	69,91 70,02 69,83	69,92	0,89	1179,84	74	14,31779	1059,52	942,12			800	69,9	71,4	0,89	0,83	91,74
	2	69,95 69,89 70,11	69,98	0,89	1179,55	69	14,31779	987,93	879,26	927,48	800	68,3	69,9	0,89	0,89		
	3	70,15 70,08 69,98	70,07	0,88	1180,49	76	14,31779	1088,15	961,06			69,9	71,4	0,89	0,83		
2,0%	1	69,96 70,16 70,12	70,08	0,89	1178,28	80	14,31779	1145,42	1019,43			800	68,3	69,9	0,89	0,89	92,08
	2	70,22 69,98 69,87	70,02	0,89	1179,55	79	14,31779	1131,11	1006,68	1032,17	800	68,3	69,9	0,89	0,89		
	3	70,19 70,26 69,65	70,03	0,89	1180,81	84	14,31779	1202,69	1070,40			68,3	69,9	0,89	0,89		
4,0%	1	70,59 70,98 70,85	70,81	0,89	1180,15	90	14,31779	1288,60	1146,86			800	68,3	69,9	0,89	0,89	92,69
	2	71,02 70,89 70,77	70,89	0,89	1180,59	87	14,31779	1245,65	1108,63	1129,86	800	68,3	69,9	0,89	0,89		
	3	70,85 70,68 70,87	70,80	0,89	1179,88	89	14,31779	1274,28	1134,11			68,3	69,9	0,89	0,89		
6,0%	1	71,08 71,22 71,18	71,16	0,82	1178,92	76	14,31779	1088,15	890,65			800	66,7	68,3	0,93	0,89	90,73
	2	70,98 71,05 71,41	71,15	0,82	1178,9	81	14,31779	1159,74	949,63	912,79	800	66,7	68,3	0,93	0,89		
	3	71,54 71,84 71,82	71,73	0,80	1179,12	78	14,31779	1116,79	898,08			66,7	68,3	0,93	0,89		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti



Lampiran 56 Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 56. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR KARET OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : September 2024

No. Benda Uji	Kadar Karet (%)	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal Optimum	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	Rongga dan Agregat (%)			Angka Koreksi	Stabilitas		Kelelahan Plastik ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )
					di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dan camp (VITM)	Rongga dalam Agregat (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFA)		di Baca	di Sesuaikan		
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O			
			% Total Campuran	$\frac{100}{100-B} + \frac{B}{T}$	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	$C - H \times 100$	$100 - \frac{H \times (100-B)}{G}$	$\frac{B \times H}{T} + \frac{B \times H}{T} \times 100\%$		Data Pombe. Prev. Ring	Nilai Stabilitas (g)	Data Pombe. Lab	M
1	0	68,57 69,26 69,33 69,0533	6,35	2,372	1177,61 1180,59 1176,34	661,16 664,24 661,54	1182,22 1185,62 1181,20	521,06 521,38 521,66	2,26 2,264 2,255					91 84 89	1147,737 1059,450 1122,512	3,24 3,12 3,02	
2	2	69,35 72,84 71,45 71,2133	6,35	2,372	1180,69 1179,58 1176,66	664,52 663,88 661,94	1185,29 1184,27 1182,28	520,77 520,39 520,34	2,267 2,267 2,261	2,259 4,783	17,29	74,03	0,853	88,00	1109	3,127	354,691
3	4	70,23 69,68 70,12 70,01 70,58 72,55 71,75 71,6267	6,35	2,372	1177,28 1176,97 1177,55	660,98 663,25 661,54	1181,59 1180,33 1180,34	520,61 517,08 518,8	2,261 2,276 2,27	2,265 4,53	17,07	75,112	0,818	103,33	1271	3,340	380,539
4	6	70,01 70,58 72,55 71,75 71,6267	6,35	2,372	1175,77 1177,24 1174,19	658,11 660,27 659,55	1180,47 1182,54 1179,46	522,36 522,27 519,91	2,251 2,254 2,258	2,254 4,99	17,47	73,165	0,827	83,33	1019	3,900	261,282
										4-5	-15	-65		min 800		2-4	200 - 350

Ditaskan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
SEAN, Eng  
NIK : 51 51 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007



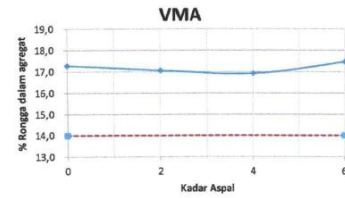
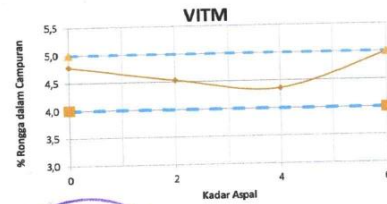
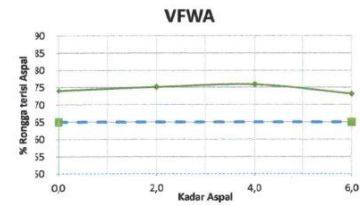
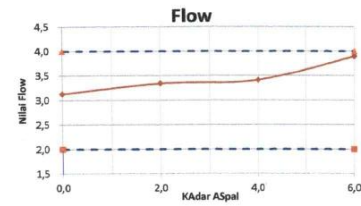
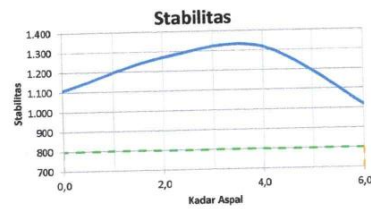
FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 56. Hasil Pengujian Marshall Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PG-70

**MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR KARET OPTIMUM CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : September 2024



Disahkan Oleh  
Mangsa Laksana Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAN PERENCANAAN  
di Betan, Kabupaten Bantul, ASEA, Eng.  
Yogyakarta, NIK: 01 516 010

Mengetahui  
Kalah Jalan Raya  
I. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 57 Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 57. Hasil Pengujian IRS Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70

**IRS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : September 2024

Persen Karet (%)		Tebal Sampel (mm)			Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jan (kg)			Angka Koreksi		IRS (%)	
								Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN		MAX
0,0%	1	69,88	70,28	69,75	69,97	0,89	1179,84	80	14,31779	1145,42	1016,22			69,9	71,4	0,89	92,06
	2	70,28	70,54	70,84	70,55	0,89	1179,55	78	14,31779	1116,79	993,94	1020,93	800	68,3	69,9	0,89	
	3	70,65	70,98	69,95	70,53	0,86	1180,49	85	14,31779	1217,01	1052,63			69,9	71,4	0,89	
2,0%	1	70,68	69,98	70,12	70,26	0,89	1178,28	96	14,31779	1374,51	1223,31			68,3	69,9	0,89	92,91
	2	69,87	70,24	69,98	70,03	0,89	1179,55	92	14,31779	1317,24	1172,34	1180,84	800	68,3	69,9	0,89	
	3	71,61	70,99	69,34	70,65	0,89	1180,81	90	14,31779	1288,60	1146,86			68,3	69,9	0,89	
4,0%	1	70,98	70,21	70,55	70,58	0,89	1180,15	96	14,31779	1374,51	1223,31			68,3	69,9	0,89	93,14
	2	71,01	70,31	70,99	70,77	0,89	1180,59	99	14,31779	1417,46	1261,54	1227,56	800	68,3	69,9	0,89	
	3	70,24	69,89	69,95	70,03	0,89	1179,88	94	14,31779	1345,87	1197,83			68,3	69,9	0,89	
6,0%	1	71,22	70,98	71,14	71,11	0,82	1178,92	81	14,31779	1159,74	950,60			66,7	68,3	0,93	91,20
	2	71,65	71,19	71,20	71,35	0,81	1178,9	78	14,31779	1116,79	908,88	929,34	800	66,7	68,3	0,93	
	3	71,16	71,04	70,99	71,06	0,82	1179,12	79	14,31779	1131,11	928,54			66,7	68,3	0,93	

Disahkan Oleh  
Mandor Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIM : 21 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 58 Hasil Pengujian ITS Untuk Mencari KKO Bahan Ikat Pen 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 58. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70

ITS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
0,0%	1	69,89	70,21	70,18	70,09	0,882	3,99	3,99	4,00	3,99	0,156	30	31,56	946,80	378,91		829,35	
	2	70,08	70,29	70,57	70,31	0,865	4,00	4,00	4,00	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	433,51	404,08	943,20	881,06
	3	70,54	70,37	70,65	70,52	0,873	4,00	3,99	3,99	3,99	0,157	32	31,56	1009,92	399,83		870,62	
2,0%	1	70,19	70,56	70,24	70,33	0,873	4,00	3,98	3,99	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	437,31		954,04	
	2	70,34	70,15	70,26	70,25	0,890	4,00	3,98	3,99	3,99	0,156	36	31,56	1136,16	458,67	439,55	1001,78	957,93
	3	70,87	70,28	70,17	70,44	0,868	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	34	31,56	1073,04	422,68		917,98	
4,0%	1	71,05	71,14	71,02	71,07	0,843	3,99	3,99	4,00	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	482,84		1042,32	
	2	70,89	71,26	71,00	71,05	0,844	4,00	4,00	4,00	3,99	0,157	39	31,56	1230,84	471,21	482,44	1018,40	1041,40
	3	71,13	71,08	71,21	71,14	0,840	4,00	3,99	3,99	3,99	0,156	41	31,56	1293,96	493,26		1063,49	
6,0%	1	71,52	71,71	71,26	71,50	0,826	3,98	4,00	3,99	3,99	0,156	36	31,56	1136,16	425,76		911,01	
	2	71,61	71,84	71,66	71,70	0,818	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	40	31,56	1262,40	468,33	446,04	999,21	952,36
	3	71,85	71,75	71,63	71,74	0,816	4,00	4,00	3,99	3,99	0,156	38	31,56	1199,28	444,04		946,87	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnadi, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 59 Hasil Penguujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70



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.uii.ac.id

Lampiran 59. Hasil Penguujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70

ITS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		0,0%	1	69,94	70,02		69,92	69,96	0,890	4,00		4,00	4,00	4,00	0,156	29	31,56	915,24
	2	70,11	70,24	69,95	70,10	0,887	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	30	31,56	946,80	380,91	367,21	831,28	802,70
	3	69,98	70,03	69,92	69,98	0,876	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	28	31,56	883,68	351,24		768,35	
2,0%	1	70,28	70,14	70,31	70,24	0,876	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	32	31,56	1009,92	401,42		874,78	
	2	70,35	70,18	70,20	70,24	0,890	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	420,45	402,69	916,26	876,79
	3	70,51	70,39	70,28	70,39	0,870	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	31	31,56	978,36	386,21		839,34	
4,0%	1	70,98	71,27	70,96	71,07	0,843	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	38	31,56	1199,28	458,70		987,98	
	2	71,00	70,94	71,04	70,99	0,846	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	38	31,56	1199,28	460,36	446,31	992,64	961,10
	3	71,24	71,05	71,31	71,20	0,838	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	35	31,56	1104,60	419,88		902,68	
6,0%	1	71,56	71,44	71,33	71,44	0,828	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	31	31,56	978,36	367,57		787,09	
	2	71,59	70,89	71,02	71,17	0,839	3,99	4,00	3,99	3,99	0,156	34	31,56	1073,04	408,53	389,32	878,20	834,91
	3	71,67	71,44	71,13	71,41	0,829	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	391,85		839,44	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng., TPM., ASEAN.Eng.  
YOGYAKARTA, 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 60 Hasil Pengujian ITS Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 60. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PG-70

ITS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
0,0%	1	70,24	69,85	69,89	69,99	0,886	4,00	3,98	3,99	3,99	0,156	39	31,56	1230,84	494,81		1084,67	
	2	69,81	70,25	69,95	70,00	0,889	4,00	3,98	3,99	3,99	0,156	33	31,56	1041,48	419,76	452,65	917,33	991,58
	3	70,18	69,34	70,29	69,94	0,885	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	35	31,56	1104,60	443,39		972,74	
2,0%	1	69,87	70,26	69,95	70,03	0,885	4,00	4,00	3,99	3,99	0,156	39	31,56	1230,84	494,07		1080,96	
	2	69,55	69,88	69,68	69,70	0,890	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	36	31,56	1136,16	458,67	484,43	1008,82	1059,70
	3	70,49	70,29	70,11	70,30	0,874	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	40	31,56	1262,40	500,55		1089,33	
4,0%	1	70,58	70,81	70,24	70,54	0,864	4,00	3,99	4,00	3,99	0,156	45	31,56	1420,20	556,76		1209,41	
	2	70,95	70,54	70,83	70,77	0,855	4,00	4,00	4,00	3,99	0,157	39	31,56	1230,84	477,39	518,31	1035,78	1123,41
	3	71,05	70,87	71,08	71,00	0,846	4,00	3,99	3,99	3,99	0,156	43	31,56	1357,08	520,77		1125,02	
6,0%	1	70,99	71,11	71,08	71,06	0,844	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	37	31,56	1167,72	446,84		961,99	
	2	71,24	70,95	71,04	71,08	0,843	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	44	31,56	1388,64	530,95	482,28	1142,81	1037,79
	3	71,26	71,08	71,10	71,15	0,840	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	39	31,56	1230,84	469,05		1008,59	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 61 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 61. Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70

ITS UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		0,0%	1	69,55	69,81		69,98	69,78	0,890	4,00		4,00	3,99	4,00	0,156	33	31,56	1041,48
	2	69,86	69,59	69,82	69,76	0,909	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	455,42	422,74	998,78	929,34
	3	69,48	69,53	69,27	69,43	0,884	4,00	4,00	3,99	4,00	0,156	31	31,56	978,36	392,36		866,36	
2,0%	1	69,88	70,18	70,08	70,05	0,884	3,98	4,00	3,99	3,99	0,156	38	31,56	1199,28	480,96		1053,76	
	2	69,95	69,85	70,01	69,94	0,890	4,00	3,98	4,00	4,00	0,156	35	31,56	1104,60	445,93	456,41	976,54	998,63
	3	70,05	69,99	70,20	70,08	0,883	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	35	31,56	1104,60	442,32		965,59	
4,0%	1	70,29	71,17	70,89	70,78	0,855	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	40	31,56	1262,40	489,40		1058,56	
	2	69,85	70,28	70,81	70,31	0,873	4,00	4,00	4,00	3,99	0,157	43	31,56	1357,08	537,68	497,35	1174,23	1078,07
	3	71,52	71,18	71,29	71,33	0,833	3,98	3,99	3,99	3,98	0,157	39	31,56	1230,84	464,96		1001,41	
6,0%	1	71,08	71,24	71,29	71,20	0,838	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	37	31,56	1167,72	443,80		953,52	
	2	71,19	70,98	71,05	71,07	0,843	4,00	4,00	4,00	3,98	0,156	39	31,56	1230,84	470,69	436,31	1013,15	937,76
	3	71,27	71,45	71,11	71,28	0,835	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	394,44		846,59	

Disahkan Oleh  
Masyarakat Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kusnan, M.Eng., I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

# Lampiran 62 Hasil Pengujian ITS dan Nilai TSR Untuk Mencari KKO



**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

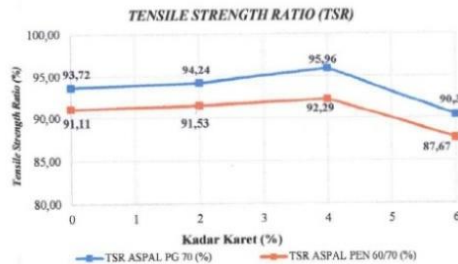
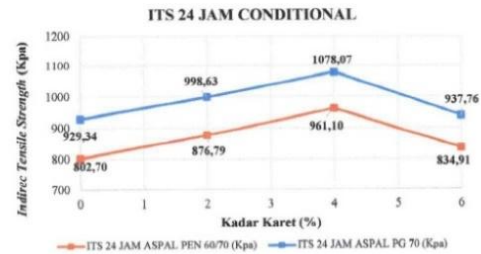
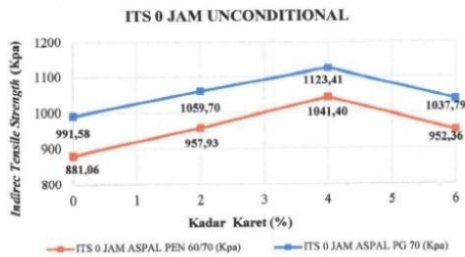
Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 62. Hasil Pengujian ITS Dan Nilai TSR Untuk Mencari KKO

## REKAPITULASI ITS DAN NILAI TSR UNTUK MENCARI NILAI KKO

KADAR KARET (%)	ITS 0 JAM ASPAL PG 70 (Kpa)	ITS 24 JAM ASPAL PG 70 (Kpa)	TSR ASPAL PG 70 (%)
0	991,58	929,34	93,72
2	1059,70	998,63	94,24
4	1123,41	1078,07	95,96
6	1037,79	937,76	90,36

KADAR KARET (%)	ITS 0 JAM ASPAL PEN 60/70 (Kpa)	ITS 24 JAM ASPAL PEN 60/70 (Kpa)	TSR ASPAL PEN 60/70 (%)
0	881,06	802,70	91,11
2	957,93	876,79	91,53
4	1041,40	961,10	92,29
6	952,36	834,91	87,67



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Barlian Kushari, M.Eng, I.R.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalah Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 63 Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 63. Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikatan PG-70

CL UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Kadar Karet (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1182,54	1180,98	1179,85
	2	Berat Sesudah Abrasi	1134,68	1133,65	1120,21
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,05	4,01	5,05
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,03	
2%	1	Berat Sebelum Abrasi	1179,66	1181,02	1180,21
	2	Berat Sesudah Abrasi	1138,21	1136,98	1139,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,51	3,73	3,47
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,57	
4%	1	Berat Sebelum Abrasi	1180,21	1180,95	1181,05
	2	Berat Sesudah Abrasi	1146,18	1140,88	1145,97
	3	Persentase Kehilangan Berat	2,88	3,39	2,97
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		2,93	
6%	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,17	1181,57	1181,22
	2	Berat Sesudah Abrasi	1143,25	1140,27	1138,97
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,21	3,50	3,58
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,43	

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

*(Handwritten Signature)*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

*(Handwritten Signature)*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

# Lampiran 64 Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 64. Hasil Pengujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70

## CL UNTUK MENCARI KKO PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)

Kadar Karet (%)	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
0%	1	Berat Sebelum Abrasi	1180,57	1181,05	1180,22
	2	Berat Sesudah Abrasi	1125,47	1120,57	1123,59
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,67	5,12	4,80
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,73	
2%	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,31	1181,40	1180,11
	2	Berat Sesudah Abrasi	1128,21	1130,88	1129,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,50	4,28	4,31
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,36	
4%	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,88	1180,94	1181,24
	2	Berat Sesudah Abrasi	1136,18	1134,85	1136,77
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,87	3,90	3,76
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,84	
6%	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,90	1181,89	1181,58
	2	Berat Sesudah Abrasi	1133,25	1130,27	1134,97
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,12	4,37	3,94
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,14	

Disahkan Oleh  
 Kepala Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
 Ir. Benliar Kusri, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
 Kalab. Jalan Raya  
  
 Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
 Peneliti  
  
 Giri Widhiatmoko, S.T.  
 NIK : 22 510 4605

Lampiran 65 Hasil Penguujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70



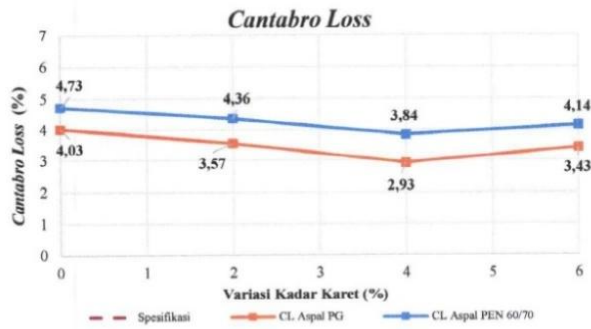
FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 65. Hasil Penguujian CL Untuk Mencari KKO Bahan Ikat PEN 60/70

REKAPITULASI CL UNTUK MENCARI NILAI KKO

Kadar Karet	CL Aspal PG	CL Aspal PEN 60/70	Spesifikasi
0	4,03	4,73	20
2	3,57	4,36	20
4	2,93	3,84	20
6	3,43	4,14	20



Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605



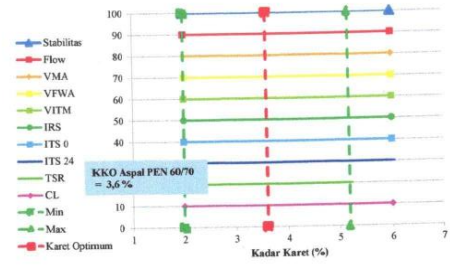
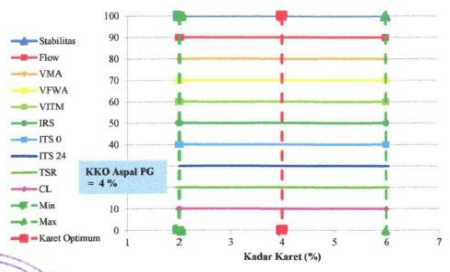
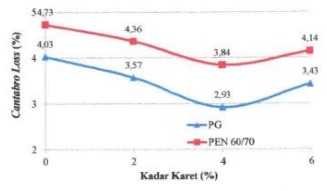


FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 66. Rekapitulasi Hasil Pengujian Untuk Mencari KKO Bahan Ikut PG-70 & PEN 60/70

**REKAPITULASI KADAR KARET OPTIMUM**



Disahkan Oleh  
*[Signature]*  
Ir. Budi Hartono, S.T., M.T., ASEP, Eng.  
NIK: 01211001

Mengetahui  
*[Signature]*  
Ir. Mubandari Nohil Hadi, S.T., M.T.  
NIK: 21.511.1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NM: 23.914.007



Lampiran 68 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyrotory Bahan Ikat PEN 60/70



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.uii.ac.id

Lampiran 68. Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyrotory Bahan Ikat PEN 60/70

**MARSHALL PEMADATAN GYRATORY BAHAN IKAT PEN 60/70**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : Agustus 2025

No. Benda Uji	Ket	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal Optimum	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	Rongga (%)			Angka Koreksi	Stabilitas		Kelelehan Plastis ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )
					di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dim camp (VITM)	Rongga dalam Agreg (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFA)		di Baca	di Sematkan		
				100 Total Campuran	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x I C	100 - ( H x (100-B) ) / Gb	B x H / T ( B x H / T ) - I x 100%		Data Pembc. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pembc. Lab	M N
1	Aspal PEN	A	64,7	6	2,374	1146,12	657,78	1151,87	-494,09	2,32				99	1404,546	3,14	
		B	63,36														
				64,03					2,275	4,165	16,393	76,25	0,959	96,50	1369	3,175	431,181
2	Aspal PEN + 3,6% KKO	A	67,66	6	2,374	1244,06	712,61	1246,46	533,85	2,33				118	1577,576	3,28	
		B	64,63														
				66,145					2,28	3,95	16,21	77,232	0,9039	114,50	1530	3,260	469,325
				4 - 7						4 - 5	-15	-65		min 800	2 - 4	200 - 350	

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
H. Berhan Kusnan, M.Eng. (PM) ASHAN, Eng.  
NIK : 01.571.0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 69 Hasil Pengujian Marshall Pematatan Marshall Bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. 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.uii.ac.id

Lampiran 69. Hasil Pengujian Marshall Pematatan Konvensional Bahan Ikat PG-70

**MARSHALL PEMADATAN KONVENSIONAL BAHAN IKAT PG-70**  
DENGAN METODA MARSHALL ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Januari 2025

No. Benda Uji	Ket	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal Optimum	Berat Jenis Maks. 83	Berat ( Gram )			Ist	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelahan Plastis ( Flow )	Marshall Coefficient ( MQ )	
					di Ujara	dalam Air	SSD			Rongga di camp (VITM)	Rongga dalam Aggrg (VMA)	Rongga terisi Aspal (VFA)	Angka Koreksi	di Baca			di Sesuaikan
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
		%		100 - Total Campuran	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - ( H x (100-B) ) / Gb	B x H / T ( B x H / T ) - I x 100%	Data Pemb. Prov. Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. Lab	M	
1	Aspal PG-70	A	69.28	6.35	2,372	1178,63	662,25	1183,22	520,97	2,262				92	1157,760	3,24	N
		B	69.13		1180,62	664,2	1185,62	521,42	2,264	88	1107,422	3,22					
		C	69.34		1176,33	661,51	1183,20	521,69	2,255	89	1120,007	3,32					
		69.25								2,26	4,741	17,253	74,21	0,851	89,67	1128	3,260
2	Aspal PG-70 + 4% KKO	A	70.67	6.35	2,372	1179,22	662,98	1184,59	521,61	2,261				107	1331,669	3,28	
		B	69.88		1178,62	663,25	1183,33	520,08	2,266					103	1281,887	3,24	
		C	70.11		1177,85	661,54	1181,34	519,8	2,266					108	1344,114	3,5	
		70.22							2,264	4,57	17,11	74,939	0,8414	106,00	1319	3,340	394,910
		4 - 7								4,5	-15	-65		min 800	2-4	200 - 350	

Disahkan Oleh  
Nimang Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL  
DAFTAR PERENCANAAN  
Ir. Berhan Kurniawan, M.Eng., Ph.D., ASEAN Eng.  
NIM : 21 511 1307

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhammad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 70 Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyrotory Bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 70. Hasil Pengujian Marshall Pemadatan Gyrotory Bahan Ikat PG-70

**MARSHALL PEMADATAN GYRATORY BAHAN IKAT PG-70**  
DENGAN METODA MARSHALL, ( AASHTO : T 245 - 78 )

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2025

No. Benda Uji	Ket	Tinggi Benda Uji	Kadar Aspal Optimum	Berat Jenis Maks. G	Berat ( Gram )			Isi	Bj Bulk Campuran	( % )			Stabilitas		Kelelahan Plastik ( Flow )	Marshall Quotient ( MQ )	
					di Udara	dalam Air	SSD			Rongga dlm emp (VITM)	Rongga dalam Aggrt (VMA)	Rongga terisi Aspal (FWA)	Angka Koreksi	di Baca			di Sesuaikan
		A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	
				% Total Campuran	100	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	Data Timbangan Laborat	F - E	D / G	C - H x 100 / C	100 - (H x (100-B)) / Gab	B x E / T (B x H / T) + I x 10%	Data Pemb. Prov Ring	Nilai Stabilitas (kg)	Data Pemb. Lab	M
1	Aspal PG-70	A	67,76	6,35	2,372	1232,87	697,23	1237,02	539,79	2,284				120	1579,521	3,07	
		B	65,65			1074,94	602,7	1078,22	475,52	2,261					115	1513,708	3,10
									<b>2,272</b>	<b>4,235</b>	<b>16,814</b>	<b>7641</b>	<b>0,890</b>	<b>117,50</b>	<b>1546</b>	<b>3,070</b>	<b>503,583</b>
2	Aspal PG-70 + 4% KKO	A	66,39	6,35	2,372	1129,18	632,37	1135,52	503,15	2,244				126	1764,986	3,2	
		B	62,56			1139,02	652,2	1145,81	493,61	2,308					121	1694,947	3,24
									<b>2,276</b>	<b>4,06</b>	<b>16,67</b>	<b>77,89</b>	<b>0,9470</b>	<b>123,50</b>	<b>1729</b>	<b>3,220</b>	<b>536,957</b>
				4 - 7						4 - 5	-15	-65		min 800	2 - 4	200 - 350	

Disahkan Oleh  
Ketua Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
NIM : 015110101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 71 Hasil Pengujian IRS Pematatan *Marshall* Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 71. Hasil Pengujian IRS Pematatan Konvensional Bahan Ikat PEN 60/70

**IRS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : Januari 2025

Persen Karet (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)			
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN		MAX		
Aspal PEN	1	68,59	69,01	68,95	68,85	0,89	1182,67	76	14,31779	1088,15	968,46		68,3	69,9	0,89	0,89	91,29	
	2	69,31	70,14	69,88	69,78	0,89	1181,57	70	14,31779	1002,25	892,00	936,64	800	68,3	69,9	0,89		0,89
	3	69,22	70,05	69,97	69,75	0,90	1182,09	74	14,31779	1059,52	949,47			69,9	71,4	0,89		0,83
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	71,28	71,19	71,52	71,33	0,83	1182,39	95	14,31779	1360,19	1132,77		69,9	71,4	0,89	0,83	92,59	
	2	72,01	71,89	71,98	71,96	0,82	1182,69	97	14,31779	1388,83	1143,00	1134,18	800	71,4	73	0,83		0,81
	3	71,58	70,99	71,09	71,22	0,84	1182,97	94	14,31779	1345,87	1126,76			69,9	71,4	0,89		0,83

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
*[Signature]*  
Ir. Beban Kusnani, M.Eng., IPM., ASEAN, Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
*[Signature]*  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
*[Signature]*  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 72 Hasil Pengujian IRS Pematatan *Gyratory* Bahan Ikut PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 72. Hasil Pengujian IRS Pematatan *Gyratory* Bahan Ikut PEN 60/70

**IRS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKUT PEN 60/70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : *Superpave* Dengan Aspal PEN 60/70  
Diuji Pada : Agustus 2025

Persen Karet (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)		
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel		Koreksi			
												MIN	MAX	MIN	MAX		
Aspal PEN	1	65,49	65,64	64,83	65,32	0,96	1077,01	91	14,31779	1302,92	1245,43						92,39
	2	65,18	65,66	65,38	65,41	0,95	1102,31	94	14,31779	1345,87	1284,30	1264,86	800	65,1	66,7	0,96	
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	66,54	66,58	66,62	66,58	0,93	1085,09	105	14,31779	1503,37	1401,52						92,65
	2	66,93	66,88	66,63	66,81	0,93	1095,64	108	14,31779	1546,32	1433,70	1417,61	800	65,1	66,7	0,96	

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Betrian Kusnadi, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

Lampiran 73 Hasil Pengujian IRS Pematatan *Marshall* Bahan Ikatan PG-70



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. ftspuii.ac.id

Lampiran 73. Hasil Pengujian IRS Pematatan Konvensional Bahan Ikatan PG-70

**IRS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : Superpave Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Januari 2025

Persen Karet (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability				Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)		
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	MIN	MAX	MIN	MAX			
Aspal PG-70	1	70,45	70,24	69,88	70,19	0,88	1180,52	81	14,31779	1159,74	1018,72							
	2	69,58	70,12	69,84	69,85	0,89	1181,57	84	14,31779	1202,69	1070,40	1039,82	800	69,9	71,4	0,89	0,83	92,18
	3	70,11	70,54	69,98	70,21	0,88	1181,49	82	14,31779	1174,06	1030,35			69,9	71,4	0,89	0,83	
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	71,18	70,99	71,05	71,07	0,84	1182,24	100	14,31779	1431,78	1207,09							
	2	71,26	70,89	71,34	71,16	0,84	1181,67	104	14,31779	1489,05	1250,01	1228,99	800	69,9	71,4	0,89	0,83	93,18
	3	71,21	70,94	71,14	71,10	0,84	1181,97	102	14,31779	1460,41	1229,86			69,9	71,4	0,89	0,83	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnaga, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 23 914 007

Lampiran 74 Hasil Pengujian IRS Pematatan *Gyratory* Bahan Ikut PG-70



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.uii.ac.id

Lampiran 74. Hasil Pengujian IRS Pematatan *Gyratory* Bahan Ikut PG-70

**IRS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKUT PG-70 (PERENDAMAN) 24 JAM**

Campuran : *Superpave* Dengan Aspal PG-70  
Diuji Pada : Agustus 2025

Persen Karet (%)	Tebal Sampel (mm)	Rata2 Tebal 3 Sisi	Koreksi	Berat (gr)	Arloji Stability			Stability 24 Jam (kg)			Angka Koreksi				IRS (%)			
					Udara	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	MIN	Tebal Sampel	Koreksi	MIN		MAX	MIN	MAX
Aspal PG-70	1	63,8	64,84	64,7	64,45	0,98	1071,21	102	14,31779	1460,41	1425,85							
	2	64,08	64,51	64,39	64,33	0,98	1094,35	104	14,31779	1489,05	1458,28	1442,06	800	63,5	65,1	1	0,96	
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	70,28	69,76	70,27	70,10	0,88	1250,47	130	14,31779	1861,31	1641,43							
	2	68,95	68,55	68,72	68,74	0,89	1174,68	126	14,31779	1804,04	1605,60	1623,51	800	69,9	71,4	0,89	0,83	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIM : 23 914 007

# Lampiran 75 Hasil Pengujian Marshall dan IRS Pemadatan Marshall dan Gyratory



**FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN**

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

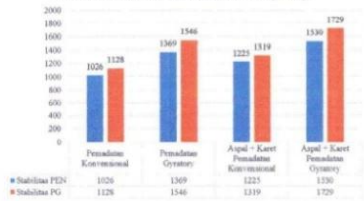
Lampiran 75. Hasil Pengujian Marshall dan IRS Pemadatan Konvensional Dan Gyratory

## REKAPITULASI MARSHALL DAN IRS PEMADATAN KONVENSIONAL DAN GYRATORY

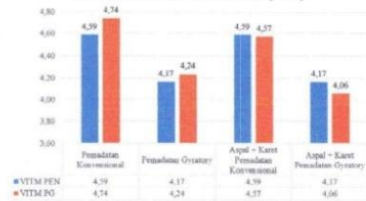
Keterangan	Pemadatan Konvensional	Pemadatan Gyratory	Aspal + Karet Pemadatan Konvensional	Aspal + Karet Pemadatan Gyratory
Stabilitas PEN	1026	1369	1225	1530
VITM PEN	4,59	4,17	4,59	4,17
VMA PEN	16,76	16,39	16,61	16,21
VFWA PEN	74,37	76,25	75,15	77,23
Flow PEN	3,44	3,18	3,51	3,26
IRS PEN	91,29	92,39	92,80	92,64

Keterangan	Pemadatan Konvensional	Pemadatan Gyratory	Aspal + Karet Pemadatan Konvensional	Aspal + Karet Pemadatan Gyratory
Stabilitas PG	1128	1546	1319	1729
VITM PG	4,74	4,24	4,57	4,06
VMA PG	17,25	16,81	17,11	16,67
VFWA PG	74,21	76,41	74,94	77,19
Flow PG	3,26	3,07	3,34	3,22
IRS PG	92,18	92,28	92,18	92,60

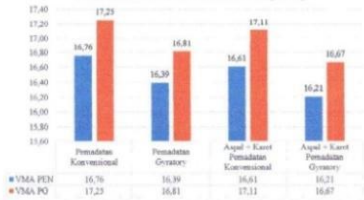
Stabilitas Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



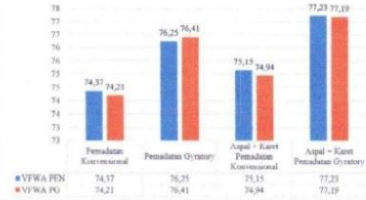
VITM Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



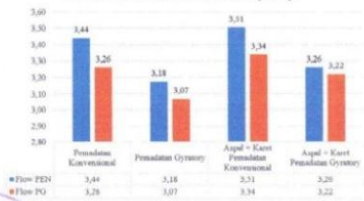
VMA Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



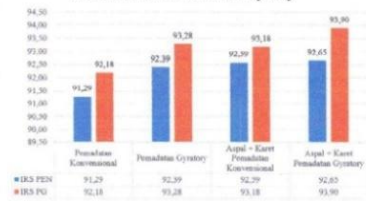
VFWA Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



Flow Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



IRS Pemadatan Konvensional Dan Gyratory



Dianalisis Oleh  
Mulya Nurrahma Jurusan Teknik Sipil  
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
Jl. Sekeloa Utara No. 1 Yogyakarta  
Telp. (0274) 895330  
Faks. (0274) 895330

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

*(Signature)*  
Ir. Mahamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

*(Signature)*  
Giri Widihamoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 76 Hasil Pengujian ITS Pemadatan Marshall Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. 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.uii.ac.id

Lampiran 76. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Pemadatan Konvensional Bahan Ikat PEN 60/70

ITS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		Aspal PEN	1	69,69	69,85		70,21	69,92	0,889	4,00		4,00	3,99	4,00	0,156	32	31,56	1009,92
	2	70,11	70,18	69,95	70,08	0,883	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	442,32	423,25	965,59	926,17
	3	69,97	69,89	69,91	69,92	0,889	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	420,01		920,44	
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	70,29	70,19	69,95	70,14	0,880	3,99	4,00	3,99	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	504,06		1102,33	
	2	71,25	71,08	69,68	70,67	0,890	4,00	3,99	4,00	3,99	0,156	37	31,56	1167,72	471,41	495,95	1022,18	1079,69
	3	70,59	70,11	70,28	70,33	0,873	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	41	31,56	1293,96	512,36		1114,55	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 77 Hasil Pengujian ITS Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 77. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70

ITS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
Aspal PEN	1	65,43	64,4	65,3	65,04	0,961	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	40	31,56	1262,40	550,53		1318,00	
	2	65,21	65,03	64,98	65,07	0,961	3,92	3,93	3,93	3,93	0,156	38	31,56	1199,28	522,60	536,56	1228,59	1273,30
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	66,00	65,76	65,36	65,71	0,949	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	44	31,56	1388,64	597,53		1417,52	
	2	65,39	65,57	65,68	65,55	0,952	3,93	3,93	3,92	3,93	0,159	45	31,56	1420,20	613,04	605,28	1457,73	1437,62

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, I.P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 78 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Marshall Bahan Ikut PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 78. Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam Pemadatan Konvensional Bahan Ikut PEN 60/70

ITS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKUT PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		Aspal PEN	1	70,25	70,02		70,21	70,16	0,880	4,00		4,00	3,99	4,00	0,156	30	31,56	946,80
	2	70,14	70,18	69,95	70,09	0,882	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	31	31,56	978,36	391,60	383,27	854,73	837,40
	3	70,21	69,89	69,91	70,00	0,886	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	30	31,56	946,80	380,45		832,80	
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	70,29	70,19	69,95	70,14	0,880	3,99	4,00	3,99	3,99	0,156	37	31,56	1167,72	466,26		1019,65	
	2	71,25	71,08	69,68	70,67	0,859	4,00	3,99	4,00	3,99	0,156	38	31,56	1199,28	467,40	457,01	1013,48	994,86
	3	70,59	70,11	70,28	70,33	0,873	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	35	31,56	1104,60	437,38		951,45	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kusnanti, M.Eng., P.M., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 79 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70



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@uii.ac.id

Lampiran 79. Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70

ITS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
Aspal PEN	1	65,9	65,39	66,3	65,86	0,946	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	35	31,56	1104,60	473,83		1120,59	
	2	65,28	65,11	65,08	65,16	0,938	3,93	3,93	3,93	3,93	0,156	38	31,56	1199,28	510,39	492,11	1198,36	1159,48
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	66,81	66,19	66,22	66,41	0,936	3,93	3,92	3,93	3,93	0,159	45	31,56	1420,20	602,65		1413,86	
	2	66,57	66,33	66,61	66,50	0,934	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	41	31,56	1293,96	548,02	575,34	1283,48	1348,67

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 80 Hasil Pengujian ITS Pematatan *Marshall* Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 80. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Pematatan Konvensional Bahan Ikatan PG-70

ITS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		Tebal	1	2	3		rata2	Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal
		Aspal PG-70	1	70,02	70,05	70,14	70,07	0,883	4,00	4,00	3,99	4,00	0,156	36	31,56	1136,16	455,17	
	2	70,15	70,17	70,05	70,12	0,881	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	504,52	458,07	1100,68	1000,10
	3	70,11	70,26	70,27	70,21	0,877	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	414,53		904,68	
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	70,50	70,85	70,34	70,56	0,863	3,99	4,00	3,99	3,99	0,156	42	31,56	1325,52	519,16		1128,60	
	2	70,87	70,27	70,55	70,56	0,863	4,00	3,99	4,00	3,99	0,156	42	31,56	1325,52	519,16	527,29	1127,42	1142,08
	3	71,26	70,44	71,47	71,06	0,844	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	45	31,56	1420,20	543,54		1170,22	

Disahkan Oleh  
 Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
 Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
 Kalab. Jalan Raya  
  
 Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
 Peneliti  
  
 Giri Widhiatmoko, S.T.  
 NIK : 22 510 4605

Lampiran 81 Hasil Pengujian ITS Pemadatan *Gyratory* bahan Ikat PG-70



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.uii.ac.id

Lampiran 81. Hasil Pengujian ITS (Tanpa Perendaman) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70

ITS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		Aspal PEN	1	66,14	66,86		66,34	66,45	0,935	3,93		3,92	3,93	3,93	0,159	46	31,56	1451,76
	2	66,28	66,91	66,57	66,59	0,932	3,92	3,93	3,93	3,93	0,156	48	31,56	1514,88	640,51	628,03	1471,58	1457,65
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	68,45	67,24	68,39	68,03	0,897	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	53	31,56	1672,68	680,45		1556,62	
	2	67,25	66,85	66,87	66,99	0,923	3,93	3,93	3,92	3,93	0,159	49	31,56	1546,44	647,28	663,86	1505,13	1530,88

Disahkan Oleh  
Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
 Ir. Berlian Kurniawan, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
 Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
 Giri Widhiatmoko, S.T.  
 NIK ; 22 510 4605

Lampiran 82 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan *Marshall* Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 82. Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan Konvensional Bahan Ikatan PG-70

ITS PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PG-70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		Aspal PG-70	1	70,24	70,19		70,34	70,26	0,876	4,00		4,00	3,99	4,00	0,156	35	31,56	1104,60
	2	70,85	70,49	70,68	70,67	0,859	4,00	3,98	4,00	3,99	0,156	35	31,56	1104,60	430,43	425,73	931,74	924,77
	3	70,56	70,50	70,62	70,56	0,864	4,00	4,00	3,98	4,00	0,156	33	31,56	1041,48	407,98		886,01	
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	70,29	70,19	69,95	70,14	0,880	3,99	4,00	3,99	3,99	0,156	40	31,56	1262,40	504,06		1102,33	
	2	71,25	71,08	69,68	70,67	0,859	4,00	3,99	4,00	3,99	0,156	38	31,56	1199,28	467,40	498,77	1013,48	1085,85
	3	70,59	70,11	70,28	70,33	0,873	4,00	4,00	4,00	4,00	0,156	42	31,56	1325,52	524,86		1141,74	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 83 Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikatan PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 83. Hasil Pengujian ITS (Perendaman 24 Jam) Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikatan PG-70

ITS PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKATAN PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Persen Karet %	No	Tebal Sampel (mm)				Angka Koreksi Tebal	Diameter Sampel (Inchi)				A0	Arloji Stability			Stability (kg)		ITS 0 JAM Kpa	
		1	2	3	rata2		1	2	3	rata2		Meas	Kalibrasi	Adjust	awal	rata2	awal	rata2
		Aspal PG-70	1	66,96	67,16		67,7	67,27	0,916	3,93		3,93	3,93	3,93	0,159	44	31,56	1388,64
	2	66,59	66,28	66,77	66,55	0,933	3,93	3,92	3,93	3,93	0,156	45	31,56	1420,20	600,96	588,86	1381,54	1358,18
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	67,28	67,37	66,29	66,98	0,923	3,93	3,93	3,93	3,93	0,159	46	31,56	1451,76	607,81		1413,95	
	2	66,39	66,58	66,94	66,64	0,931	3,93	3,92	3,93	3,93	0,159	49	31,56	1546,44	653,20	630,50	1526,80	1470,37

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
In. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 84 Hasil Pengujian ITS dan Nilai TSR Pemadatan Marshall dan Gyratory



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

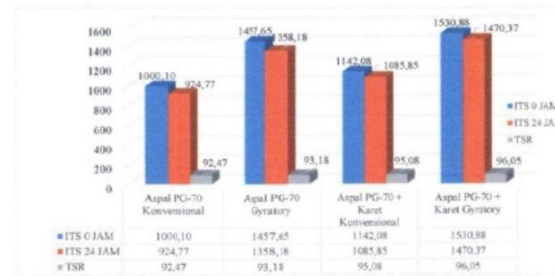
Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 84. Hasil Pengujian ITS Dan Nilai TSR Pemadatan Konvensional Dan Gyratory

REKAPITULASI ITS DAN NILAI TSR PEMADATAN KONVENSIONAL DAN GYRATORY

Keterangan	Aspal PEN 60/70 Konvensional	Aspal PEN 60/70 Gyratory	Aspal PEN 60/70 + Karet Konvensional	Aspal PEN 60/70 + Karet Gyratory
ITS 0 JAM	926,17	1273,30	1079,69	1437,62
ITS 24 JAM	837,40	1159,48	994,86	1348,67
TSR	90,42	91,06	92,14	93,81

Keterangan	Aspal PG-70 Konvensional	Aspal PG-70 Gyratory	Aspal PG-70 + Karet Konvensional	Aspal PG-70 + Karet Gyratory
ITS 0 JAM	1000,10	1457,65	1142,08	1530,88
ITS 24 JAM	924,77	1358,18	1085,85	1470,37
TSR	92,47	93,18	95,08	96,05



Disahkan Oleh  
Ketua Jurusan Teknik Sipil  
Yogyakarta, 14 Agustus 2025  
Dr. Berhan Kusnan, M.Eng., P.M., ASEAN Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
Giri Walhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 85 Hasil Pengujian CL Pematatan *Marshall* Bahan Ikat PEN 60/70



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.uii.ac.id

Lampiran 85. Hasil Pengujian CL Pematatan Konvensional Bahan Ikat PEN 60/70

CL PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1179,67	1180,24	1180,14
	2	Berat Sesudah Abrasi	1120,15	1122,57	1120,37
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,05	4,89	5,06
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,00		
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1182,64	1180,14	1180,35
	2	Berat Sesudah Abrasi	1136,08	1128,19	1126,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,94	4,40	4,59
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,49		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Bertlan Kusnanti, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 86 Hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 86. Hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70

CL PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (TANPA PERENDAMAN)


Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1168,74	1169,54	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1118,96	1120,01	
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,26	4,23	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		4,26	
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1159,67	1161,40	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1113,21	1115,18	
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,01	3,98	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,99	

Disahkan Oleh  
Manajemen Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti



Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 87 Hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70



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.uii.ac.id

Lampiran 87. Hasil Pengujian CL Pemadatan Konvensional Bahan Ikat PEN 60/70

CL PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1156,34	1054,29	1160,11
	2	Berat Sesudah Abrasi	1064,79	972,48	1068,68
	3	Persentase Kehilangan Berat	7,92	7,76	7,88
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	7,85		
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1047,43	1181,40	1164,57
	2	Berat Sesudah Abrasi	945,14	1100,88	1087,17
	3	Persentase Kehilangan Berat	9,77	6,82	6,65
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,73		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berhan Kurni, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 88 hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 896444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uui.ac.id

Lampiran 88. Hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PEN 60/70

CL PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PEN 60/70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1180,61	1181,05	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1105,47	1101,57	
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,36	6,73	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		6,55	
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,31	1181,40	
	2	Berat Sesudah Abrasi	1116,21	1113,88	
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,51	5,72	
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,61	

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng., IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 89 Hasil Pengujian CL Pemadatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 89. Hasil Pengujian CL Pemadatan Konvensional Bahan Ikat PG-70

CL PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
Aspal PG-70	1	Berat Sebelum Abrasi	1180,33	1175,05	1180,02
	2	Berat Sesudah Abrasi	1125,26	1120,21	1123,11
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,67	4,67	4,82
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,74		
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1181,31	1181,40	1180,11
	2	Berat Sesudah Abrasi	1128,21	1130,88	1129,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,50	4,28	4,31
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	4,36		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil



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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya



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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti



Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK : 22 510 4605

Lampiran 90 Hasil Pengujian CL Pematatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70



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.uii.ac.id

Lampiran 90. Hasil Pengujian CL Pematatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70

CL PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (TANPA PERENDAMAN)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji	
			1	2
Aspal PG-70	1	Berat Sebelum Abrasi	1234,58	1212,35
	2	Berat Sesudah Abrasi	1185,47	1159,57
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,98	4,35
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,98
Aspal PG-70 + 4% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1138,78	1151,40
	2	Berat Sesudah Abrasi	1096,21	1110,58
	3	Persentase Kehilangan Berat	3,74	3,55
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		3,64

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng, IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 91 Hasil Pengujian CL Pematatan *Marshall* bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 91. Hasil Pengujian CL Pematatan Konvensional Bahan Ikat PG-70


CL PEMADATAN KONVENSIONAL PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji		
			1	2	3
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1169,46	1156,87	1165,44
	2	Berat Sesudah Abrasi	1090,64	1075,57	1082,59
	3	Persentase Kehilangan Berat	6,74	7,03	7,11
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	6,96		
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1126,88	1139,64	1162,37
	2	Berat Sesudah Abrasi	1060,25	1070,88	1092,22
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,91	6,03	6,04
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler	5,99		

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti

  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 92 Hasil Pengujian CL Pematatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

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

Lampiran 92. Hasil Pengujian CL Pematatan *Gyratory* Bahan Ikat PG-70

CL PEMADATAN *GYRATORY* PADA CAMPURAN SUPERPAVE BAHAN IKAT PG-70 (PERENDAMAN 24 JAM)

Keterangan	No.	Keterangan	Benda Uji	
			1	2
Aspal PEN	1	Berat Sebelum Abrasi	1145,22	1181,05
	2	Berat Sesudah Abrasi	1077,47	1112,57
	3	Persentase Kehilangan Berat	5,92	5,80
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,86
Aspal PEN + 3,6% KKO	1	Berat Sebelum Abrasi	1155,69	1148,35
	2	Berat Sesudah Abrasi	1098,21	1089,68
	3	Persentase Kehilangan Berat	4,97	5,11
	4	Rata-Rata Berat Jenis Filler		5,04

Disahkan Oleh  
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
  
Ir. Berlian Kushari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.  
NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
Kalab. Jalan Raya  
  
Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
Peneliti  
  
Giri Widhiatmoko, S.T.  
NIK ; 22 510 4605

Lampiran 93 Hasil Pengujian CL dan Nilai ICL Pematatan *Marshall* dan *Gyratory*



FAKULTAS  
TEKNIK SIPIL  
& PERENCANAAN

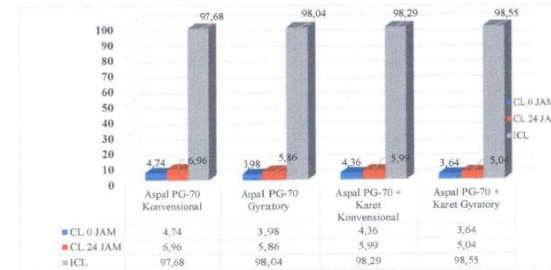
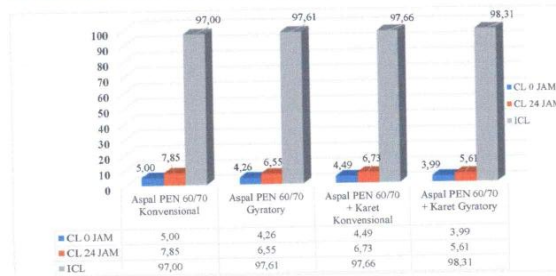
Gedung KH. Moh. Natsir  
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia  
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584  
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201  
F. (0274) 895330  
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id  
W. ftsp.uii.ac.id

Lampiran 93. Hasil Pengujian CL Dan Nilai ICL Pematatan Konvensional Dan *Gyratory*

REKAPITULASI CL DAN NILAI ICL PEMADATAN KONVENSIONAL DAN *GYRATORY*

Keterangan	Aspal PEN 60/70 Konvensional	Aspal PEN 60/70 Gyratory	Aspal PEN 60/70 + Karet Konvensional	Aspal PEN 60/70 + Karet Gyratory
CL 0 JAM	5,00	4,26	4,49	3,99
CL 24 JAM	7,85	6,55	6,73	5,61
ICL	97,00	97,61	97,66	98,31

Keterangan	Aspal PG-70 Konvensional	Aspal PG-70 Gyratory	Aspal PG-70 + Karet Konvensional	Aspal PG-70 + Karet Gyratory
CL 0 JAM	4,74	3,98	4,36	3,64
CL 24 JAM	6,96	5,86	5,99	5,04
ICL	97,68	98,04	98,29	98,55



Yogyakarta, 25 Agustus 2025  
 Disahkan Oleh  
 Manajer Laboratorium Jurusan Teknik Sipil  
 Ir. Berhan Kusdarni, M.Eng., P.W., ASHAN, Eng.  
 NIK : 01 511 0101

Mengetahui  
 Kalab. Jalan Raya  
 Ir. Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T.  
 NIK : 21 511 1307

Yogyakarta, Agustus 2025  
 Peneliti  
 Giri Widhiatmoko, S.T.  
 NIK : 22 510 4605