

TESIS

PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN LIMBAH BAN KARET

***(PERFORMANCE COMPARISON OF POROUS ASPHALT
MIXES USING AUSTRALIAN (AAPA) AND CALIFORNIA
(CALTRANS) SPECIFICATIONS WITH GRATED POWDER
WASTE RUBBER TIRE)***



**JULANG ANGKOSO
20914027**

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL PROGRAM MAGISTER
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA
2024**

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS MENGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN LIMBAH BAN KARET

***(PERFORMANCE COMPARISON OF POROUS ASPHALT
MIXES USING AUSTRALIAN (AAPA) AND CALIFORNIA
(CALTRANS) SPECIFICATIONS WITH GRATED POWDER
WASTE RUBBER TIRE)***



Diperiksa dan disetujui oleh:

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

Dosen Pembimbing 1

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
MENGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
LIMBAH BAN KARET**

**(PERFORMANCE COMPARISON OF POROUS ASPHALT
MIXES USING AUSTRALIAN (AAPA) AND CALIFORNIA
(CALTRANS) SPECIFICATIONS WITH GRATED
POWDER WASTE RUBBER TIRE)**

Disusun oleh:

JULANG ANGKOSO

NIM: 20914027

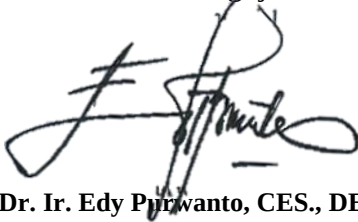
Telah diuji di depan dewan penguji
pada tanggal 28 Agustus 2024
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Dosen Pembimbing



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

Dosen Penguji 1



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

Dosen Penguji 2

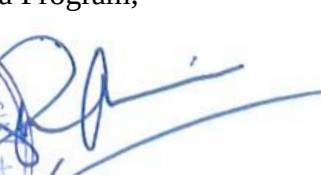


Dr.-Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc.

Yogyakarta, 30 SEP 2024

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

Yogyakarta, 26 Agustus 2024

Yang membuat pernyataan,

A handwritten signature in black ink is written over a rectangular Indonesian postage stamp. The stamp is light brown and features the Garuda Pancasila emblem, the number '10000', and the text 'METERAI TEMPEL' and 'F8FF4AKX296362408'.

JULANG ANGKOSO, S.T.

NIM: 20914027

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT berkat Rahmat, Hidayah, dan Karunia-Nya kepada kita semua sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tesis dengan judul “Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (CalTrans) dengan Variasi Bahan Tambah Serbuk Parutan Limbah Ban Karet”. Laporan Tesis ini disusun untuk memenuhi persyaratan memperoleh derajat Magister Teknik Sipil di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

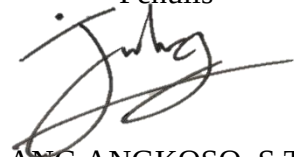
Dalam penyusunan Tesis ini tidak akan selesai tanpa bantuan dari berbagai pihak. Karena itu pada kesempatan ini kami ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang senantiasa memberikan bimbingan, motivasi, dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan laporan Tesis ini,
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. Dan Ibu Dr.-Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku dosen penguji Tesis yang telah memberikan banyak masukan, kritik maupun saran agar lebih baik di kemudian hari,
3. Ibu Dr. Ir. Sri Amini Yuni Astuti, M.T. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Pranoto dan saudara Giri sebagai laboran yang telah banyak membantu saya dalam pengujian laboratorium, dan
5. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya laporan Tesis ini.

Penulis menyadari Tesis ini tidak luput dari berbagai kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya Tesis ini dapat memberikan manfaat bagi bidang pendidikan dan penerapan di lapangan serta bisa dikembangkan lebih lanjut. Aamiin.

Yogyakarta, 26 Agustus 2024

Penulis



JULANG ANGKOSO, S.T.

HALAMAN PERSEMBAHAN

Tesis ini saya selesaikan sebagai wujud pengabdian dan bukti cinta kasih saya kepada kedua orangtua yang sangat saya sayangi, Ibu Dr. Dra. Supinah, M.Pd, dan Alm. Bapak Drs. Isman Nugroho. Tesis ini saya selesaikan tepat di hari kelahiran Almarhum Bapak saya sebagai bentuk hadiah yang tidak bisa saya berikan sewaktu Bapak saya masih ada.

Tesis ini sebagai wujud cinta kasih dan pembuktian atas dukungan istri saya tercinta, dr. Shinta Ariyani Wisnuputri yang telah mendukung dan memberi motivasi kepada saya sampai terselesaikannya Tesis ini.

Tesis ini saya persembahkan untuk Almamater Biru kebanggaan saya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Yogyakarta, 26 Agustus 2024

Penulis



JULANG ANGKOSO, S.T.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN	iii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIASI	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	5
BAB II STUDI PUSTAKA	6
2.1 Pengertian Umum	6
2.1.1 Kinerja Perkerasan Aspal Porus	6
2.1.2 Pengaruh Jenis Gradasi Terhadap Kinerja Perkerasan	7
2.1.3 Serbuk Parutan Limbah Ban Karet	7
2.2 Penelitian Terdahulu	8
2.3 Keaslian Penelitian	11
BAB III LANDASAN TEORI	15
3.1 Perkerasan Jalan	15

3.2 Perkerasan Lentur	16
3.3 Aspal Porus	16
3.4 Syarat Penentuan KAO Campuran Aspal Porus	18
3.5 Bahan Penyusun Lapis Perkerasan	18
3.5.1 Aspal	18
3.5.2 Agregat	19
3.5.3 Bahan Tambah Serbuk Parutan Limbah Ban Karet	19
3.6 Karakteristik <i>Marshall Test</i>	20
3.6.1 <i>Void in Total Mix (VITM)</i>	20
3.6.2 <i>Void in Mineral Agregate (VMA)</i>	21
3.6.3 <i>Void Filled with Asphalt (VFWA)</i>	21
3.6.4 Kelelehan (<i>Flow</i>)	22
3.6.5 Kepadatan (<i>Density</i>)	22
3.6.6 Stabilitas (<i>Stability</i>)	23
3.6.7 <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	23
3.7 Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	24
3.8 Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	24
3.9 <i>Index of Retained Strenght (IRS)</i>	24
3.10 <i>Indirect Tensile Strenght (ITS)</i>	25
3.11 <i>Tensile Strenght Retained (TSR)</i>	25
BAB IV METODE PENELITIAN	27
4.1 Umum	27
4.2 Bahan Bahan yang Digunakan	27
4.3 Peralatan Penelitian	28
4.4 Lokasi Penelitian	29
4.5 Pelaksanaan Penelitian	29
4.5.1 Pemeriksaan Agregat	30
4.5.2 Pemeriksaan Aspal	30
4.5.3 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	31
4.5.4 Pembuatan dan Proporsi Campuran	34
4.6 Rancangan Benda Uji	35

4.7 Pelaksanaan Pengujian	37
4.7.1 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji	37
4.7.2 Pengujian <i>Marshall</i> Test	38
4.7.3 Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	39
4.7.4 Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	39
4.7.5 Pengujian <i>Indeks of Retained Strength (IRS)</i>	40
4.7.6 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	41
4.7.7 Pengujian <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	41
4.8 Kerangka Penelitian	42
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	43
5.1 Hasil Penelitian	43
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	43
5.1.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	44
5.1.3 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans	45
5.1.4 Hasil Pengujian Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> dengan Penambahan Serbuk Ban Karet	49
5.2 Pembahasan	52
5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar	52
5.2.2 Karakteristik Agregat Halus	53
5.2.3 Karakteristik Aspal Pen 60/70	54
5.2.4 Karakteristik <i>Marshall</i> , <i>CL</i> , dan <i>AFD</i> untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007	56
5.2.5 Karakteristik <i>Marshall Standart</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous- Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	67

5.2.6	Karakteristik <i>Cantabro Loss (CL)</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	77
5.2.7	Karakteristik <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	78
5.2.8	Karakteristik <i>Index Retained Strength (IRS)</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	80
5.2.9	Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	81
5.2.10	Karakteristik <i>Tensile Strenght Ratio (TSR)</i> pada Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet	83
5.3	Tinjauan Karakteristik Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet pada Campuran Campuran <i>Asphalt Porous-Wearing Course</i> Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans	84
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		88
6.1	Kesimpulan	88
6.2	Saran	90
DAFTAR PUSTAKA		91
LAMPIRAN		95

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan	13
Tabel 3.1	Spesifikasi Aspal Porus	17
Tabel 3.2	Tipikal Nilai Tengah Gradasi	17
Tabel 3.3	Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Aspal Porus	18
Tabel 3.4	Persyaratan Aspal AC 60/70	19
Tabel 4.1	Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi AAPA 2004	32
Tabel 4.2	Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi CalTrans 2007	33
Tabel 4.3	Jumlah Benda Uji untuk Penentuan KAO	36
Tabel 4.4	Rincian Benda Uji pada Kondisi KAO	37
Tabel 5.1	Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70	43
Tabel 5.2	Hasil Pengujian Agregat Kasar	44
Tabel 5.3	Hasil Pengujian Agregat Halus	44
Tabel 5.4	Tabel 5.4 Hasil Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA	45
Tabel 5.5	Tabel 5.5 Hasil Karakteristik <i>Marshall</i> Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi Caltrans	45
Tabel 5.6	Hasil Pengujian <i>CL</i> Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans	46
Tabel 5.7	Hasil Pengujian <i>AFD</i> Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans	46
Tabel 5.8	Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik <i>VITM</i> , Cantabro Loss, dan Asphalt <i>Flow</i> Down dengan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Caltrans untuk Menentukan KAO	49
Tabel 5.9	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Spesifikasi Gradasi AAPA 2004	50
Tabel 5.10	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Spesifikasi Gradasi CalTrans 2007	50

Tabel 5.11	Hasil Pengujian <i>CL</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans	50
Tabel 5.12	Hasil Pengujian <i>AFD</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans	51
Tabel 5.13	2007Hasil Pengujian <i>IRS</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007	51
Tabel 5.14	2007Hasil Pengujian <i>ITS</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007	51
Tabel 5.15	Hasil Pengujian <i>TSR</i> Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007	52
Tabel 5.16	Rekapitulasi Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Porous-Wearing Course	85
Tabel 5.17	Rekapitulasi Perbandingan antara Gradasi AAPA dan Gradasi Caltrans pada Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Porous-Wearing Course	87

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1	Penyebaran Beban Roda Melalui Lapis Pemasangan Jalan	16
Gambar 4.1	Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus Spesifikasi AAPA	32
Gambar 4.2	Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus Spesifikasi CalTrans	33
Gambar 4.3	<i>Flow Chart</i> Tahapan Pengujian Benda Uji di Laboratorium	42
Gambar 5.1	Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VITM</i> Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans	47
Gambar 5.2	Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Cantabro Loss Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans	47
Gambar 5.3	Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>AFD</i> Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans	48
Gambar 5.4	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VITM</i> Campuran Aspal Porus	56
Gambar 5.5	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VFWA</i> Campuran Aspal Porus	58
Gambar 5.6	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>VMA</i> Campuran Aspal Porus	59
Gambar 5.7	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Density</i> Campuran Aspal Porus	60
Gambar 5.8	Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Campuran Aspal Porus	61
Gambar 5.9	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Flow</i> Campuran Aspal Porus	63
Gambar 5.10	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>MQ</i> Campuran Aspal Porus	64
Gambar 5.11	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>CL</i> Campuran Aspal Porus	65
Gambar 5.12	Hubungan Kadar Aspal dengan <i>AFD</i> Campuran Aspal Porus	66
Gambar 5.13	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>VITM</i> Aspal Porus	68
Gambar 5.14	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>VFWA</i> Aspal Porus	69
Gambar 5.15	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>VMA</i> Aspal Porus	71
Gambar 5.16	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>Density</i> Aspal Porus	72

Gambar 5.17	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai Stabilitas Aspal Porus	73
Gambar 5.18	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>Flow</i> Aspal Porus	74
Gambar 5.19	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>MQ</i> Aspal Porus	76
Gambar 5.20	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>CL</i> Aspal Porus	77
Gambar 5.21	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>AFD</i> Aspal Porus	79
Gambar 5.22	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>IRS</i> Aspal Porus	80
Gambar 5.23	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>ITS</i> Aspal Porus	82
Gambar 5.24	Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai <i>TSR</i> Aspal Porus	83

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1.	Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	96
Lampiran 2.	Pemeriksaan Titik Lembek Aspal	97
Lampiran 3.	Pemeriksaan Titik Nyala dan Bakar Aspal	98
Lampiran 4.	Pemeriksaan Penetrasi Aspal	99
Lampiran 5.	Pemeriksaan Daktilitas (<i>Ductility</i>) / Residue Aspal	100
Lampiran 6.	Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam CCL4 / TCE	101
Lampiran 7.	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	102
Lampiran 8.	Pemeriksaan Kelekatan Agregat Kasar Terhadap Aspal	103
Lampiran 9.	Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar	104
Lampiran 10.	Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	105
Lampiran 11.	Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	106
Lampiran 12.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Campuran CalTrans	107
Lampiran 13.	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> CalTrans	109
Lampiran 14.	Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> CalTrans	110
Lampiran 15.	Rekapitulasi Hasil KAO CalTrans	111
Lampiran 16.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO pada Campuran AAPA	112
Lampiran 17.	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> AAPA	113
Lampiran 18.	Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> AAPA	114
Lampiran 19.	Rekapitulasi Hasil KAO AAPA	115
Lampiran 20.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Setelah KAO pada Campuran CalTrans 0,5 Jam	116
Lampiran 21.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Setelah KAO pada Campuran CalTrans 24 Jam	117
Lampiran 22.	Hasil Pengujian <i>IRS</i> CalTrans	118
Lampiran 23.	Hasil Pengujian <i>ITS</i> Pada Campuran CalTrans 0,5 Jam	119

Lampiran 24.	Hasil Pengujian <i>ITS</i> Pada Campuran CalTrans 24 Jam	120
Lampiran 25.	Hasil Pengujian <i>TSR</i> CalTrans	121
Lampiran 26.	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> CalTrans	122
Lampiran 27.	Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> CalTrans	123
Lampiran 28.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Setelah KAO pada Campuran AAPA 0,5 Jam	124
Lampiran 29.	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Setelah KAO pada Campuran AAPA 24 Jam	125
Lampiran 30.	Hasil Pengujian <i>IRS</i> AAPA	126
Lampiran 31.	Hasil Pengujian <i>ITS</i> Pada Campuran AAPA 0,5 Jam	127
Lampiran 32.	Hasil Pengujian <i>ITS</i> Pada Campuran AAPA 24 Jam	128
Lampiran 33.	Hasil Pengujian <i>TSR</i> AAPA	129
Lampiran 34.	Hasil Pengujian <i>Cantabro</i> AAPA	130
Lampiran 35.	Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> CalTrans	131
Lampiran 36.	Lembar Konsultasi Tesis	132

ABSTRAK

Kinerja perkerasan lentur dipengaruhi oleh pemilihan jenis material dan gradasi. Aspal porous merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat halus yang kecil dan persentase agregat kasar yang besar, sehingga menghasilkan rongga udara yang besar. Rongga udara yang besar ini diharapkan bisa meloloskan air jika terjadi hujan, sehingga mengurangi genangan air dipermukaan jalan. Aspal porous adalah campuran aspal yang sedang dikembangkan untuk konstruksi *wearing course*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap kinerja campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*.

Pada penelitian ini menggunakan dua standar gradasi aspal porous yaitu gradasi Australia (AAPA) dan gradasi California (CalTrans). Penelitian ini memiliki empat tahapan, pertama melakukan pengujian sifat material. Kedua, menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada setiap campuran aspal porous berdasarkan metode AAPA (2004). Ketiga, melakukan pengujian *Marshall*, *CL*, *AFD*, *IRS*, *ITS*, dan *TSR* pada kondisi KAO dengan penambahan serbuk ban karet sebesar 0%, 5%, 6%, dan 7%. Keempat melakukan pembahasan dan Kesimpulan.

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat diketahui seiring penambahan serbuk ban karet pada campuran dengan gradasi AAPA lebih baik dalam hal kemampuan menerima beban tanpa mengalami deformasi (stabilitas) dan kemungkinan campuran dalam menahan beban maksimum untuk mencegah kegagalan daya tarik (*ITS*). Sedangkan campuran dengan gradasi Caltrans lebih baik dalam hal ketahanan terhadap keausan (*CL*), pencampuran homogen antara aspal dan agregat (*AFD*), dan kemampuan menahan terjadinya retakan (*TSR*). Penambahan serbuk ban karet tidak mampu memperbaiki kekuatan akibat perendaman pada suhu ekstrim (*IRS*) pada campuran kedua spesifikasi gradasi.

Kata kunci : Aspal Porus, AAPA, CalTrans, Serbuk Ban Karet

ABSTRACT

The performance of flexible pavement is influenced by the choice of material type and gradation. Porous asphalt is an open graded hot mix asphalt with a small percentage of fine aggregate and a large percentage of coarse aggregate, resulting in large air cavities. It is hoped that this large air cavity can channel water when it rains, thereby reducing puddles on the road surface. Porous asphalt is an asphalt mixture that is being developed for wearing course construction. The aim of this research is to analyze the effect of adding rubber tire powder on the performance of the Asphalt Porous-Wearing Course.

In this research two standard gradations for porous asphalt were used, namely Australian gradation (AAPA) and California gradation (CalTrans). This research has five stages, the first is to test the material properties. Second, to determine the optimum asphalt content (OAC) in each mixture porous asphalt mixture is based on the AAPA (2004). Third, testing Marshall, CL, AFD, IRS, ITS, and TSR under OAC conditions with the addition 0%, 2%, 4%, and 6% of rubber tire powder. Fourth, conduct discussions and conclusions.

Based on the research carried out, it can be seen that the addition of rubber tire powder to a mixture with AAPA gradation is better in terms of its ability to accept loads without experiencing deformation (stability) and the possibility of the mixture being able to withstand maximum loads to prevent traction failure (ITS). Meanwhile, mixtures with Caltrans gradations are better in terms of resistance to wear (CL), homogeneous mixing of asphalt and aggregate (AFD), and ability to resist cracking (TSR). The addition of rubber tire powder was not able to improve the strength due to immersion at extreme temperatures (IRS) in a mixture of both gradation specifications.

Keyword : Porous Asphalt, AAPA, CalTrans, Rubber Tire Powder

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan peradaban dari tahun ke tahun semakin pesat. Hal ini disebabkan semakin meningkatnya populasi manusia yang semakin meningkat juga kebutuhannya termasuk sarana dan prasarana, salah satunya jalan. Disamping itu suatu pembangunan jalan yang baik diperlukan perencanaan yang teliti dan memperhitungkan semua kemungkinan yang akan terjadi, demikian juga untuk pemilihan bahan konstruksi jalan yang akan digunakan. Di Indonesia, pada umumnya jalan dibagi dalam tiga jenis baik pada jalan utama dan jalan pemukiman, yakni jalan aspal, jalan beton, dan *paving block*.

Indonesia merupakan penghasil karet alam terbesar kedua di dunia, dengan produksinya mencapai 3,5 juta ton per tahun atau produktivitasnya sekitar 1,2 ton per hektare (Dekarindo, 2019). Kementerian Perindustrian mencatat, sepanjang tahun 2019 total produksi kendaraan roda dua mencapai 7,2 juta unit dan diperkirakan terus meningkat. Ban berbahan dasar karet, merupakan salah satu jenis polimer sintesis polistiren (*polystirene*). Polistiren tidak dapat dengan mudah didaur ulang sehingga pengolahan limbah polistiren harus dilakukan secara benar agar tidak merugikan lingkungan. *End life tire* (ELT) adalah istilah yang biasa dikenal oleh industri produsen dan pengguna ban. Ban bekas yang sudah tidak dapat digunakan lagi atau divulkanisir disebut dengan ELT. Ban-ban bekas tersebut berpotensi mencemari lingkungan sekitarnya apabila tidak diolah dikarenakan ban bekas tidak dapat terurai sendiri dan memerlukan pengolahan lebih lanjut untuk mengurainya.

US Departement of Transportation Federal Higway Administration di Amerika sejak tahun 1986 sudah melakukan penelitian tentang penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*). Dimana hasil penggunaan parutan ban

bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (AASHTO, 1982). Dalam upaya mengurangi permasalahan limbah ban bekas dan melihat manfaat serbuk ban karet yang mampu dikembangkan, ada baiknya jika produksi limbah tersebut diteliti bagaimana supaya limbah ban karet ini dapat bermanfaat sebagai bahan tambah untuk campuran beraspal. Seperti halnya yang dapat dilihat dari beberapa penelitian yang sudah ada.

Seiring dengan meningkatnya beban pada perkerasan jalan, maka bahan lapis keras dituntut lebih mampu meneruskan dan menyebarkan beban yang diterimakemudian meneruskannya dan menyebarkan beban tersebut ke lapis yang berada dibawahnya. Salah satu usaha memenuhi karakteristik aspal sebagai bahan ikat. Dari uraian di atas penulis akan melakukan penelitian pada lapis permukaan aspal beton yang ditambahkan dengan serbuk ban karet.

Di beberapa negara maju aspal porus merupakan satu jenis perkerasan jalan yang telah dikembangkan dan diperuntukkan hanya pada lapisan penutup atau aus (*wearing course*). Menurut Diana (1995) aspal porus (*porous asphalt*) merupakan campuran beraspal panas bergradasi terbuka dengan persentase agregat halus yang kecil dan persentase agregat kasar yang besar, sehingga menghasilkan rongga udara yang besar. Rongga udara yang besar ini dapat diharapkan untuk bisa meloloskan air jika terjadi hujan, sehingga mengurangi genangan air dipermukaan jalan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan penjelasan yang tertera pada latar belakang di atas maka dapat dirumuskan permasalahan antara lain sebagai berikut ini:

1. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap karakteristik *Marshall Test* dengan menggunakan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *CL (Cantabro Loss)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?

3. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *AFD (Asphalt Flow Down)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?
4. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *IRS (Indeks of Retained Strength)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?
5. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?
6. Bagaimana pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007)?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang tertera di atas, maka tujuan yang ingin dicapai dari penelitian ini adalah untuk:

1. Menemukan pengaruh penggunaan serbuk limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap karakteristik *Marshall Test* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).
2. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *CL (Cantabro Loss)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).
3. Mengetahui pengaruh penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *AFD (Asphalt Flow Down)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).

4. Memprediksi pengaruh penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *IRS (Indeks of Retained Strength)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).
5. Memprediksi pengaruh penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *ITS (Indirect Tensile Strength)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).
6. Memprediksi pengaruh penggunaan limbah ban karet sebagai bahan tambah terhadap nilai *TSR (Tensile Strength Ratio)* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang dapat diperoleh dari adanya penelitian ini antara lain:

1. Memanfaatkan limbah ban karet sebagai bahan tambah (*additive*) pada campuran aspal *Asphalt Porous-Wearing Course*.
2. Menambah variasi bahan tambah (*additive*) pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*.
3. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai pengaruh penambahan serbuk limbah ban karet terhadap kekuatan dan keawetan *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan menggunakan spesifikasi Australia dan California.
4. Mengetahui besarnya pengaruh spesifikasi Australia dan California terhadap kekuatan perkerasan menggunakan campuran porus sehingga diharapkan dapat menjadi pertimbangan dalam menentukan spesifikasi gradasi terbaik.
5. Pemanfaatan barang sisa yang sudah tidak memiliki nilai jual sehingga dapat didaur ulang untuk mendapatkan perkerasan lentur yang lebih ekonomis.

6. Menggunakan hasil penelitian ini sebagai referensi dalam pengembangan penelitian yang akan datang.

1.5 Batasan Masalah

Agar pembahasan masalah tidak menyimpang dari pokok permasalahan maka perlu diadakan pembatasan masalah, yaitu sebagai berikut:

1. Penelitian dan pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
2. Campuran yang diteliti adalah campuran aspal *Asphalt Porous-Wearing Course*.
3. Komposisi penambahan serbuk parutan limbah ban karet diadopsi dari penelitian Martina dkk (2019) yang mana serbuk parutan limbah ban karet diperoleh dari TPS Bawukan Sleman.
4. Spesifikasi gradasi yang digunakan merujuk pada standar Australia (AAPA 2004) dan California (CalTrans 2007).
5. Nilai spesifikasi pengujian aspal porus menggunakan AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) 2004.
6. Pencampuran yang dilakukan adalah pencampuran secara konvensional
7. Agregat kasar dan agregat medium yang digunakan berasal dari Clereng Kulon Progo.
8. Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70.
9. Pada pengujian untuk mencari Kadar Aspal Optimum (KAO), variasi kadar aspal yang digunakan adalah berdasarkan perhitungan gradasi AAPA 2004 dan CalTrans 2007 terhadap berat total campuran.
10. Bahan tambah pada penelitian ini adalah serbuk parutan limbah ban karet dengan kadar 0%, 5%, 6%, dan 7% terhadap aspal.
11. Pengujian karakteristik campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* terdiri dari *Marshall Test*, *Cantabro Loss (CL)*, *Asphalt Flow Down (AFD)*, *Index of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* dengan menggunakan bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Pengertian Umum

Serangkaian kegiatan yang melibatkan dengan metode pengumpulan data pustaka, membaca dan mencatat serta mengolah bahan penelitian disebut dengan studi pustaka. Penelitian dapat berjalan dengan tersistem dan baik serta tujuan penelitian tercapai tidak lepas dari studi pustaka yang diambil sehingga sesuai dengan prosedur, bahan yang digunakan, dan jenis penelitiannya.

2.1.1 Kinerja Perkerasan Aspal Porus

Menurut Martina dkk (2019) aspal porus adalah aspal yang dicampur dengan agregat tertentu, yang mana setelah dipadatkan mempunyai 20% pori-pori udara. Aspal porus pada umumnya memiliki nilai stabilitas *Marshall* lebih rendah dari pada aspal yang menggunakan gradasi rapat, gradasi terbuka yang menggunakan fraksi halus lebih banyak dapat meningkatkan stabilitas *Marshall* (Cabrera & Hamzah, 1994).

Menurut Mukti (2017) aspal porus merupakan jenis perkerasan berpori dengan campuran agregat kasar lebih dominan untuk meningkatkan gaya gesek dan mencegah terjadinya genangan pada permukaan jalan. Aspal porus digunakan sebagai lapisan permukaan jalan sehingga memungkinkan air menembus perkerasan jalan melalui rongga di dalam campuran, dan dapat mengurangi genangan air di permukaan jalan.

Menurut Arlia dkk (2018) campuran aspal porus merupakan salah satu terobosan baru perkerasan lentur. Aspal porus mampu menyerap air ke dalam lapisan atas (*wearing course*) baik secara vertikal maupun horizontal dan dapat meningkatkan keselamatan lalu lintas terutama pada musim hujan. Lapisan aspal porus adalah campuran aspal yang menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang dihamparkan diatas lapisan aspal kedap air.

2.1.2 Pengaruh Jenis Gradasi Terhadap Kinerja Perkerasan

Aspal Porus merupakan campuran aspal yang saat ini dikembangkan untuk penggunaan konstruksi *wearing course*. Campuran ini menggunakan gradasi terbuka (*open-graded*) yang didominasi campurannya oleh agregat kasar. Gradasi agregat menentukan sifat-sifat Aspal Porus sendiri, aspal porus juga bergantung pada sifat-sifat bahan pembentuk aspal itu sendiri (Naufali, 2018).

Bukhari (2007) distribusi partikel berdasar ukuran agregat yang saling mengisi sehingga membentuk suatu ikatan yang saling mengunci (*interlocking*) disebut dengan gradasi. Menurut Sukirman (2003) gradasi agregat dapat mempengaruhi besar rongga antar butiran dan kadar aspal serta dapat menentukan stabilitas dan *workability*. Kutipan Diana (1995) dari *Manual Japan Road Association*, disebutkan bahwa aspal porus juga dapat disebut sebagai campuran aspal gradasi terbuka (*open graded asphalt*). Tipikal nilai tengah gradasi agregat aspal porus untuk diameter maksimum 10mm dan 14mm sebagaimana yang dikutip dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA).

Awal mula penggunaan perkerasan aspal porus ini dimulai pada awal tahun 1970 di *The Franklin Institute*. Institut ini memulai percobaan mereka dengan cara mengidentifikasi gradasi agregat yang dipakai di jalan raya sekitar Britain, California yang saat ini berkembang menjadi *California Department of Transportation's* (CalTrans).

2.1.3 Serbuk Parutan Limbah Ban Karet

Limbah ban karet atau ban bekas merupakan salah satu bahan bekas tidak terpakai yang mudah dan banyak ditemukan diseluruh wilayah dengan jumlah yang relatif cukup besar. Limbah ban kendaraan bermotor tidak dapat dipakai ulang serta tidak dapat larut dalam tanah, sehingga bisa dikatakan cukup berbahaya bagi lingkungan (Yamali, 2017). Salah satu upaya yang bisa dilakukan untuk mengurangi limbah ban kendaraan adalah pembakaran, namun proses pembakaran menghasilkan dampak polusi udara yang cukup berbahaya bagi lingkungan sekitar, terutama didaerah perkotaan yang padat penduduk (Hariyadi dkk, 2018)

Menurut *US Department of Transportation Federal Highway Administration Amerika* yang dikutip oleh Dina dkk (2019) telah dilakukan penelitian bahan tambah (*additive*) menggunakan ban bekas dalam pembuatan aspal sejak tahun 1986. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan hasil parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang disebabkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas.

2.2 Penelitian Terdahulu

Penelitian tentang campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* pernah dilakukan oleh Marizka dkk (2022), Hafidz dan Fauziah (2021), Wahyudi (2019), dan Arrieta dan Maquilon (2014). Penelitian tentang pemanfaatan serbuk parutan limbah ban karet sebagai bahan tambah aspal pernah dilakukan oleh Martina dkk (2019). Sedangkan penelitian tentang perbedaan gradasi agregat aspal pernah dilakukan oleh Hasan dkk (2016), dan Putri dan Ariyanti (2013). Dalam penelitian ini peneliti akan melakukan uji *Marshall* test, Indeks of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, dan Tensile Strength Ratio pada campuran *Asphalt Porous - Wearing Course* dengan perbandingan spesifikasi gradasi AAPA 2004 dan CalTrans 2007 menggunakan bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet.

Penelitian tentang aspal porus pernah dilakukan oleh Marizka dkk (2022) yang berjudul “Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus” yang disimpulkan bahwa penambahan Rediset LQ- 1106 dengan kadar 1 % dapat menghasilkan kinerja struktur campuran aspal porus yang paling baik, yaitu dengan peningkatan nilai stabilitas *Marshall* sebesar 18,62%, stabilitas dinamis sebesar 35,88 %, dan kuat tarik tak langsung (*ITS*) sebesar 20,14%. Nilai *MQ* dapat meningkat signifikan akibat penambahan Rediset LQ-1106, sedangkan tidak berubah secara signifikan pada nilai *flow*, *VIM*, *VFMA*, *VMA*, dan *density*. Nilai durabilitas juga dapat meningkat akibat bahan tambah Rediset LQ-1106.

Berdasarkan hasil penelitian Hafidz dan Fauziah (2021) yang meneliti tentang aspal porus berjudul “Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus” disimpulkan bahwa Starbit E-55 memiliki angka penetrasi yang lebih rendah, dan titik lembek, titik nyala dan indeks penetrasi yang lebih besar dari pen 60/70. Pada campuran AC-WC penggunaan Starbit E-55 memiliki nilai stabilitas lebih besar 11%, dan ITS 18% dibandingkan penggunaan pen 60/70. Sedangkan nilai stabilitas lebih tinggi 22% pada campuran aspal porus yang menggunakan Starbit E-55, dan untuk nilai CL lebih dari 30% dibandingkan campuran yang menggunakan aspal pen 60/70. Hasil perhitungan stiffness modulus, Starbit E-55 lebih kaku dibandingkan dengan pen 60/70. Campuran yang menggunakan Starbit E-55 membuat lebih stabil. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan Starbit E-55 lebih efektif meningkatkan kinerja seluruh campuran dibandingkan penggunaan aspal pen 60/70.

Penelitian tentang aspal porus pernah dilakukan oleh Wahyudi (2019) yang berjudul “Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus”. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hasil pengujian *Marshall* campuran *superpave* untuk nilai stabilitas terbaik yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap (1373,63kg), sedangkan untuk campuran aspal porus terbaik yaitu menggunakan metode konvensional (508,42kg). Nilai terbaik untuk pengujian ITS campuran *superpave* yaitu menggunakan metode konvensional (20,44kg/cm), sedangkan untuk campuran aspal porus yaitu menggunakan metode pencampuran 2 tahap (5,94kg/cm). Nilai IRS terbaik untuk campuran *superpave* yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap (91,26%), sedangkan untuk campuran aspal porus yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap (68,57%). Nilai TSR terbaik untuk campuran *superpave* yaitu menggunakan metode konvensional (71,71%), sedangkan untuk campuran aspal porus yaitu menggunakan metode konvensional (89,71%). Nilai *Cantabro Loss* terbaik untuk campuran *superpave* yaitu menggunakan metode pencampuran 3 tahap (2,37%), sedangkan untuk campuran aspal porus yaitu menggunakan metode konvensional (24,78 %).

Menurut Arrieta dan Maquilon (2014) dalam jurnal yang berjudul “Resistensi Terhadap Degradasi atau Kohesi dalam Uji Cantabro pada Spesimen dari Lapisan Gesek Aspal Porus” membahas tentang resistansi spesimen dari lapisan gesek aspal porus, menyimpulkan bahwa pada campuran aspal porus dengan *Cantabro test dry method* dengan aspal modifikasi dengan Licomont sebesar 2% didapat abrasi sebesar 16% dan aspal tidak dimodifikasi sebesar 25%, pada campuran aspal porus dengan *Cantabro test wet method* dengan modifikasi Licomont sebesar 2% didapatkan abrasi sebesar 24% dan aspal tidak dimodifikasi sebesar 46%.

Penelitian tentang penambahan ban karet juga pernah dilakukan oleh Martina (2019) yang berjudul “Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous”. Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai *Marshall Properties* pada campuran aspal porus dengan serbuk ban bekas dapat disimpulkan bahwa yang memenuhi syarat Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan kekesatan permukaan dengan syarat yang terpenuhi dalam Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 16/PRT/M/2014 adalah campuran aspal porous dengan campuran serbuk ban bekas 6% dan campuran aspal porous normal. Hasil dari penelitian ini juga dapat bahwa penggunaan serbuk ban bekas dapat mengurangi limbah ban bekas sebesar 3,03 ton per 1 km pekerjaan konstruksi perkerasan jalan.

Penelitian yang dilakukan Hasan dkk (2016) yang berjudul “*Air Voids Characterisation and Permeability of Porous Asphalt Gradations Used in Different Countries*” membahas tentang campuran aspal porus dengan menggunakan gradasi berbeda dari empat negara. Gradasi yang digunakan adalah AAPA (2004), *Malaysia Puplic Works Department* (2008), ASTM D 7064 (2013), dan *Singapore Land Transport Authority* (2010). Berdasarkan hasil penelitian diperoleh nilai kadar aspal optimum secara berturut-turut yaitu, 5,25%, 5%, 4,75%, dan 5,25%. Campuran aspal porus dengan menggunakan gradasi AAPA (2004) memiliki koefisien permeabilitas tertinggi yaitu sebesar 174 m/hari. Dengan rongga udara horizontal sebesar 19,71% dan rongga udara vertikal sebesar 18,71%.

Adapun penelitian Putri dan Ariyanti (2013) yang berjudul “Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi Dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (Bs)” menyimpulkan bahwa gradasi dengan standar California CalAPA dan British BS memiliki koefisien permeabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan standar AAPA. Hal ini terjadi karena agregat standar AAPA cenderung kasar. Pada karakteristik *Marshall* standar yaitu *VITM*, *flow*, *MQ* standar Australia dan California memenuhi spesifikasi yang ada namun untuk stabilitasnya tidak memenuhi spesifikasi. Sedangkan untuk standar British stabilitasnya dapat memenuhi spesifikasi namun untuk karakteristik *Marshall* yang lainnya tidak memenuhi spesifikasi. Hal ini terjadi karena pada standar BS jumlah filler yang digunakan relatif lebih banyak maka membuat rongga yang ada pada campuran terisi oleh *filler* dan berakibat standar BS memiliki stabilitas tinggi namun koefisien permeabilitas rendah. Zat aditif wetfix-be digunakan pada penelitian ini untuk meningkatkan stabilitas campuran dengan kadar 0,2% - 0,5% dari total berat aspal. Akan tetapi penambahan zat aditif ini ternyata tidak dapat mempengaruhi secara signifikan terhadap nilai stabilitas.

2.3 Keaslian Penelitian

Topik yang akan dibahas pada penelitian ini merupakan pengembangan dari penelitian terdahulu yang telah dipublikasikan sebelumnya oleh Marizka dkk (2022), Hafidz dan Fauziah (2021), Wahyudi (2019), Martina dkk (2019), Hasan dkk (2016) Arrieta dan Maquilon (2014), dan Putri dan Ariyanti (2013). Pada penelitian ini akan ditinjau pengujian karakteristik perkerasan lentur *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan spesifikasi gradasi menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *California Administrator Performance Assessment* (CalAPA) dengan penambahan variasi serbuk parutan limbah ban bekas sebagai bahan tambah.

Penelitian tentang aspal porus sebelumnya menggunakan gradasi agregat yang mengacu pada *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Penelitian tentang perbandingan spesifikasi gradasi aspal porus pada penelitian sebelumnya digunakan pada aspal porus tanpa bahan tambah. Penggunaan serbuk parutan

limbah ban bekas pada penelitian sebelumnya digunakan pada campuran *superpave* dan aspal porus, sedangkan pada penelitian ini penggunaan serbuk parutan limbah ban bekas akan digunakan pada campuran aspal porus dengan membandingkan spesifikasi gradasi menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dan *California Department of Transportation's* (CalTrans).

Adapun perbedaan penelitian terdahulu dan penelitian sekarang dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut

Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Nama Peneliti (tahun)	Marizka dkk ¹ (2022)	Hafidz dan Fauziah ² (2021)	Wahyudi ³ (2019)	Martina dkk ⁴ (2019)	Hassan dkk ⁵ (2016)	Arrieta dan Maquilon ⁶ (2014)	Putri dan Ariyanti ⁷ (2013)	Angkoso (2024)
Judul	Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus	Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus	Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran <i>Superpave</i> dan Aspal Porus	Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous	<i>Air Voids Characterisation and Permeability of Porous Asphalt Gradations Used in Different Countries</i>	Resistensi Terhadap Degradasi atau Kohesi dalam Uji Cantabro pada Spesimen dari Lapisan Gesek Aspal Porus	Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi Dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (Bs)	Perbandingan Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Australia (AAPA) dan California (CalTrans) dengan Variasi Bahan Tambah Serbuk Parutan Limbah Ban Karet
Jenis Campuran	Aspal Porus	AC-WC dan Aspal Porus	<i>Superpave</i> dan Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus
Spesifikasi Gradasi	Australia (AAPA)	Australia (AAPA)	Australia (AAPA)	Australia (AAPA)	Australia (AAPA), Malaysia Public Works Department, ASTM D 7064, Singapore Specification Land Transport Authority	Australia (AAPA)	Australia (AAPA), California (CalAPA), British (BS)	Australia (AAPA), California (CalTrans)
Parameter yang Diukur	<i>Marshall, Cantabro Loss, Asphalt Flow Down, ITS, dan TSR</i>	<i>Marshall Test, Cantabro Loss, IRS, ITS, TSR, dan Stiffness Modulus</i>	<i>Marshall, IRS, ITS Permeabilitas, dan Cantabro Loss</i>	<i>Marshall dan Kekesatan</i>	Permeability Test, dan <i>Image analysis technique Using X-ray CT</i>	<i>Marshall, IRS, dan ITS</i>	<i>Marshall dan Permeabilitas</i>	<i>Marshall, Cantabro Loss, Asphalt Flow Down, IRS, ITS dan TSR</i>

¹ Marizka, E., Fauziah, M., dan Subarkah. 2022. Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus. *Teknisia*, 27(2) : 12-23

² Hafidz, M. D., dan Fauziah, M. 2021. Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. Naskah Publikasi. UII.

³ Wahyudi, A. T. 2019. Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

⁴ Martina, N., Hasan, M.F.R., dan Setiawan, Y. 2019. Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous. *Jurnal Wahana TEKNIK SIPIL*, 24(2).

⁵ Hasan, N. A. Mahmud, M. Z. H. Ahmad, K. A. Hainin, M. R. Jaya, R. P. dan Mashros, N. 2016. Air Voids Characterisation and Permeability of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries. *Journal of Engineering and Applied Science*, 11(4) : 14043 – 14047.

⁶ Arrieta, V. S. dan Maquilon, J. E. C. 2014. Resistance to Degradation or Cohesion Loss in Cantabro Test on Specimens of Porous Asphalt Friction Courses. *Social and Behavioral Sciences*, 162 : 290 – 299. DOI:10.1016/j.sbspro.2014.12.210

⁷ Ariyanti, F. 2013. Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS). *Skripsi*. Malang

Lanjutan Tabel 2.1 Perbedaan Penelitian Terdahulu dengan Penelitian yang Dilakukan

Aspek	Penelitian Terdahulu							Penelitian yang Dilakukan
Nama Peneliti (tahun)	Marizka dkk ¹ (2022)	Hafidz dan Fauziah ² (2021)	Wahyudi ³ (2019)	Martina dkk ⁴ (2019)	Hassan dkk ⁴ (2016)	Arrieta dan Maquilon ⁵ (2014)	Putri dan Ariyanti ⁶ (2013)	Angkoso (2024)
Hasil	Penambahan Rediset LQ-1106 dengan kadar 1 % dapat menghasilkan kinerja struktur campuran aspal porus yang paling baik, yaitu dengan peningkatan nilai stabilitas <i>Marshall</i> , stabilitas dinamis, dan kuat tarik tak langsung (<i>ITS</i>). Penambahan Rediset LQ-1106 juga meningkatkan nilai <i>MQ</i> yang signifikan, sedangkan nilai <i>flow</i> , <i>VIM</i> , <i>VFMA</i> , <i>VMA</i> , dan <i>density</i> tidak berubah secara signifikan.	Hasil perhitungan stiffness modulus, Starbit E-55 lebih kaku dibandingkan dengan pen 60/70. Campuran yang menggunakan Starbit E-55 menjadi lebih stabil. Hal ini menunjukkan Starbit E-55 lebih efektif meningkatkan kinerja seluruh campuran.	Berdasarkan hasil parameter pengujian dapat disimpulkan bahwa untuk campuran superpave disarankan menggunakan metode pencampuran 3 tahap, sedangkan untuk campuran aspal porus disarankan menggunakan metode konvensional.	Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan, nilai <i>Marshall Properties</i> pada campuran aspal porous dengan serbuk ban bekas dapat disimpulkan bahwa yang memenuhi syarat dan kekesatan permukaan yang memenuhi syarat adalah campuran aspal porous dengan campuran serbuk ban bekas 6% dan campuran aspal porous normal.	Hasil penelitian menunjukan kadar aspal optimum yang diperoleh dipengaruhi oleh gradasi yang digunakan, dan campuran aspal porus yang menggunakan gradasi AAPA (2004) memiliki koefisien permeabilitas tertinggi.	Nilai kadar peremaja yang bagus dipakai yaitu 3,5%-8% karena menghasilkan campuran yang tidak getas serta sesuai standar Bina Marga 2010.	Hasil penelitian yang didapat dari ketiga standar ini diketahui gradasi dengan standar Australia (AAPA) memiliki koefisien permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar CalAPA dan BS. Hal ini dikarenakan agregat standar Australia cenderung kasar.	Penambahan serbuk ban karet pada campuran dengan gradasi AAPA lebih baik pada nilai stabilitas dan <i>ITS</i> . Sedangkan campuran dengan gradasi Caltrans lebih baik pada nilai <i>CL</i> , <i>AFD</i> , <i>TSR</i> . Penambahan serbuk ban karet tidak mampu memperbaiki nilai <i>IRS</i> pada campuran kedua spesifikasi gradasi.

¹ Marizka, E., Fauziah, M., dan Subarkah. 2022. Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus. *Teknisia*, 27(2) : 12-23

² Hafidz, M. D., dan Fauziah, M. 2021. Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. Naskah Publikasi. UII.

³ Wahyudi, A. T. 2019. Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.

⁴ Martina, N., Hasan, M.F.R., dan Setiawan, Y. 2019. Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous. *Jurnal Wahana TEKNIK SIPIL*, 24(2).

⁵ Hasan, N. A. Mahmud, M. Z. H. Ahmad, K. A. Hainin, M. R. Jaya, R. P. dan Mashros, N. 2016. Air Voids Characterisation and Permeability of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries. *Journal of Engineering and Applied Science*, 11(4) : 14043 – 14047.

⁶ Arrieta, V. S. dan Maquilon, J. E. C. 2014. Resistance to Degradation or Cohesion Loss in Cantabro Test on Specimens of Porous Asphalt Friction Courses. *Social and Behavioral Sciences*, 162 : 290 – 299. DOI:10.1016/j.sbspro.2014.12.210

⁷ Ariyanti, F. 2013. Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS). *Skripsi*. Malang

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti.

Menurut Sukirman (1992) berdasarkan bahan pengikatnya, konstruksi perkerasan jalan dapat dibedakan atas hal berikut:

1. Perkerasan kaku

Perkerasan kaku atau perkerasan beton semen adalah suatu konstruksi jalan (perkerasan) dengan menggunakan agregat dan semen sebagai bahan pengikatnya. Pelat beton dengan atau tanpa tulangan diletakkan di atas tanah dasar dengan atau tanpa lapis pondasi bawah. Pada perkerasan kaku daya dukung perkerasan terutama diperoleh dari pelat beton.

2. Perkerasan Lentur

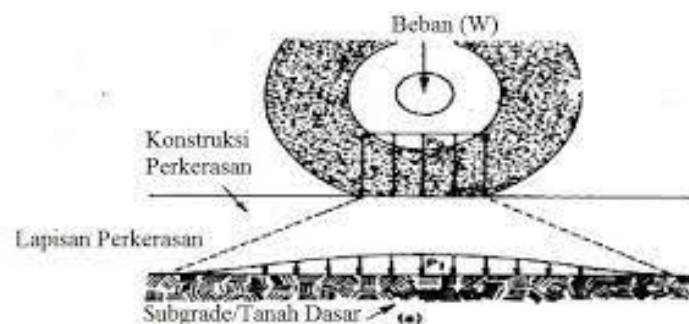
Perkerasan lentur terdiri dari lapisan-lapisan yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipampatkan dan menggunakan aspal sebagai bahan ikatnya. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapisan di bawahnya.

3. Perkerasan komposit

Perkerasan komposit adalah kombinasi antara perkerasan lentur dengan perkerasan kaku. Perkerasan lentur di atas perkerasan kaku, atau perkerasan kaku di atas perkerasan lentur.

3.2 Perkerasan Lentur

Pekerasan lentur (*flexible pavement*) pada umumnya terdiri dari tiga lapisan utama, yaitu lapis permukaan (*surface course*), lapis pondasi (*base course*) dan lapis pondasi bawah (*subbase course*). Lapis permukaan aspal berada diatas lapis pondasi dan lapis pondasi bawah granuler yang dihamparkan diatas tanah dasar. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkan ke lapis di bawahnya. Pada Gambar 3.1 ditunjukkan penyebaran tegangan yang disebabkan oleh roda kendaraan. Pada sistem perkerasan lentur, lapisan perkerasan berada pada bagian atas, karena menerima tegangan yang lebih tinggi, maka harus dipilih material yang mempunyai kualitas lebih baik daripada di bagian bawah.



Gambar 3.1 Penyebaran Beban Roda Melalui Lapis Pakerasan Jalan

3.3 Aspal Porus

Aspal porus (*Porous Asphalt*) merupakan beraspal panas dengan gradasi terbuka dengan persentase agregat halus yang kecil, persentase agregat kasar yang besar, sehingga menyediakan rongga udara yang besar, rongga udara ini diharapkan dapat meloloskan air jika hujan sehingga air tidak tergenang dipermukaan jalan. (Diana, 1995).

Menurut Affan (2006) menyatakan bahwa campuran aspal porus merupakan campuran beraspal panas antara aspal modifikasi dengan agregat bergradaasi terbuka dengan perbandingan tertentu.

Spesifikasi aspal porus menurut AAPA (*Australian Asphalt Pavement Association*) dapat dilihat pada Tabel 3.1 berikut.

Tabel 3.1 Spesifikasi Aspal Porus

No	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Uji <i>cantabro loss</i> (%)	< 35
2	Uji <i>Asphalt flow down</i> (%)	Maksimal 0,3
3	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Minimal 500
4	Kelelahan Plastis	2-6
5	Kadar Rongga Udara (%)	18-25
6	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: AAPA (2004)

Tabel 3.2 berikut adalah tipikal nilai tengah gradasi agregat aspal porus dengan diameter maksimum 10 mm dari *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) dan *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007)

Tabel 3.2 Tipikal Nilai Tengah Gradasi

Diameter Saringan (mm)	<i>Australian Asphalt Pavement Association</i> (AAPA 2004) Diameter Agregat Maksimum 10 mm	<i>California Department of Transportation's</i> (CalTrans 2007)
	% Berat yang Lolos	
19,0	100	100
13,2	85-100	100
9,5	45-75	90-100
4,75	10-25	35-50
2,36	7-15	15-32
1,18	6-12	0-15
0,6	5-10	-
0,3	4-8	-
0,15	3-7	-
0,075	2-5	0-3
Kadar Aspal	5,0-6,5	

Sumber: APPA (2004) dan CalTrans (2007)

3.4 Syarat Penentuan KAO Campuran Aspal Porus

Pada penentuan kadar aspal untuk campuran aspal porus menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA). Dimana penentuan KAO dengan metode AAPA hanya mensyaratkan tiga parameter yaitu VIM, *asphalt flow down*, dan *Cantabro loss*. Nilai penentuan spesifikasi penentuan KAO metode AAPA disajikan pada Tabel 3.3 berikut

Tabel 3.3 Spesifikasi Penentuan KAO Campuran Aspal Porus

No	Spesifikasi	Syarat
1	<i>Cantabro loss</i> (%)	< 35
2	<i>Asphalt flow down</i> (%)	< 0,3
3	Kadar rongga (%)	18-25

Sumber: APPA (2004)

Pada pengujian *Cantabro Loss* pada 35% didapatkan nilai OAC max kemudian pengujian *VITM* pada 18% didapatkan OAC min kemudian hasil dari OAC min dan OAC max dirata-ratakan kemudian diplot ke uji *Asphalt Flow Down* kemudian didapatkan nilai *AFD*. Kemudian didapatkan KAO dari nilai rata-rata OAC ditambahkan nilai *AFD*.

3.5 Bahan Penyusun Lapis Perkerasan

Bahan penyusun yang terdapat dalam perkerasan lentur terdiri dari 2 jenis, yaitu bahan pokok yang bisa berupa kerikil, pasir, batu pecah dan lain-lain serta bahan ikat yang bisa berupa aspal, semen Portland, kapur dan tanah liat. Bahan penyusun campuran perkerasan lentur di Indonesia mengacu pada Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yang diterbitkan oleh Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum

3.5.1 Aspal

Aspal merupakan bahan ikat yang memiliki ciri berupa warna hitam pekat atau coklat tua, dengan unsur utama yaitu bitumen yang diperoleh dari alam maupun dari pengolahan minyak bumi. Aspal merupakan material yang pada temperature ruang berbentuk padat sampai agak padat, serta memiliki sifat

termoplastis sehingga aspal akan mencair apabila dipanaskan sampai dengan temperatur tertentu dan akan kembali keras setelah temperatur turun.

Pada umumnya jenis aspal yang sering digunakan yaitu jenis aspal minyak, salah satunya yaitu aspal penetrasi 60/70. Berdasarkan ketentuan Bina Marga terdapat syarat yang harus dipenuhi untuk aspal AC 60/70, berikut Tabel 3.4 Persyaratan Aspal AC 60/70.

Tabel 3.4 Persyaratan Aspal AC 60/70

No	Jenis Pengujian	Standar	Nilai Persyaratan
1	Berat Jenis	SNI-24441 : 2011	$\geq 1,0$
2	Penetrasi Pada 25°C (0,1 mm)	SNI-2456 : 2011	60-70
3	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI-2432 : 2011	≥ 100
4	Titik Nyala (°C)	SNI-2433 : 2011	≥ 232
5	Titik lembek (°C)	SNI-2434 : 2011	≥ 48
6	Kelarutan dalam TCE (%)	AASHTO T44-14	≥ 99

Sumber: Direktorat Jenderal Bina Marga 2018

3.5.2 Agregat

Agregat merupakan material yang padat yang digunakan untuk bahan campuran aspal. Dimana didalamnya terdiri dari kerikil, pasir, batu pecah dan agregat halus. Salah satu faktor penentu dalam kekuatan perkerasan menahan beban yaitu sifat-sifat yang ada pada agregat. Agregat memegang peranan penting dalam campuran perkerasan, persen agregat dalam campuran diperkirakan sebesar 90-95% dari presentase berat campuran, sehingga jenis gradasi campuran sangat mempengaruhi performa perkerasan dalam melayani atau memikul beban.

3.5.3 Bahan Tambah Serbuk Parutan Limbah Ban Karet

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

Penggunaan ban bekas sebagai bahan tambah (*additive*) aspal telah diteliti oleh *US Department of Transportation Federal Highway Administration* di Amerika sejak tahun 1986. Hasilnya penggunaan parutan ban bekas mampu mereduksi kerusakan pada perkerasan lentur yang diakibatkan oleh faktor cuaca dan lalu lintas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari AASHTO, 1982).

Menurut Kurniati (2004) penggunaan ban dalam bekas kendaraan roda 4 pada campuran aspal beton mampu meningkatkan ketahanan terhadap deformasi permanen akibat jejak roda kendaraan. Penambahan bahan tambah seperti serbuk ban dalam kendaraan roda 4 ke dalam campuran aspal dapat memberikan daya tahan lebih baik terhadap suhu tinggi maupun beban lalu lintas, dibandingkan dengan aspal tanpa bahan tambahan. Penggunaan parutan ban bekas sangat cocok digunakan pada daerah iklim panas (Sugiyanto, 2008 dikutip dari Kennedy, 2000).

3.6 Karakteristik *Marshall Test*

Marshall Test dimaksudkan untuk mengetahui kinerja dari campuran beton aspal. Pengujian *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Adapun beberapa parameter *Marshall Test* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler with Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregat*), dan kepadatan (*density*).

3.6.1 *Void in Total Mix (VITM)*

VITM merupakan persen rongga udara di dalam total campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Nilai *VITM* berkaitan erat dengan karakteristik ketahanan campuran terhadap deformasi plastis. Apabila nilai *VITM* terlalu rendah akan menimbulkan ketidakstabilan dan terjadinya *flow* plastis. Sebaliknya apabila nilai *VITM* terlalu tinggi akan menyebabkan campuran bersifat porous, sehingga membuat campuran mudah teroksidasi dan mengalami deformasi plastis. Nilai *VITM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.1 dan 3.2 berikut.

$$n = 100 - (100 - \frac{g}{h}) \quad (3.1)$$

$$h = 100 - (\frac{100}{\frac{\%Agregat}{Bj Agregat} + \frac{\%Agregat}{Bj Agregat}}) \quad (3.2)$$

keterangan:

n = nilai *VITM*

g = berat isi sampel (gr/cc)

h = berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc)

3.6.2 Void in Mineral Agregate (VMA)

VMA adalah rongga udara antar butiran agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. VMA dapat juga dikatakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan juga sebagai rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Nilai VMA dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 dan 3.4 berikut.

$$l = 100 - j \quad (3.3)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{Bj Agregat} \quad (3.4)$$

keterangan:

l = nilai VMA (%)

b = persentase aspal terhadap campuran (%)

g = berat isi sampel (gr/cc)

3.6.3 Void Filled with Asphalt (VFWA)

VFWA adalah nilai presentase rongga dalam campuran yang terisi oleh aspal yang nilainya akan meningkat berdasarkan nilai kadar aspalnya sampai batas tertentu (kadar aspal optimum). Nilai VFWA dapat diperoleh dari Persamaan 3.5 sampai 3.8 berikut.

$$m = 100 \times \frac{i}{1} \quad (3.5)$$

$$i = b \times \frac{g}{Bj Aspal} \quad (3.6)$$

$$j = \frac{(100-b) \times g}{Bj Agregat} \quad (3.7)$$

$$l = 100 - j \quad (3.8)$$

Keterangan:

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

3.6.4 Kelelehan (*Flow*)

Flow menyatakan besarnya penurunan (deformasi benda uji) akibat adanya beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inch. Campuran dengan angka kelelehan tinggi serta stabilitas rendah maka akan cenderung plastis, sebaliknya apabila angka kelelehan tinggi maka akan cenderung bersifat getas dan mudah terjadi keretakan (*cracking*).

3.6.5 Kepadatan (*Density*)

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan (nilai berat volume) suatu perkerasan agregat dan aspal. Semakin tinggi nilai *density* pada campuran maka campuran akan dapat menahan beban dengan lebih baik, dikarenakan rongga di dalam campuran akan mengecil dan gesekan antar agregat akan membesar, selain itu dengan nilai *density* yang tinggi maka akan membuat campuran lebih kedap terhadap udara dan air, sehingga sulit teroksidasi. Nilai *density* dapat diperoleh dari Persamaan 3.9 dan 3.10 berikut.

$$g = \frac{c}{f} \quad (3.9)$$

$$f = d - e \quad (3.10)$$

keterangan:

- g = nilai *density* / kepadatan (gr/cc)
- c = berat benda uji sebelum direndam (gr)
- d = berat benda uji dalam keadaan jenuh / ssd (gr)
- e = berat dalam air (gr)
- f = volume/isi (cc)

3.6.6 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan untuk menahan beban lalu lintas sampai mengalami kelelahan plastis (deformasi). Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kadar aspal dan terus meningkat sampai batas tertentu (optimum) dan kemudian turun setelah melampaui batas optimum. Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas adalah tekstur, bentuk dan gradasi agregat serta kepadatan campuran dan kadar aspal. Menurut Sukirman (1992), stabilitas yang terlalu tinggi juga kurang baik mengingat perkerasan akan menjadi kaku dan bersifat getas. Nilai stabilitas diperoleh dari Persamaan 3.11 berikut.

$$q = p \times s \times 0.4536 \quad (3.11)$$

keterangan:

q = stabilitas (kg)

p = pembacaan arloji stabilitas $\times$ kalibrasi alat

s = koreksi tebal benda uji

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

3.6.7 Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow*. *Marshall Quotient* (MQ) adalah ukuran yang digunakan sebagai pendekatan nilai fleksibilitas perkerasan berdasarkan perbandingan antara nilai stabilitas dengan kelelahan (*flow*). Nilai *Marshall Quotient* menunjukkan kelenturan dari campuran, semakin kecil nilai MQ maka semakin lentur campuran tersebut, sebaliknya apabila nilai MQ semakin besar maka semakin kaku campuran tersebut. Nilai MQ dapat diperoleh dari Persamaan 3.12 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.12)$$

keterangan:

MQ = nilai *Marshall* (kg/mm)

q = nilai stabilitas (Kg)

r = nilai *flow* (mm)

3.7 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *Cantabro Loss* dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi. Nilai karakteristik *Cantabro Test* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.13 dengan mengacu pada ASTM C-131 seperti berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.13)$$

Keterangan:

L = Persentase kehilangan berat (%)

M_o = Berat sebelum diabrasi (gr)

M_i = Berat setelah diabrasi (gr)

3.8 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

AFD bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Nilai *AFD* dihitung berdasarkan Persamaan 3.14 mengacu pada AASHTO T 305 sebagai berikut.

$$AFD = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100\% \quad (3.14)$$

Keterangan:

AFD = nilai *asphalt flow down* (%)

m_1 = Berat cetakan nampan (gr)

m_2 = Berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr)

m_3 = Berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr)

3.9 *Index of Retained Strength (IRS)*

Index of Retained Strength menunjukkan kekuatan yang masih dimiliki oleh campuran setelah mengalami proses perendaman. *IRS* tersebut merupakan nilai stabilitas *Marshall* sisa untuk mengukur daya tahan terhadap pengrusakan oleh air. Pada pengujian ini dilakukan dengan 2 kondisi yang berbeda yaitu dengan cara

benda uji direndam dalam *waterbath* pada suhu 60 °C selama 30 menit (stabilitas standar) dan direndam pada suhu 60 °C selama 1x24 jam (stabilitas rendaman). Nilai *IRS* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.15 berikut.

$$IRS = \frac{S_2}{S_1} \times 100 \quad (3.15)$$

Keterangan:

IRS = *Index of Retained Strenght*

S1 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman 30 menit (kg)

S2 = rata-rata nilai stabilitas *Marshall* setelah perendaman 24 jam (kg)

3.10 *Indirect Tensile Strenght (ITS)*

Indirect Tensile Strenght (ITS) Test adalah suatu metode untuk mengetahui gaya tarik dari campuran aspal. Sifat uji ini adalah untuk memperkirakan potensial retakan dari kegagalan gaya tarik. Campuran lapisan perkerasan yang baik dapat menahan beban maksimum, sehingga dapat mencegah retakan terjadi.

Uji *Indirect Tensile Strenght* menggunakan benda uji berbentuk silindris dengan sebuah beban (dial) yang diletakkan pada atasnya yang bekerja sejajar dan sepanjang bidang vertikal sepanjang diameter benda uji sehingga menyebabkan pecahnya benda uji. Nilai *ITS* dapat diperoleh dari Persamaan 3.16 berikut.

$$ITS = \frac{\text{Pruntuh}}{h} \times A_o \quad (3.16)$$

keterangan:

ITS = *Indirect Tensile Strenght* (kg/cm²)

Pruntuh = beban puncak (kg)

h = tinggi sampel (cm)

Ao = konstanta (tabel *Ao*)

3.11 *Tensile Strenght Retained (TSR)*

Nilai *TSR* diperoleh dari perbandingan antara nilai daya tahan tarik campuran setelah direndam selama 24 jam pada *waterbath* dengan suhu 60°C

dengan nilai daya tahan tarik tanpa rendaman yang kemudian dikalikan dengan 100. Sehingga didapatkan Persamaan 3.17 sebagai berikut.

$$TSR = \frac{ITSo}{ITSn} \times 100 \quad (3.17)$$

Keterangan:

TSR = *Tensile Strenght Retained* (kg/cm²)

$ITSo$ = kekuatan tarik tidak langsung awal (kg/cm²)

$ITSn$ = kekuatan tarik tidak langsung dengan durasi perendaman (kg/cm²)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Umum

Metode penelitian yaitu rangkaian dalam melaksanakan penelitian yang bermaksud untuk menemukan jawaban dari suatu masalah yang ada dengan mengambil, identifikasi, dan analisis variable yang diteliti. Penelitian dapat berjalan dengan tersistem dan baik serta tujuan penelitian tercapai tidak lepas dari metode penelitian yang diambil sehingga sesuai dengan prosedur, bahan yang digunakan, peralatan yang digunakan, dan jenis penelitiannya. Berikut ini adalah uraian pelaksanaan metode penelitian sebagai berikut.

1. Bahan dan benda uji
2. Peralatan penelitian
3. Pelaksanaan penelitian
4. Hasil penelitian

4.2 Bahan Bahan yang Digunakan

Sebelum melakukan penelitian, bahan yang digunakan harus disiapkan dahulu. Bahan yang digunakan untuk benda uji adalah sebagai berikut.

1. Bahan Bahan Aspal
 - a. *Course Agregate (CA)*
Course Agregate atau agregat kasar diambil dari *Clereng*, Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
 - b. *Medium Agregate (MA)*
Medium Agregate atau agregat medium diambil dari *Clereng*, Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.
 - c. *Filler Agregate (FA)*
Filler Agregate atau agregat halus pasir diambil dari sungai Progo, Kabupaten Kulon Progo, Provinsi Daerah Istimewa Yogyakarta.

d. Aspal

Bahan ikat yang digunakan yaitu aspal penetrasi 60/70 diambil dari Laboratorium Jalan Raya Teknik Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

2. Bahan Tambah

Bahan tambah yang digunakan adalah serbuk parutan limbah ban karet yang diperoleh dari TPS Bawukan Sleman.

4.3 Peralatan Penelitian

Peralatan pada penelitian ini menggunakan peralatan yang tersedia di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia yang meliputi peralatan untuk pengujian *Marshall Test*, *Indirect of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Retained (TSR)*. Peralatan yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Peralatan untuk pengujian fisik agregat, seperti mesin *Los Angeles*, saringan standar, serta tabung *Sand Equivalent*.
2. Seperangkat alat uji fisik aspal, seperti alat ukur penetrasi aspal, daktilitas aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala dan titik bakar aspal.
3. Alat uji *Marshall* yaitu seperangkat alat uji karakteristik campuran metode *Marshall*. Alat uji terdiri dari *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg (5000 Pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilengkapi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”), kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*), arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001”), arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm (0,01”). Selain itu dilengkapi juga dengan alat penunjang seperti penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) dan bak perendam (*waterbath*) dilengkapi dengan pengatur suhu.

4. Alat uji *Indirect of Retained Strength Test* yang terdiri dari alat tekan, meliputi *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg (5000 Pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound), arloji pengukur stabilitas, arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm. Alat tersebut juga dilengkapi dengan penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula dan bak perendam (*waterbath*).
5. Alat uji *Indirect Tensile Strength Test* yang terdiri dari alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 “, arloji pengukur stabilitas dan kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm dan dilengkapi dengan alat penunjang seperti penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula dan bak perendam (*waterbath*).
6. Alat uji *Tensile Strength Retained Test* yang terdiri dari alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 “, arloji pengukur stabilitas dan kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm dan dilengkapi dengan alat penunjang seperti penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg) dengan tinggi jatuh 18 inch (45,7 cm), alat pemanas (kompor), oven, cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm, spatula dan bak perendam (*waterbath*).

4.4 Lokasi Penelitian

Pengujian benda uji campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan berbagai gradasi ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil Universitas Islam Indonesia.

4.5 Pelaksanaan Penelitian

Tahapan pelaksanaan penelitian ini meliputi pemeriksaan agregat, pemeriksaan aspal, perencanaan campuran, serta pembuatan dan proporsi campuran sampel benda uji. Pemeriksaan material berpedoman pada Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Spesifikasi Umum Bina marga 2018.

4.5.1 Pemeriksaan Agregat

Agregat adalah salah satu komponen lapis perkerasan jalan raya, karena dapat menentukan daya dukung, mutu, kualitas serta keawetan suatu perkerasan. Adapun beberapa pengujian agregat yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat kasar serta agregat halus
Pengujian ini mengacu pada SNI 1969:2008 (agregat kasar) dan SNI 1970:2008 (agregat halus) yang bertujuan untuk mengetahui berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry* (SSD) dan berat jenis semu (*Apparent Specific Gravity*) serta penyerapan air oleh agregat.
- b. Pengujian kelekatan agregat oleh aspal
Pengujian ini mengacu pada SNI 06-2439-1991 yang bertujuan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal.
- c. Pengujian keausan agregat
Pengujian ini mengacu pada SNI-2417:2008 dengan tujuan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan. Pengujian ini dilakukan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*
- d. Pengujian *Sand Equivalent*
Pengujian ini mengacu pada SNI 03-4428-1997 yang bertujuan untuk menentukan kadar debu atau lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus

4.5.2 Pemeriksaan Aspal

Pengujian yang digunakan untuk mengetahui kualitas aspal adalah sebagai berikut:

- a. Pengujian Berat Jenis Aspal
Pengujian ini mengacu pada SNI 06-2441-1991 yang mana merupakan perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling dengan volume yang sama pada suhu tertentu.

b. Pengujian Penetrasi Aspal

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

c. Pengujian Daktilitas

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

d. Pengujian Titik Lembek Aspal

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

e. Pengujian Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida

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

f. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

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

4.5.3 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dalam penelitian ini berpedoman pada *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) dan *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007). Komponen bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler, dan aspal yang telah diuji terlebih dahulu sebelum digunakan. Pengujian bertujuan untuk mengetahui sifat fisik material apakah sudah memenuhi persyaratan yang telah ditentukan. Jika pengujian agregat dan aspal selesai, selanjutnya dilakukan penyaringan agregat dengan gradasi yang sudah direncanakan.

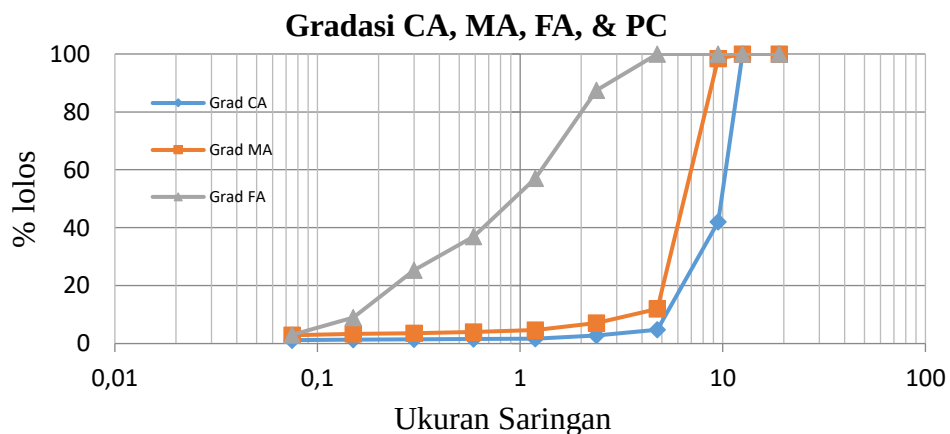
1. Mix Design Spesifikasi AAPA 2004

Gradasi rencana untuk campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* merujuk pada *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut

Tabel 4.1 Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi AAPA 2004

Ukuran Ayakan		Agregat Maksimum 10mm		
inch	Mm	Spesifikasi % Berat yang Lolos	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
¾	19,0	100-100	100	0,00
½	12,5	100-100	100	0,00
3/8	9,5	85-100	92,50	7,50
#4	4,75	20-45	32,50	60,00
#8	2,38	10-20	15,00	17,50
#16	1,19	6-14	10,00	5,00
#30	0,59	5-10	7,50	2,50
#50	0,3	4-8	6,00	1,50
#100	0,15	3-7	5,00	1,00
#200	0,075	2-5	3,50	1,50

Berikut ini merupakan grafik gradasi rencana aspal porus gradasi AAPA yang digunakan ke dalam campuran, dapat dilihat pada Gambar 4.1 di bawah ini



Gambar 4.1 Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus Spesifikasi AAPA

Berdasarkan AAPA (2004) kadar aspal yang digunakan untuk agregat dengan ukuran maksimum 10mm adalah pada kisaran 5% - 6,5%. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 5,0% ; 5,5% ; 6,0% ; 6,5% ; 7,0% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.

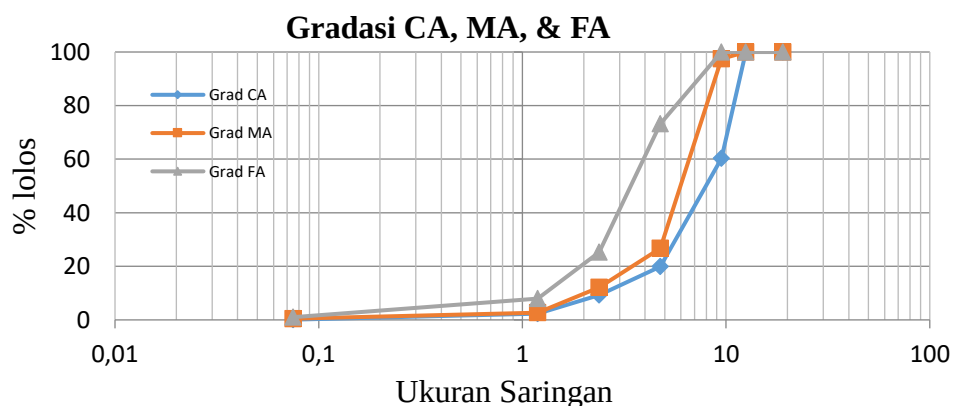
2. Mix Design Spesifikasi CalTrans 2007

Gradasi rencana untuk campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* merujuk pada *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007) dapat dilihat pada Tabel 4.2 berikut

Tabel 4.2 Gradasi Rencana Aspal Porus Spesifikasi CalTrans 2007

Ukuran Ayakan		Spesifikasi % Berat yang Lolos	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
inch	mm			
$\frac{3}{4}$	19,0	100-100	100	0,00
$\frac{1}{2}$	12,5	100-100	100	0,00
$\frac{3}{8}$	9,5	90-100	95,00	5,00
#4	4,75	35-50	42,50	52,50
#8	2,38	15-32	23,50	19,00
#16	1,19	0-15	7,50	16,00
#200	0,075	0-3	1,50	6,00

Berikut ini merupakan grafik gradasi rencana aspal porus gradasi CalTrans 2007 yang digunakan ke dalam campuran, dapat dilihat pada Gambar 4.2 di bawah ini



Gambar 4.2 Gradasi Rencana Campuran Aspal Porus Spesifikasi CalTrans

Dalam mencari kadar aspal optimum rencana campuran aspal porus, dapat diperhitungkan dengan Persamaan 4.1 berikut ini.

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

Keterangan:

P_b = Kadar aspal perkiraan,

CA = Agregat kasar tertahan saringan No. 4,

FA = Agregat halus lolos saringan No. 4 dan tertahan No. 200, dan,

$Filler$ = Agregat halus lolos saringan No. 200.

Konstanta = 1 sampai 2

Dalam mencari kadar aspal optimum rencana campuran aspal porus, dapat diperhitungkan dengan Persamaan 4.1 dengan perhitungan sebagai berikut

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

$$P_b = 0,035 (52.50) + 0,045 (48.50) + 0,18 (1.50) + 2$$

$$= 6,29$$

Dari perhitungan diatas maka dibuat pembulatan dengan kadar aspal perkiraan menjadi 6.00. Sehingga kadar aspal yang digunakan pada campuran ini adalah 5,0% ; 5,5% ; 6,0% ; 6,5% ; 7,0% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram.

4.5.4 Pembuatan dan Proporsi Campuran

Setelah penyaringan, selanjutnya dilakukan penimbangan dengan berat tertentu untuk masing-masing ukuran saringan menggunakan jenis agregat dan gradasi yang telah ditentukan oleh spesifikasi. Apabila semua bahan telah disiapkan dan memenuhi syarat, selanjutnya dilakukan pembuatan benda uji.

Benda uji dibuat berdasarkan kadar perkiraan aspal yang digunakan dan dapat dilihat pada Tabel 4.3 berikut. Setelah didapat nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) pada masing masing spesifikasi gradasi (AAPA 2004 dan CalTrans 2007) maka dilanjutkan dengan membuat benda uji sesuai berdasarkan variasi penambahan serbuk parutan limbah ban karet 0%, 5%, 6%, dan 7%.

4.6 Rancangan Benda Uji

Permodelan benda uji *Asphalt Porous-Wearing Course* total berjumlah 186 benda uji dengan uraian sebagai berikut:

1. 45 buah benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan gradasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004) pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt flow down*.
2. 45 buah benda uji untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan gradasi *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007) pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt flow down*.
3. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 0% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004)
4. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 0% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007)
5. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 4% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA 2004)
6. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 4% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *California Department of Transportation's* (CalTrans 2007)

7. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 6% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)*
8. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 6% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *California Department of Transportation's (CalTrans 2007)*
9. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 8% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)*
10. 18 buah benda uji untuk pengujian variasi bahan tambah serbuk parutan limbah ban karet kadar 8% pengujian *Marshall Test*, *Cantabro Loss*, *Asphalt flow down*, *Indeks of Retained Strength (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* menggunakan gradasi *California Department of Transportation's (CalTrans 2007)*

Rincian benda uji untuk penentuan KAO dapat dilihat pada Tabel 4.3 dan rincian benda uji pada kondisi KAO dapat dilihat pada Tabel 4.4 berikut.

Tabel 4.3 Jumlah Benda Uji untuk Penentuan KAO

Spesifikasi gradasi	Australia (AAPA 2004)					California (CalTrans 2007)				
Kadar Aspal	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7%	5,0%	5,5%	6,0%	6,5%	7%
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>CL</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>AFD</i>	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah	45					45				
Total	90									

Tabel 4.4 Rincian Benda Uji pada Kondisi KAO

Pengujian	Variasi 0%		Variasi 5%		Variasi 6%		Variasi 7%	
	AAPA	CalTrans	AAPA	CalTrans	AAPA	CalTrans	AAPA	CalTrans
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>CL</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>AFD</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>IRS</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>ITS</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>TSR</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah	36		36		36		36	
Total	144							

4.7 Pelaksanaan Pengujian

Penelitian dilaksanakan dengan melalui tahapan-tahapan yang meliputi persiapan alat dan bahan, pembuatan benda uji, dan pelaksanaan pengujian yang telah dijelaskan di dalam sub bab ini.

4.7.1 Pembuatan dan Perawatan Benda Uji

Penelitian ini menggunakan metode pencampuran secara konvensional. Tujuan dari metode ini adalah untuk membentuk ikatan yang sangat kuat antara aspal dengan agregat kasar dan pengikatan yang optimal dapat mengatasi permasalahan kelembaban pada agregat kasar.

Pada tahap pencampuran aspal panas dengan bahan penyusun lainnya terdapat perbedaan dalam pembuatan sampel benda uji pada proses pencampuran antara sebelum mendapatkan nilai KAO dan setelah mendapatkan nilai KAO. Perbedaan kedua proses tersebut antara lain sebagai berikut.

1. Proses penentuan nilai KAO

Metode pencampuran yang digunakan dalam pembuatan sampel sebelum mendapatkan nilai KAO adalah metode pencampuran konvensional. Tahapan pencampuran pada metode ini yaitu dengan mencampurkan agregat kasar, agregat halus, dan filler yang telah dipanaskan dalam satu wadah dengan aspal

panas sesuai dengan nilai kadar aspal optimum (KAO), kemudian semua bahan campuran diaduk secara merata.

2. Proses pencampuran pada kondisi KAO

Setelah nilai KAO diperoleh maka dibuat spesimen dengan metode pencampuran konvensional. Proses campuran pada KAO sama seperti pada proses pembuatan sampel dalam menentukan nilai KAO, yang membedakan adalah pada proses ini ditambahkan bahan tambah lainnya yaitu ban karet dengan kadar variasi yang berbeda-beda.

4.7.2 Pengujian *Marshall Test*

Pengujian *Marshall Test* bertujuan untuk mendapatkan nilai-nilai dari stabilitas, kelelahan (*flow*), *void in total mix (VITM)*, *void filled with asphalt (VFWA)*, *void in mineral aggregate (VMA)*, kepadatan (*density*), *Marshall Quotient (MQ)*. Langkah-langkah pengujian *Marshall Test* adalah sebagai berikut:

1. Membersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
2. Mengukur tinggi benda uji sebanyak tiga kali pada posisi yg berbeda, sampai mendapatkan angka yang mendekati angka rata-rata.
3. Menimbang dan mencatat berat benda uji sehingga mendapatkan berat benda uji kering sebelum direndam.
4. Merendam benda uji didalam air selama 20-24 jam pada suhu ruang agar benda uji menjadi jenuh air.
5. Menimbang benda uji di dalam air untuk mendapatkan berat isi.
6. Mengeluarkan benda uji dari rendaman dan mengeringkan permukaan benda uji dengan menggunakan kain lap yang lembab sampai kering permukaan jenuh (SSD), kemudian menimbang benda uji untuk mendapatkan berat jenuh.
7. memasukkan benda uji kedalam bak perendam (*waterbath*) selama 30 menit dengan suhu air $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$.
8. Sebelum melakukan pengujian, bersihkan batang penuntu (*guide road*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*Test Head*). Lumasi batang penuntun sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikendaki kepala penekan direndam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C .

9. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam (*waterbath*) dan memasang arloji kelelehan (*Flow meter*) pada posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*).
10. Menaikkan kepala penuntun (*Test head*) benda uji sampai menyentuh alas cincin penguji, kemudian mengatur jarum kedudukan arloji tekan pada angka nol.
11. Memulai pembebanan dengan kecepatan tetap 50 mm/menit, sampai pembebanan maksimum tercapai. Pada saat arloji pembebanan berhenti maka dibaca arloji kelelehannya (*flow*).
12. Setelah pembebanan selesai, benda uji dikeluarkan dari alat uji.
13. mengulangi langkah-langkah pengujian seperti diatas untuk benda uji yang lainnya sesuai dengan yang dibuat dalam penelitian.

4.7.3 Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

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

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

4.7.4 Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Prosedur pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut.

1. Melapisi cetakan berupa nampian dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dengan kertas alumunium foil, menimbang dan mencatat berat cetakan tersebut (m1).
2. Selanjutnya membuat campuran aspal, setelah tercampur merata campuran aspal dituangkan diatas cetakan yang telah dilapisi sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).
3. Memasukan cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut ke dalam oven dengan suhu $\pm 160\text{ }^{\circ}\text{C}$ selama ± 60 menit.
4. Prosedur diulangi sesuai kebutuhan.

5. Mengeluarkan cetakan dari dalam oven dan campuran aspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran aspal yang melekat pada aluminium foil ditimbang dan dicatat (m³).

4.7.5 Pengujian Indeks of Retained Strength (IRS)

Pengujian *Indeks of Retained Strength (IRS)* atau *Immersion Test* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Membuat benda uji berdasarkan dengan nilai KAO yang telah didapat dari pengujian *Marshall*.
2. Mengukur tinggi benda uji sebanyak tiga kali di tiga posisi yang berbeda, sampai mendapatkan angka yang mendekati rata-rata, lalu menimbang dan mencatat beratnya sehingga diperoleh berat benda uji sebelum direndam.
3. Benda uji direndam kedalam air selama 20 s/d 24 jam pada suhu ruang untuk mendapatkan kejenuhan, kemudian menimbang didalam air untuk mendapatkan berat isi.
4. Benda uji dikeluarkan dari rendaman lalu mengelap bagian permukaannya hingga mencapai kering permukaan (SSD), kemudian menimbang untuk mendapatkan berat jenuh.
5. Memasukkan benda uji ke dalam waterbath selama 24 jam.
6. Menyiapkan kepala penekan *test head* dan memberi minyak pelumas. Kemudian memeriksa mesin penekan *marshall test* dan perlengkapannya, menyetel dial stabilitas pada angka nol.
7. Mengambil benda uji yang direndam dalam waterbath dan memindahkan ke *test head*, memasang dial *flow* pada tempatnya, kemudian menghidupkan mesin pembebanan. Mengamati dial stabilitas dan dial *flow*, dengan cara membaca dial *flow* bila dial pada stabilitas telah mencapai angka maksimum.
8. Membaca pembacaan pada dial stabilitas dan dial *flow*.
9. Mengulangi langkah-langkah seperti di atas untuk benda uji yang lain sebanyak benda uji yang dibuat dalam penelitian.

4.7.6 Pengujian Indirect Tensile Strength (ITS)

Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapatkan dari pengujian *Marshall*.
2. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
3. Mengamati pembacaan dial dan catat hasilnya.
4. Mengulangi langkah-langkah seperti di atas untuk bahan uji yang lain sebanyak benda uji yang dibuat dalam penelitian.

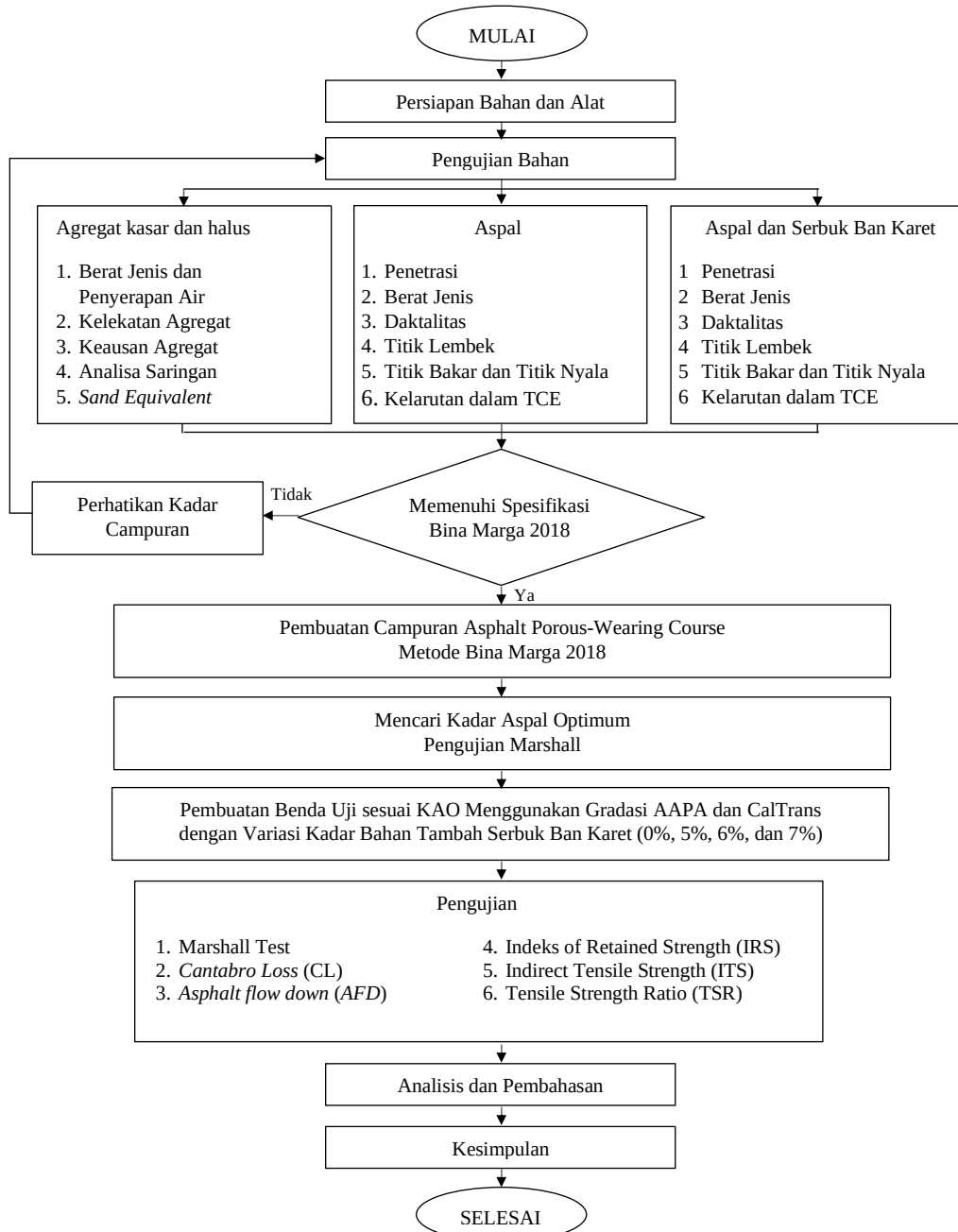
4.7.7 Pengujian Tensile Strength Ratio (TSR)

Pengujian *Tensile Strength Ratio (TSR)* dapat dilakukan dengan cara sebagai berikut:

1. Membuat benda uji dengan nilai KAO yang telah didapat dari pengujian *Marshall*.
2. Untuk benda uji *TSR*, terlebih dahulu benda uji direndam dalam Waterbath dengan suhu $60 \pm 1^{\circ}\text{C}$ selama 24 jam. Setelah direndam benda uji kemudian didiamkan dalam suhu ruang 25°C selama 24 jam.
3. Meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian.
4. Mengamati pembacaan dial dan catat hasilnya.
5. Mengulangi langkah-langkah seperti di atas untuk benda uji yang lain sebanyak benda uji yang dibuat dalam penelitian.

4.8 Kerangka Penelitian

Dari penjelasan di atas dapat digambarkan skema penelitian mengikuti alur *flowchart* pada Gambar 4.3 berikut



Gambar 4.3 Flow Chart Tahapan Pengujian Benda Uji di Laboratorium

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Hasil pengujian bahan dan campuran dari serangkaian penelitian yang telah dilaksanakan, diperoleh hasil sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian sifat fisik aspal dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dengan mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Aspal yang digunakan dalam pengujian ini adalah jenis aspal pertamina pen 60/70. Berikut ini merupakan hasil yang diperoleh dari pengujian karakteristik aspal tersebut dapat dilihat pada Tabel 5.1 di bawah.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Penetrasi 60/70

No	Pengujian	Aspal Pertamina Pen 60/70		Keterangan
		Syarat	Hasil	
1	Berat Jenis Aspal	$\geq 1,0$	1,05	Memenuhi
2	Penetrasi (0.1mm)	60-70	65,1	Memenuhi
3	Daktalitas (cm)	≥ 100	150	Memenuhi
4	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	51	Memenuhi
5	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	319	Memenuhi
6	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	322	Memenuhi
7	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,33	Memenuhi

5.1.2. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian ini berpedoman pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Agregat yang digunakan dalam pengujian ini adalah agregat yang berasal dari daerah *Clereng*, Kabupaten Kulon Progo, Yogyakarta. Berikut adalah rangkuman hasil pengujian sifat sifat agregat yang dapat ditemukan dalam Tabel 5.2 dan Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2,738	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,937	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> (%)	≤ 40	13,11	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 2.5	2,674	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	≤ 3	1,498	Memenuhi
3	<i>Sand equivalent</i> (%)	≥ 50	91,41	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dalam Menentukan Kadar Aspal Optimum dengan Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans

Dalam menentukan kadar aspal optimum campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*, dilakukan pengujian *Marshall*. Adapun parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu nilai *VITM* dari pengujian karakteristik *Marshall*, *AFD*, dan *Cantabro* yang dapat dilihat pada Tabel 5.4 sampai Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Karakteristik *Marshall* Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	479,129	2,517	194,753	18,724	33,746	28,259	2,0024
5.5	524,624	2,700	194,514	18,584	36,015	29,017	1,9917
6	557,420	3,333	168,418	15,387	43,365	27,132	2,0555
6.5	496,676	3,900	127,366	15,806	44,358	28,379	2,0311
7	480,633	4,133	116,350	14,787	47,928	28,397	2,0415
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25			

Tabel 5.5 Hasil Karakteristik *Marshall* Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi Caltrans

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	495,571	2,267	218,863	18,669	33,827	28,211	2,0037
5.5	530,270	2,467	215,497	18,407	36,225	28,863	1,9960
6	551,801	2,767	199,376	16,649	41,006	28,219	2,0248
6.5	513,608	3,133	163,978	15,013	45,812	27,705	2,0502
7	480,555	3,400	141,504	14,737	48,027	28,355	2,0427
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25			

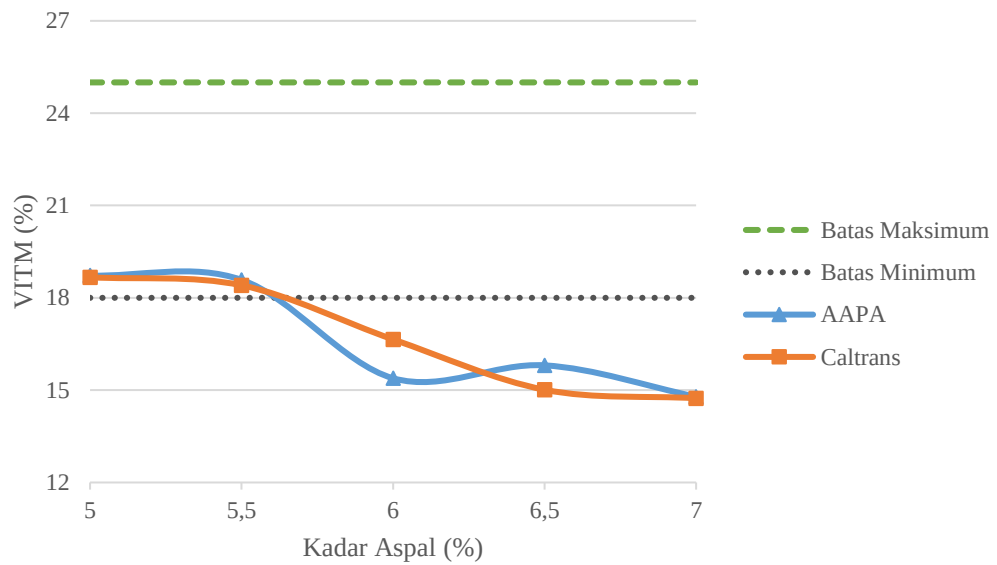
Tabel 5.6 Hasil Pengujian CL Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Cantabro Loss</i> (%)	
	<i>Australian Asphalt Pavement Association</i> (AAPA 2004)	<i>California Department of Transportation's</i> (CalTrans 2007)
5	39,05	38,51
5,5	29,78	29,62
6	22,31	22,06
6,5	20,07	19,90
7	15,18	15,03

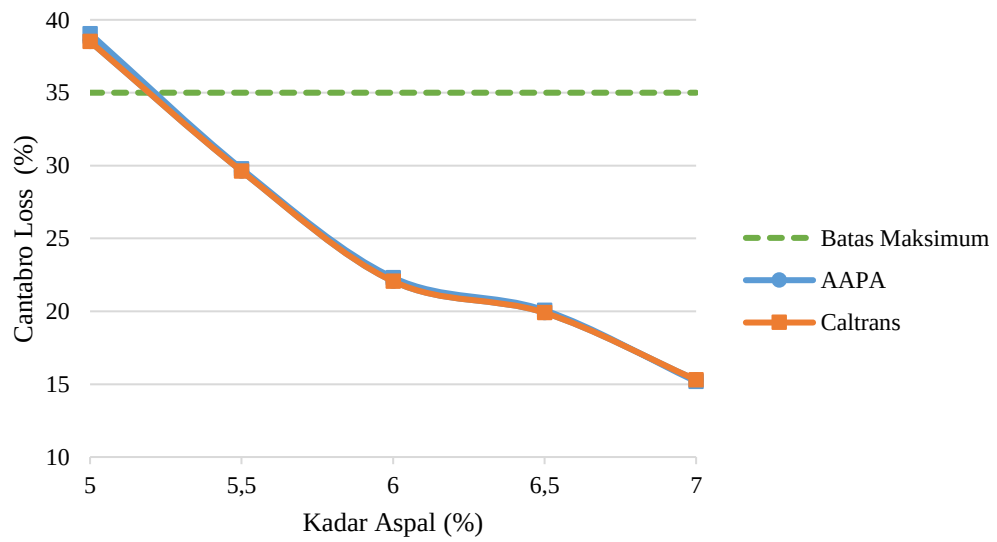
Tabel 5.7 Hasil Pengujian AFD Campuran Asphalt Porous-Wearing Course Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans

Kadar Aspal (%)	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	
	<i>Australian Asphalt Pavement Association</i> (AAPA 2004)	<i>California Department of Transportation's</i> (CalTrans 2007)
5	0,14	0,19
5,5	0,22	0,26
6	0,87	0,96
6,5	1,34	1,42
7	1,48	1,49

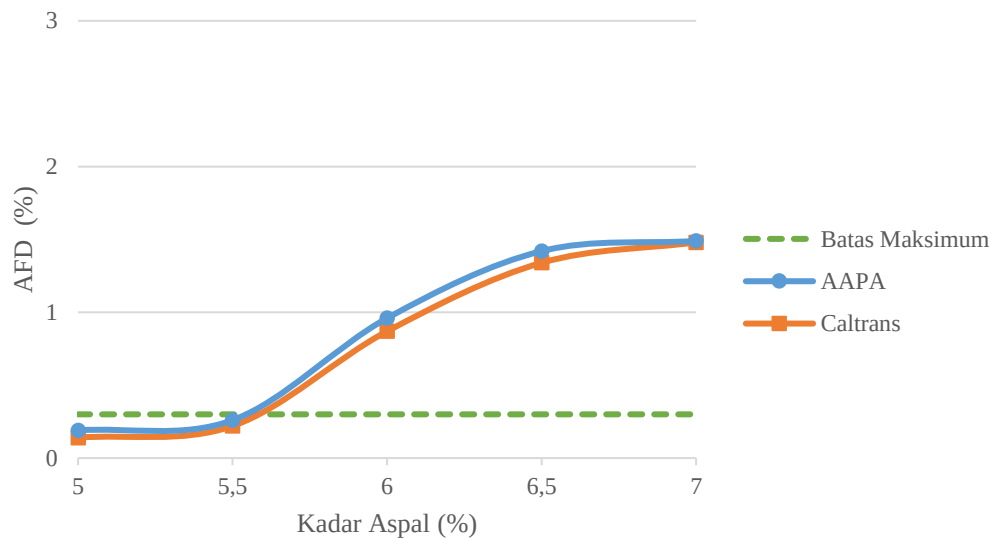
Berikut ini adalah grafik hubungan kadar aspal dengan nilai *VITM*, nilai *cantabro loss* dan nilai *AFD* dan metode untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal porus. Grafik tersebut dapat dilihat pada Gambar 5.1 sampai Gambar 5.3 di bawah ini.



Gambar 5.1 Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai VITM Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans



Gambar 5.2 Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Cantabro Loss Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans



Gambar 5.3 Grafik Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai AFD Campuran Aspal Porus dengan Gradasi AAPA dan Caltrans

Berikut adalah tahapan menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus dengan spesifikasi gradasi AAPA:

1. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai *VITM* 18% (KAO Maksimum) yaitu 5,60%.
2. Menentukan kadar aspal yang memiliki nilai Cantabro Loss 35% (KAO Minimum) yaitu 5,21%.
3. Menentukan nilai rerata KAO maksimum dan minimum, diperoleh 5,41%.
4. Proyeksikan nilai rerata KAO (5,41%) terhadap grafik *AFD*, hingga diperoleh nilai *AFD* pada kadar aspal tersebut yaitu 0,17%.
5. Jumlahkan nilai rerata KAO (5,41%) dengan nilai *AFD* (0,17%), sehingga diperoleh KAO pada campuran aspal porus dengan gradasi AAPA sebesar 5,58%.
6. Dengan melakukan tahapan yang sama diperoleh KAO pada campuran aspal porus menggunakan gradasi Caltrans sebesar 5,64%.

Adapun rekapitulasi hasil pembacaan dari ketiga grafik di atas dalam menentukan KAO campuran aspal porus menggunakan kedua jenis spesifikasi gradasi, dapat dilihat pada Tabel 5.8 di bawah ini.

Tabel 5.8 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik VITM, Cantabro Loss, dan Asphalt Flow Down dengan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Caltrans untuk Menentukan KAO

Karakteristik Pengujian	Spesifikasi Gradasi	
	<i>Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)</i>	<i>California Department of Transportation's (CalTrans 2007)</i>
<i>VITM</i>	5,60	5,65
<i>Cantabro Loss</i>	5,21	5,20
Rata-rata	5,41	5,43
<i>Asphalt Flow Down</i>	0,17	0,21
KAO	5,58	5,64

Kadar aspal optimum yang diperoleh pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan spesifikasi gradasi AAPA yaitu sebesar 5,58% dari berat total campuran. Sedangkan pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan spesifikasi gradasi Caltrans yaitu sebesar 5,64% dari berat total campuran.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan Penambahan Serbuk Ban Karet

Terdapat beberapa pengujian yang dilakukan pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* kondisi KAO yaitu diantaranya pengujian *Marshall*, *Immersion*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down (AFD)*. Pada pengujian ini menggunakan bahan tambah serbuk ban karet dengan variasi kadar yang berbeda yaitu 0%, 5%, 6%, dan 7% dari berat total kadar aspal optimum. Rekapitulasi hasil dari setiap pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.9 sampai Tabel 5.15 berikut ini.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Spesifikasi Gradasi AAPA 2004

Kadar Karet (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (%)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	522,096	3,2	164,39	19,24	35,30	29,72	1,9735
5	639,787	3,4	190,33	16,10	40,37	26,99	2,0502
6	647,629	3,5	183,13	21,33	32,38	31,55	1,9223
7	674,385	3,9	172,99	23,07	30,23	33,06	1,8800
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25			

Tabel 5.10 Hasil Pengujian *Marshall* Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Spesifikasi Gradasi CalTrans 2007

Kadar Karet (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (%)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	515,851	3,0	170,93	19,33	35,38	29,91	1,9697
5	547,517	2,9	188,03	18,61	36,45	29,28	1,9871
6	654,522	3,0	244,13	21,69	32,13	31,96	1,9118
7	664,294	3,1	251,35	21,73	32,08	32,00	1,9109
Spesifikasi	>500	2-6	<400	18-25			

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *CL* Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Kadar Karet (%)	Cantabro Loss (%)	
	AAPA 2004	Caltrans 2007
0	31,13	23,88
5	30,07	21,66
6	21,89	18,48
7	19,01	17,31

Tabel 5.12 Hasil Pengujian AFD Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Kadar Karet (%)	<i>Asphalt Flow Down (%)</i>	
	AAPA 2004	Caltrans 2007
0	0,30	0,30
5	0,28	0,27
6	0,22	0,26
7	0,18	0,22

Tabel 5.13 Hasil Pengujian IRS Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Kadar Karet (%)	<i>Index of Retained Strength (%)</i>	
	AAPA 2004	Caltrans 2007
0	97,98	97,47
5	81,27	92,61
6	81,24	78,51
7	78,75	77,95

Tabel 5.14 Hasil Pengujian ITS Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Kadar Karet (%)	<i>Indirect Tensile Strenght (kg/cm²)</i>			
	AAPA 2004		Caltrans 2007	
	0,5 Jam	24 Jam	0,5 Jam	24 Jam
0	11,158	0,7025	11,1608	0,8540
5	14,333	1,4862	11,0744	1,2551
6	16,560	1,4412	13,0441	1,5782
7	13,908	1,3020	11,3867	1,3032

Tabel 5.15 Hasil Pengujian TSR Campuran Aspal Porus Penambahan Serbuk Limbah Ban Karet dengan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Kadar Karet (%)	Tensile Strenght Ratio (%)	
	AAPA 2004	Caltrans 2007
0	6,30	7,65
5	10,22	11,33
6	8,70	12,10
7	9,71	11,44

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Agregat Kasar

Pengujian karakteristik agregat kasar bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat kasar yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan *Clereng* yang berasal dari *Clereng*, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dengan berat volume air pada suhu yang sama. Agregat dengan berat jenis rendah memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan berakibat selimut aspal menjadi tipis. Hal tersebut berdampak pada penurunan durabilitas campuran. Sedangkan agregat dengan berat jenis yang besar dapat meningkatkan durabilitas campuran, tetapi juga dapat meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang didapat adalah sebesar 2,738. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>2,5$.

2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat menyerap air melalui pori agregat itu sendiri. Adapun hasil pengujian agregat *Clereng* menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 1,937 %.

3. Kelekatan agregat oleh aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Hasil pengujian persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal adalah sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu >95%.

4. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Diperoleh nilai keausan dari hasil pengujian sebesar 13,11%. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu <40%.

5.2.2 Karakteristik Agregat Halus

Pengujian karakteristik agregat halus bertujuan untuk mengetahui sifat fisik agregat halus yang digunakan. Dalam penelitian ini agregat yang digunakan adalah batuan *Clereng* yang berasal dari *Clereng*, Kulon Progo.

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat adalah perbandingan berat volume agregat dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus yang diperoleh adalah sebesar 2,674. Sedangkan hasil pengujian berat jenis filler abu batu *Clereng* yang didapatkan adalah sebesar 2,550. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu >2,5.

2. Penyerapan air oleh agregat

Penyerapan agregat terhadap air merupakan kemampuan agregat menyerap air melalui pori agregat itu sendiri. Agregat dengan pori yang lebih besar dapat menyerap lebih banyak aspal sehingga lapisan selimut aspal menjadi lebih tipis, hal ini akan mempengaruhi durabilitas campuran. Adapun hasil pengujian agregat *Clereng* menunjukkan penyerapan terhadap air sebesar 1,498 %.

3. Sand Equivalent

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan No.200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran mengandung material lolos saringan No.200 yang berlebih, maka akan menghasilkan beton aspal dengan kualitas rendah. Hal ini terjadi karena agregat kasar terselimuti material agregat halus sehingga ikatan antara agregat dengan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian sand equivalent agregat halus *Clereng* didapatkan nilai 91,41%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu >50%.

5.2.3 Karakteristik Aspal Pen 60/70

Dalam penelitian ini aspal yang digunakan yaitu aspal pen 60/70. Pengujian karakteristik aspal dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan.

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan berat aspal dengan berat air pada volume dan suhu yang sama. Nilai berat jenis aspal menjadi penting dalam proses perancangan agregat dan aspal, khususnya dalam menentukan jumlah aspal yang dibutuhkan. Hasil dari pengujian berat jenis aspal Pen 60/70 didapatkan nilai sebesar 1,05. Nilai dari berat jenis tersebut memenuhi syarat dalam Spesifikasi Bina Marga 2018.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal dilaksanakan untuk mengevaluasi tingkat kekerasan aspal dengan menerapkan tekanan dan waktu tertentu pada suhu ruangan. Apabila nilai penetrasi yang dihasilkan semakin rendah, maka dapat disimpulkan bahwa tingkat kekerasan aspal tersebut lebih tinggi, dan begitu juga sebaliknya. Hasil pengujian Penetrasi aspal Pen 60/70 diperoleh nilai sebesar 65,1 mm. Hasil pengujian penetrasi kedua aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >60 mm.

3. Daktilitas

Tujuan dari pengujian daktilitas adalah untuk mengevaluasi karakteristik kohesi aspal yang dapat memengaruhi fleksibilitas campuran, sehingga campuran memiliki kemampuan untuk menahan beban tanpa mengalami kerusakan. Nilai daktilitas aspal merupakan nilai yang menunjukkan Tingkat kekenyalan pada aspal. Hasil pengujian daktilitas aspal Pen 60/70 didapat nilai sebesar 150 cm. Hasil pengujian tersebut memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >100 cm.

4. Titik Lembek Aspal

Pengujian titik lembek aspal dilakukan untuk menentukan suhu ketika aspal mulai menjadi lunak atau lembek. Hasil dari pengujian titik lembek pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 51°C . Hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 48^{\circ}\text{C}$

5. Titik Nyala Aspal

Pengujian titik nyala aspal dilakukan untuk mengetahui batas temperatur ketika aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Hasil pengujian titik nyala pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 319°C . Hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 232^{\circ}\text{C}$.

6. Titik Bakar Aspal

Pengujian titik bakar aspal digunakan untuk mengidentifikasi suhu ketika aspal mulai menghasilkan nyala api yang tetap menyala selama sekitar ± 5 detik pada permukaan aspal tersebut. Hasil dari pengujian titik bakar pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai 322°C .

7. Kelarutan dalam Trychloroethylene (TCE)

Kelarutan aspal dalam TCE adalah persentase dari jumlah aspal yang dapat larut dalam TCE, dan nilai ini akan mempengaruhi ikatan aspal dengan batuan. Semakin besar nilai kelarutan aspal dalam TCE maka dapat mengakibatkan kandungan mineral lain pada aspal semakin kecil. Hasil dari pengujian Kelarutan dalam TCE pada aspal Pen 60/70 diperoleh nilai sebesar 99,33%. Hasil pengujian tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar $>99\%$.

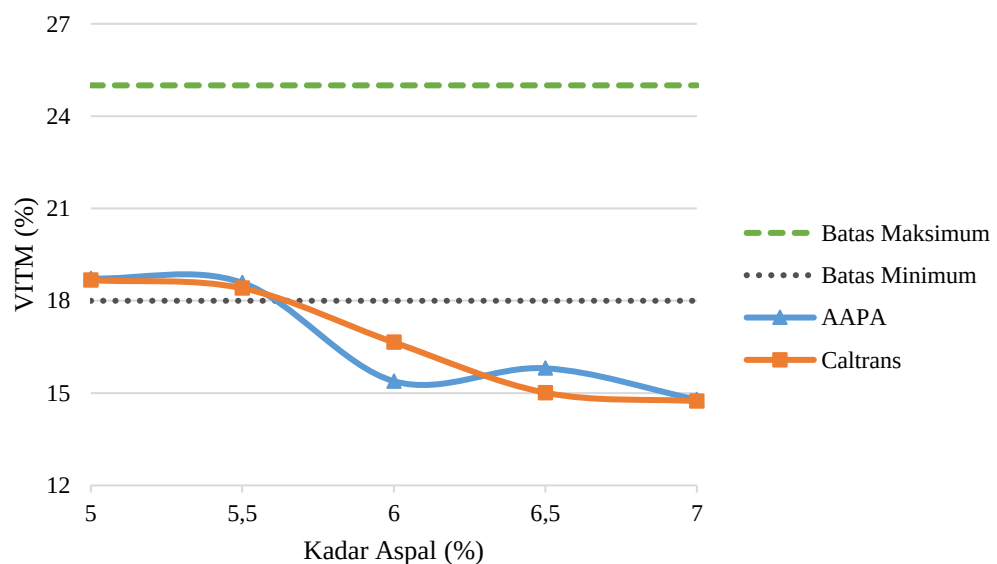
5.2.4 Karakteristik *Marshall*, *CL*, dan *AFD* untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Gradasi AAPA 2004 dan Caltrans 2007

Berdasarkan AAPA (2004) dalam menentukan KAO campuran Aspal Porus menggunakan tiga parameter, yaitu karakteristik *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian *Marshall*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

1. Karakteristik *Marshall*

a. *Void in the Total Mix (VITM)*

VITM adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VITM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. AAPA (2004) mensyaratkan batas nilai *VITM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%. Nilai *VITM* didapat dapat dilihat pada Gambar 5.4 berikut.



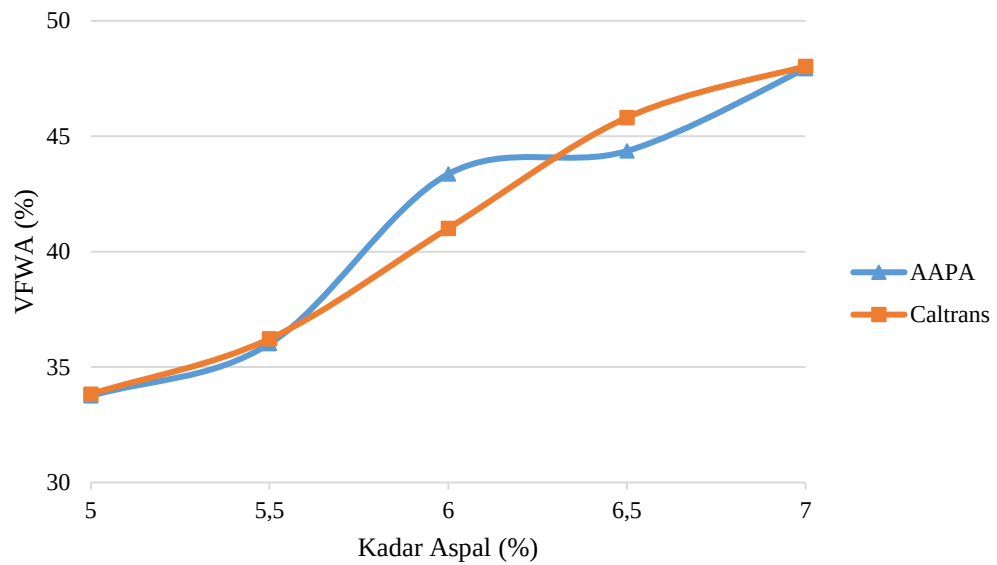
Gambar 5.4 Hubungan Kadar Aspal dengan *VITM* Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VITM* pada campuran tersebut. Penurunan nilai *VITM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran semakin kecil. Semakin rendah nilai *VITM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding* dan semakin tinggi juga resiko campuran mengalami penurunan durabilitas. Menurut penelitian Ramadhan dan Iduwin (2022), menyimpulkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan maka pengaruh nilai *VITM* menjadi semakin kecil.

Nilai *VITM* campuran aspal porus yang menggunakan spesifikasi gradasi Caltrans cenderung lebih besar, hal tersebut disebabkan oleh tidak adanya penggunaan agregat nomor saringan #30, #50, dan #100 sehingga jarak rongga antar agregat lebih besar dibandingkan dengan menggunakan spesifikasi gradasi AAPA. Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi spesifikasi AAPA 2004.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Void filled with asphalt merupakan volume pori pada campuran yang terisi oleh aspal setelah campuran dipadatkan. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh suhu, rongga dalam mineral, kadar aspal dan gradasi agregat. Semakin besar nilai *VFWA* maka rongga yang terisi oleh aspal semakin banyak, kedapatan terhadap air dan udaranya meningkat, sehingga meningkatkan durabilitas campuran hingga kondisi tertentu. Sedangkan jika nilai *VFWA* semakin rendah maka tingkat kedapatan terhadap air dan udara juga rendah. Nilai *VFWA* dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

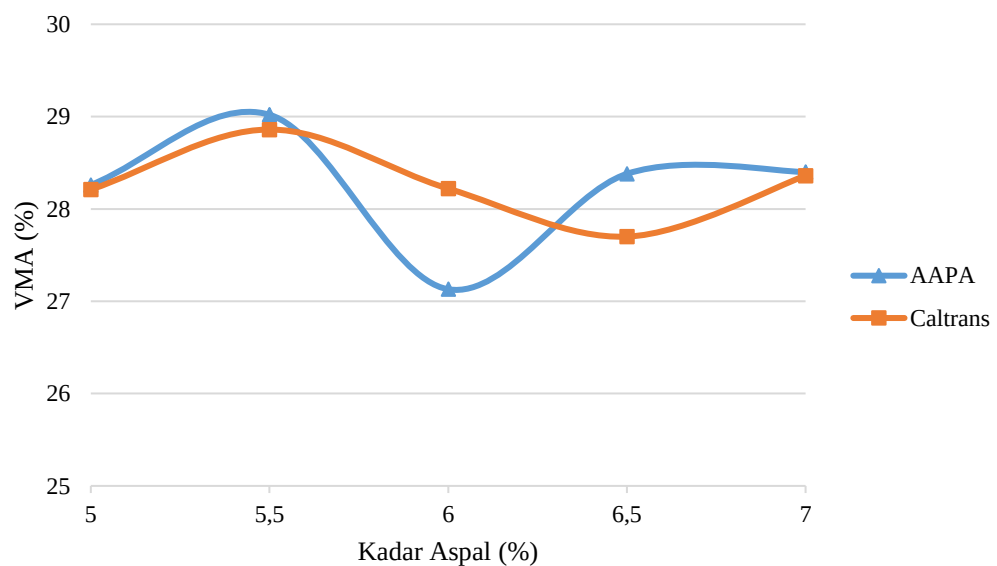


Gambar 5.5 Hubungan Kadar Aspal dengan VFWA Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa semakin besar kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin bertambah, aspal yang mengisi rongga menjadi semakin banyak. Penyerapan yang terjadi pada gradasi terbuka cukup besar yang mengakibatkan aspal yang diserap oleh agregat juga besar, sehingga aspal yang menutupi rongga pada campuran menjadi lebih kecil. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Ariyanti (2013) yang mengatakan bahwa gradasi dengan standar Australia (AAPA) memiliki nilai permeabilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan standar California. Sehingga membuat nilai *VFWA* pada gradasi Caltrans lebih tinggi dibandingkan gradasi AAPA. Nilai *VFWA* campuran yang menggunakan spesifikasi gradasi Caltrans relatif lebih besar. Hal tersebut terjadi karena memiliki rongga yang lebih banyak dibandingkan dengan spesifikasi gradasi AAPA sehingga lebih mudah mengisi rongga. Nilai *VFWA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, kadar aspal, temperatur dan jumlah pemadatan.

c. *Void in Mineral Agregat (VMA)*

Voids in mineral agregat merupakan jumlah pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. *VMA* akan meningkat pada campuran yang menggunakan gradasi terbuka. Nilai *VMA* dapat dilihat pada Gambar 5.6 berikut.

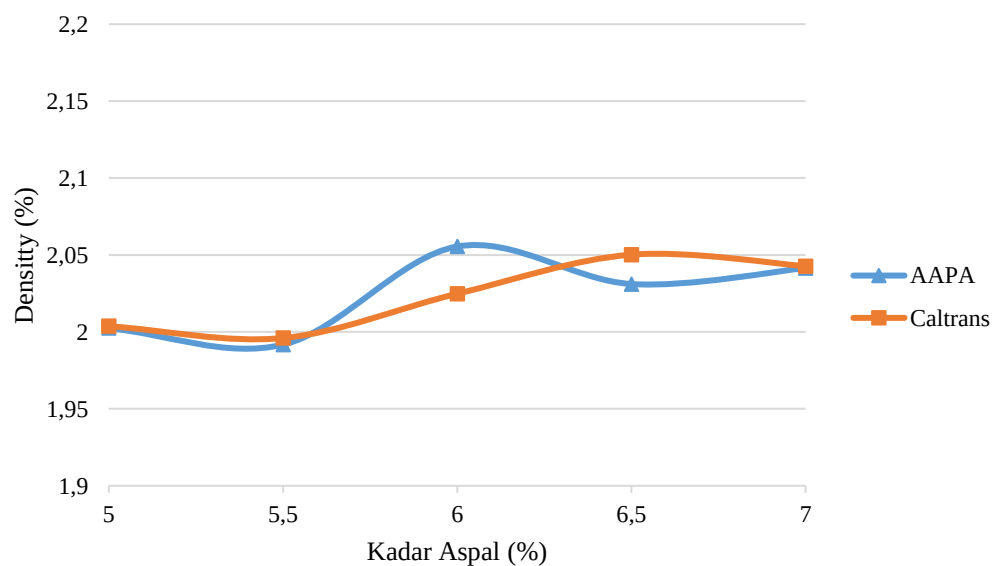


Gambar 5.6 Hubungan Kadar Aspal dengan VMA Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal dan kemudian meningkat setelah mencapai batas optimum. Hal ini disebabkan karena pada kadar aspal yang rendah, rongga antar agregat yang tersedia untuk ditempati oleh aspal juga akan semakin rendah, dan begitu pula sebaliknya pada kadar aspal yang tinggi maka rongga antar agregat yang tersedia juga tinggi. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan Fauziah (2016) yang mengatakan Nilai *VMA* pada mengalami penurunan sampai batas maksimum dan akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal.

d. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan (*density*) merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *density* adalah suhu pemadatan, komposisi penyusun, jumlah filler, dan kadar aspal. Semakin tinggi nilai stabilitas yang dimiliki suatu campuran maka tingkat kepadatan dan kerapatannya juga akan semakin tinggi sampai pada kondisi maksimum. Semakin tinggi kepadatan (*density*) suatu campuran, semakin tinggi juga nilai durabilitas campuran tersebut. Nilai *density* dapat dilihat pada Gambar 5.7 berikut.



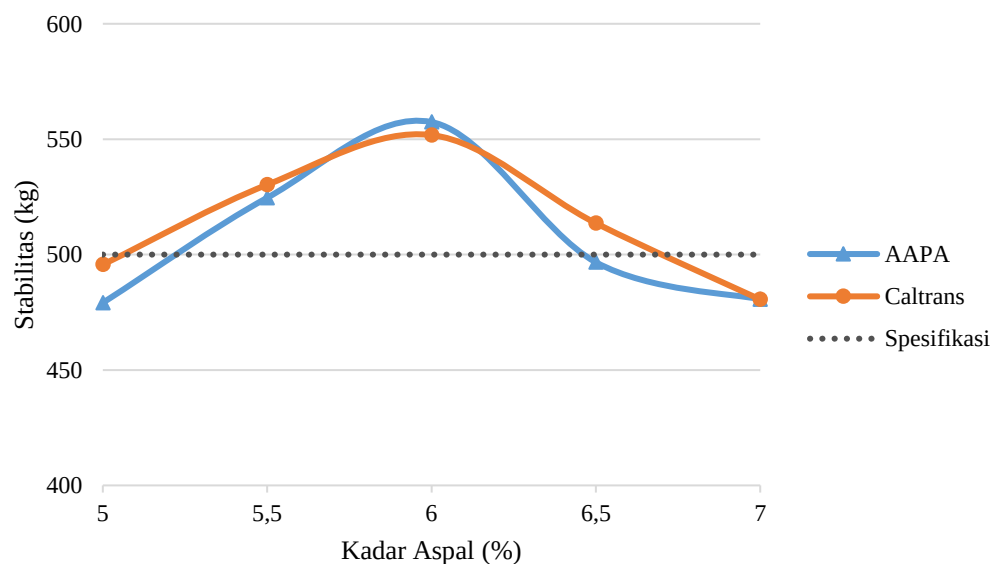
Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dengan *Density* Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat diketahui nilai *density* campuran mengalami perubahan tetapi tidak signifikan, hal ini dapat terjadi karena aspal yang digunakan memiliki sifat mudah cair. Selaras dengan penelitian Iqbal (2023), Peningkatan nilai *density* disebabkan oleh bertambahnya kadar aspal maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar butir sama besarnya, sehingga membuat campuran menjadi rapat dan kedap terhadap air.

Nilai *density* yang berubah juga disebabkan oleh gradasi yang digunakan banyak menggunakan agregat kasar, sehingga mengakibatkan rongga yang ada akan semakin besar pada kadar aspal rendah. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal yang cair dan dapat mengisi ruang kosong antara agregat dengan lebih baik. Peningkatan nilai *density* menandakan campuran menjadi lebih kokoh dan memiliki kekuatan yang lebih baik untuk menahan beban lalu lintas.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan, misalnya gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat, luas bidang kontak antar agregat dan atau bentuk/tekstur dari agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal selimut aspal yang menyelubungi agregat. Adapun kohesi atau gaya ikat aspal, menyebabkan aspal mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.



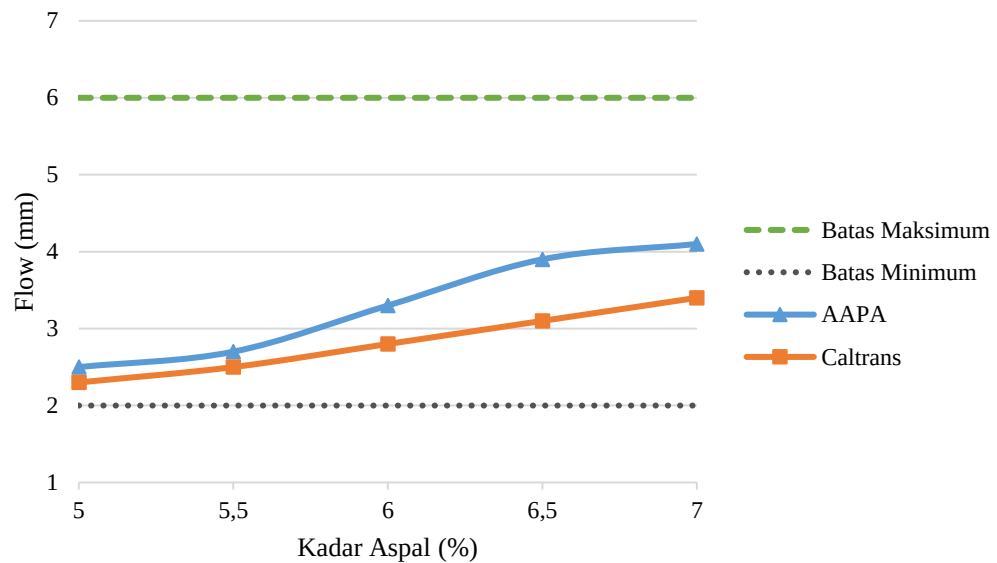
Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan AAPA 2004 yaitu >500 kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai optimum pada kadar 6% dan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat hingga mencapai optimum lalu mengalami penurunan setelah titik optimum disebabkan karena peran aspal berubah menjadi pelicin saat kadar aspal terlalu banyak pada campuran. Adapun penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Iduwin (2022), juga menyatakan bahwa Stabilitas akan meningkat sejalan dengan peningkatan kadar aspal sampai mencapai titik optimum, setelah itu akan mengalami penurunan.

Dapat diketahui juga campuran yang menggunakan gradasi AAPA memiliki nilai stabilitas yang jauh lebih besar pada titik optimum. Hal ini terjadi karena gradasi AAPA menggunakan agregat yang lebih merata di setiap nomor saringan dibandingkan dengan gradasi Caltrans, sehingga campuran yang menggunakan gradasi AAPA lebih stabil terhadap deformasi permanen. Dapat diketahui bahwa campuran aspal porus yang menggunakan aspal modifikasi memiliki nilai stabilitas yang jauh lebih baik. Hal ini terjadi karena aspal modifikasi memiliki kinerja dan sifat fisik yang dapat menunjang dan meningkatkan fungsi dari campuran.

f. *Flow*

Kelelehan (*flow*) menyatakan besarnya penurunan vertikal campuran akibat beban sampai batas runtuh. *Flow* diperlukan agar perkerasan memiliki daerah mulur akibat pembebanan, sehingga saat terjadi pembebanan, campuran memulur atau memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Semakin tinggi nilai *Flow* suatu campuran, maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran tersebut, hal tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal. Semakin rendah nilai *flow* campuran, maka akan semakin rendah fleksibilitas campuran. Nilai *flow* dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut.

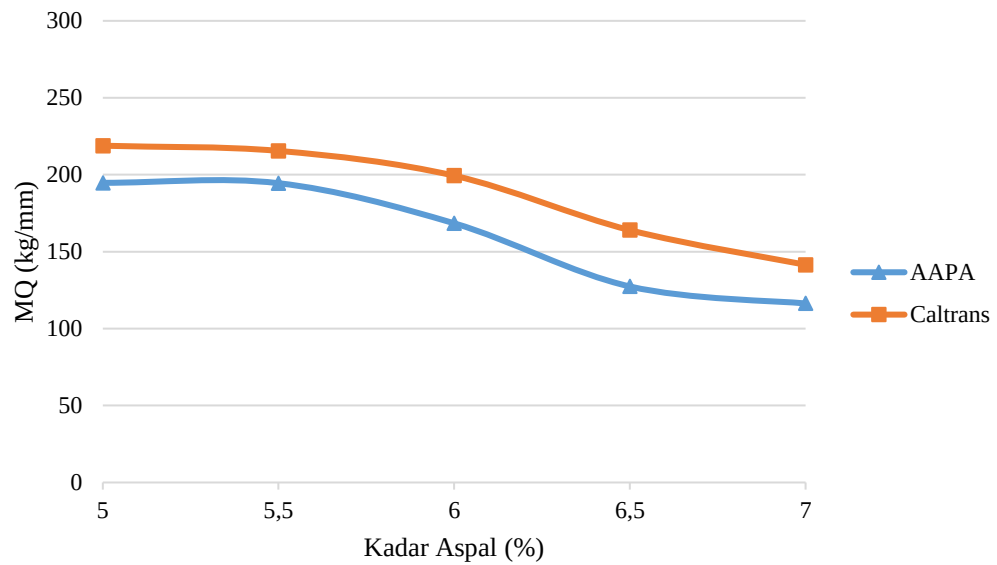


Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow* Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan AAPA 2004 yaitu berada diantara 2 mm – 6 mm. Dari grafik diatas dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan akibat semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi. Hal ini juga senada dengan hasil penelitian Hafidz dan Fauziah (2021) yang menyatakan semakin besar kadar aspal, maka nilai *flow* akan mengalami peningkatan. Nilai *flow* meningkat diakibatkan karena meningkatnya kadar aspal

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* dapat menyatakan kekakuan dan kelenturan dari suatu campuran. Nilai *MQ* merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Jika nilai *MQ* suatu campuran tinggi maka campuran tersebut cenderung kaku dan memiliki nilai fleksibilitas yang rendah. Sebaliknya bila suatu campuran memiliki nilai *MQ* yang rendah maka campuran tersebut memiliki fleksibilitas tinggi tapi cenderung kurang stabil. Nilai *MQ* dapat dilihat pada Gambar 5.10 berikut.



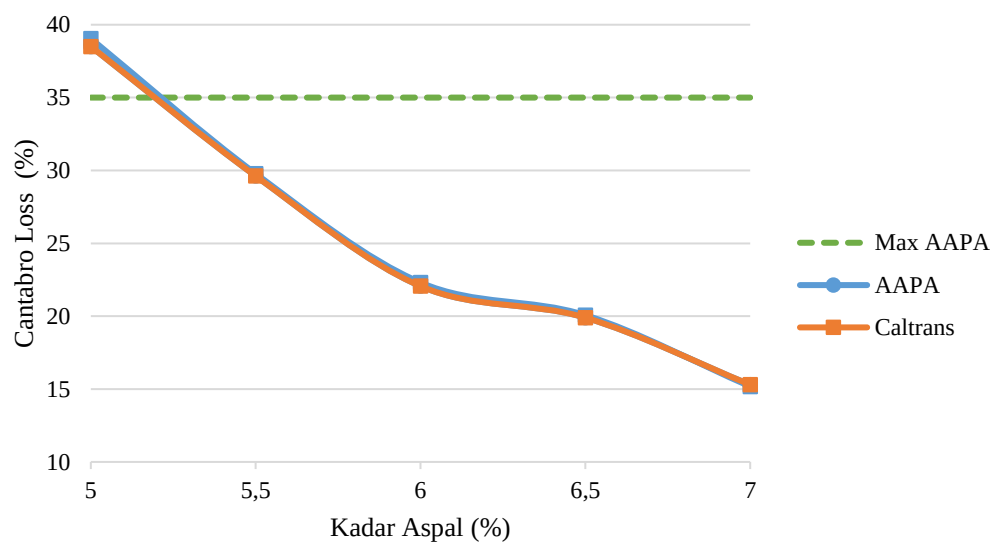
Gambar 5. 10 Hubungan Kadar Aspal dengan MQ Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka akan semakin rendah nilai *MQ*, hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kadar aspal menyebabkan meningkatnya nilai *flow* pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai *flow* maka nilai *MQ* akan cenderung besar yang berarti campuran bersifat kaku dan plastis. Hasil ini selaras dengan penelitian yang dilakukan Ramadhan dan Iduwin (2022), yang menyatakan bahwa semakin tinggi kadar aspal yang digunakan maka nilai *MQ* semakin rendah.

Nilai kekakuan campuran yang menggunakan gradasi Caltrans lebih besar dibandingkan dengan campuran yang menggunakan gradasi AAPA. Hal tersebut disebabkan oleh nilai stabilitas campuran. Dapat disimpulkan campuran yang menggunakan aspal gradasi Caltrans cenderung lebih kaku dibandingkan campuran yang menggunakan gradasi AAPA. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai *MQ* adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan.

2. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *Cantabro Loss* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mempertahankan bentuk dan berat campuran dari keausan akibat dari repetisi beban yang diuji menggunakan mesin *Loss Angeles*. Pengujian ini juga merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh AAPA (2004) yaitu kurang dari 35%. Nilai *Cantabro Loss* dapat dilihat pada Gambar 5.11 berikut.

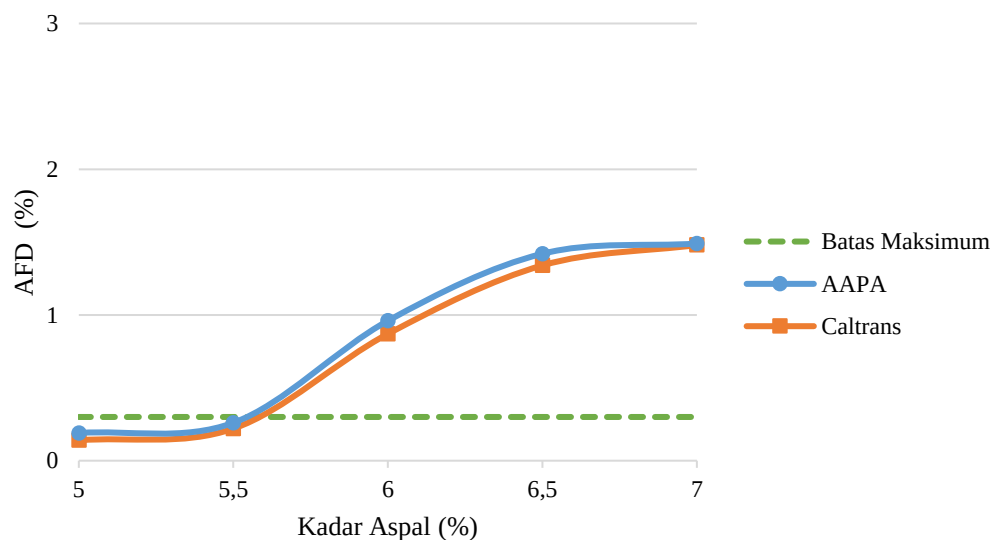


Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal dengan CL Campuran Aspal Porus

Dari Gambar 5.11 dapat diketahui bahwa nilai *cantabro loss* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Bila nilai *cantabro* semakin menurun maka campuran akan semakin tahan terhadap benturan. Menurut Fauziah dan Wijayati (2016) penurunan pada pengujian *Cantabro* menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung meningkat dan peningkatan pada pengujian ini menunjukkan bahwa ketahanan campuran terhadap benturan cenderung menurun. Nilai *cantabro loss* campuran relatif sama, namun nilai *cantabro loss* pada campuran yang menggunakan gradasi AAPA lebih besar dibandingkan dengan yang menggunakan gradasi Caltrans. Penggunaan gradasi AAPA dapat meningkatkan ketahanan campuran menjadi jauh lebih kuat dibandingkan gradasi Caltrans.

3. Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang tercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *Asphalt Flow Down* merupakan parameter untuk mengetahui banyak aspal yang efektif untuk menyelimuti agregat atau sebagai film agregat di dalam campuran, sehingga campuran memiliki durabilitas yang baik. Berdasarkan ketentuan Australian Asphalt Pavement Association (2004) besarnya nilai *Asphalt Flow Down* yaitu lebih kecil dari 0,3%. Nilai *Asphalt Flow Down* dapat dilihat pada Gambar 5.12 berikut.



Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal dengan *AFD* Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.12 dapat diketahui bahwa nilai *Asphalt Flow Down* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Menurut Hafidz dan Fauziah (2021) meningkatnya nilai *Asphalt Flow Down* diakibatkan karena banyaknya kadar aspal pada campuran, sehingga aspal pada campuran tidak tercampur dan terpadatkan secara homogen.

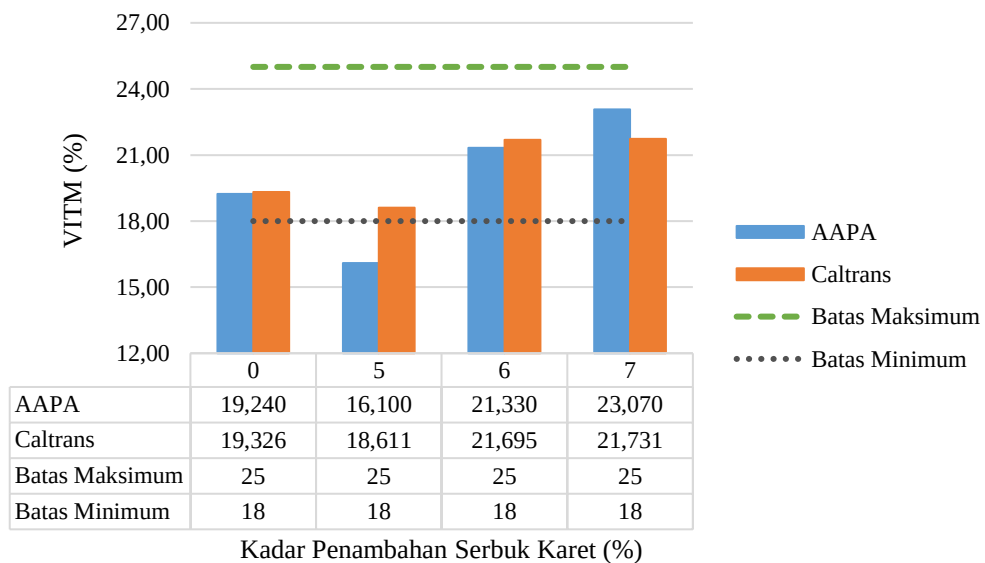
Semakin meningkatnya jumlah persentase *Asphalt Flow Down* maka pemisahan antara aspal dengan agregat akan semakin meningkat juga, hal ini terjadi karena aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal, sehingga aspal yang melekat pada permukaan terluar akan meleleh dan terpisah dari campuran.

5.2.5 Karakteristik *Marshall Standart* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran. Parameter dari uji *Marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void filled with Ashphalt*), *VMA* (*Voids in the Mineral Agregat*) dan kepadatan (*Density*). Adapun perbandingan karakteristik *Marshall* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* yang menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans, dengan penambahan serbuk ban karet dapat dilihat pada Gambar 5.13 sampai Gambar 5.18 berikut.

1. *VITM*

VITM merupakan jumlah rongga udara dalam campuran agregat aspal dalam bentuk persentase terhadap total volume campuran. Nilai *VITM* memiliki korelasi yang kuat dengan ketahanan campuran terhadap deformasi plastis. Hasil perhitungan nilai *VITM* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans Gambar 5.13 berikut ini.



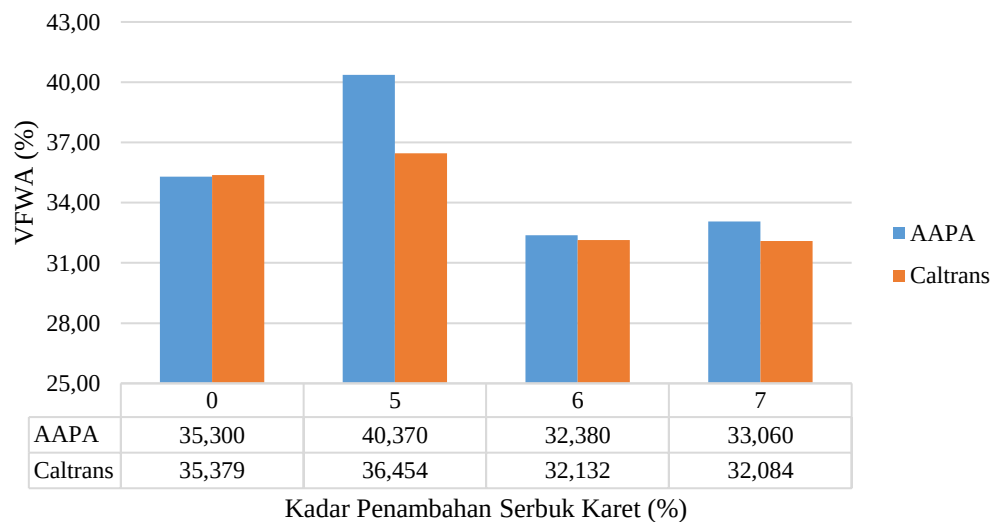
Gambar 5.13 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *VITM* Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan campuran gradasi AAPA memiliki nilai *VITM* yang berbeda dengan campuran gradasi Caltrans. Nilai *VITM* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan gradasi Caltrans relatif lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan campuran gradasi AAPA. Penambahan serbuk ban karet masuk kedalam syarat aspal porus baik menggunakan gradasi AAPA maupun Caltrans yaitu bertujuan untuk dapat dilalui air agar tidak terjadi genangan di permukaan perkerasan kecuali pada pengujian gradasi AAPA dengan kadar karet 5%. Adapun pengaruh penggunaan serbuk ban karet relatif memiliki nilai *VITM* yang lebih besar dibandingkan tanpa penggunaan serbuk ban karet pada kedua jenis campuran. Kondisi ini disebabkan karena serbuk ban karet memberi pori lebih pada campuran baik gradasi AAPA maupun Caltrans. Dapat disimpulkan pada persentase tertentu serbuk ban karet dapat berpengaruh terhadap nilai *VITM* sangat signifikan.

Penelitian yang dilakukan oleh Faisal (2014) menyatakan bahwa nilai *VITM* cenderung mengalami penurunan pada setiap penambahan kadar serbuk ban. Menurut Faisal penurunan ini disebabkan semakin banyak bahan pengikat terutama bahan aditif parutan ban yang mengisi pori-pori atau rongga antar agregat. Oktaviastuti (2020), juga menyatakan bahwa semakin besar penambahan serbuk ban yang digunakan, maka akan berpengaruh terhadap nilai *VITM*.

2. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah volume rongga yang terisi aspal pada total campuran dinyatakan dalam persentase terhadap volume total campuran. Nilai *VFWA* mampu memberi dampak terhadap sifat kedekatan pada air dan udara serta sifat elastis pada campuran. Nilai *VFWA* yang besar menandakan bahwa banyaknya rongga yang terisi oleh aspal, sehingga menghasilkan kedekatan campuran terhadap air dan udara menjadi lebih baik. Nilai *VFWA* akibat penambahan serbuk ban karet terhadap dapat dilihat pada Gambar 5.14 berikut ini.



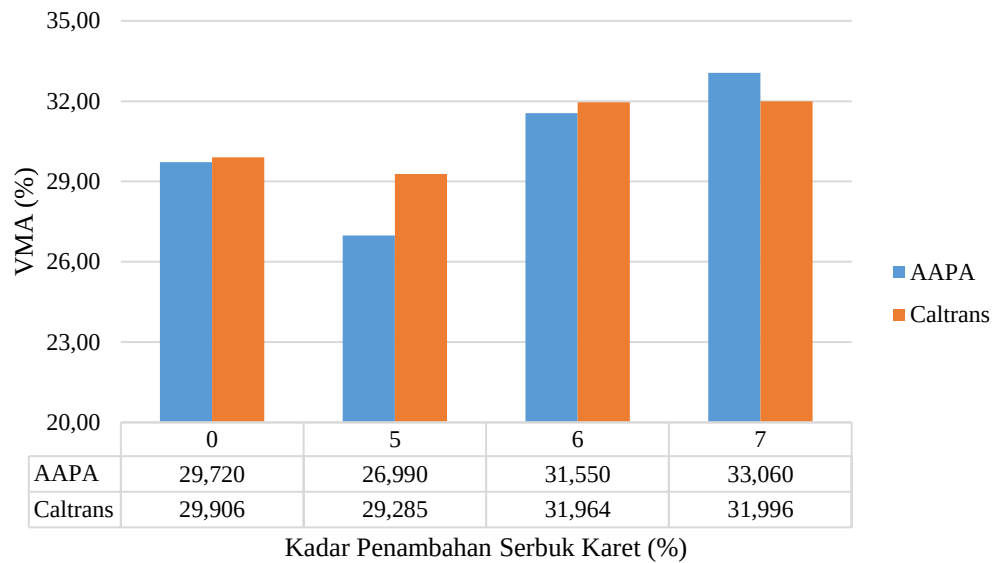
Gambar 5.14 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *VFWA* Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat diketahui bahwa nilai *VFWA* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* gradasi AAPA jauh lebih besar dibandingkan campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* gradasi Caltrans. Hal tersebut disebabkan oleh gradasi yang digunakan. Karana gradasi Caltrans merupakan jenis gradasi tanpa menggunakan agregat ukuran #30 #50 dan #100. Sehingga jika dibandingkan dengan gradasi AAPA, distribusi agregat pada gradasi AAPA ini lebih merata. Hal tersebut dapat mempermudah aspal untuk mengisi rongga dalam campuran. Pada penambahan serbuk ban karet nilai *VFWA* meningkat pada kadar 5% dan kemudian menurun. Hal ini disebabkan sifat karet yang elastis dapat membantu campuran aspal dalam mengisi rongga namun ketika sudah mencapai titik optimum serbuk ban karet justru menghambat jalannya aspal dalam mengisi rongga. Perbedaan Nilai *VFWA* di kedua gradasi tersebut tidak lebih dari 1% kecuali pada kadar serbuk ban karet 5%. Nilai *VFWA* yang tinggi menunjukkan bahwa rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Sedangkan nilai *VFWA* yang rendah, diakibatkan karena campuran menjadi lebih *brittle* karena bahan ikat memiliki nilai penetrasi yang rendah sehingga rongga sulit terisi aspal.

Selaras dengan penelitian Oktaviastuti (2020), yang menyatakan bahwa seiring penambahan serbuk ban pada campuran mengakibatkan banyaknya rongga yang terisi oleh aspal (*VFWA*). Penelitian Faisal (2014), juga menyatakan bahwa peningkatan nilai *VFWA* disebabkan bertambahnya persentase parutan ban dalam bekas yang mengakibatkan pori-pori atau rongga terisi serta semakin tebalnya selimut pada material.

3. *VMA*

Hasil perhitungan nilai *VMA* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.15 berikut ini.

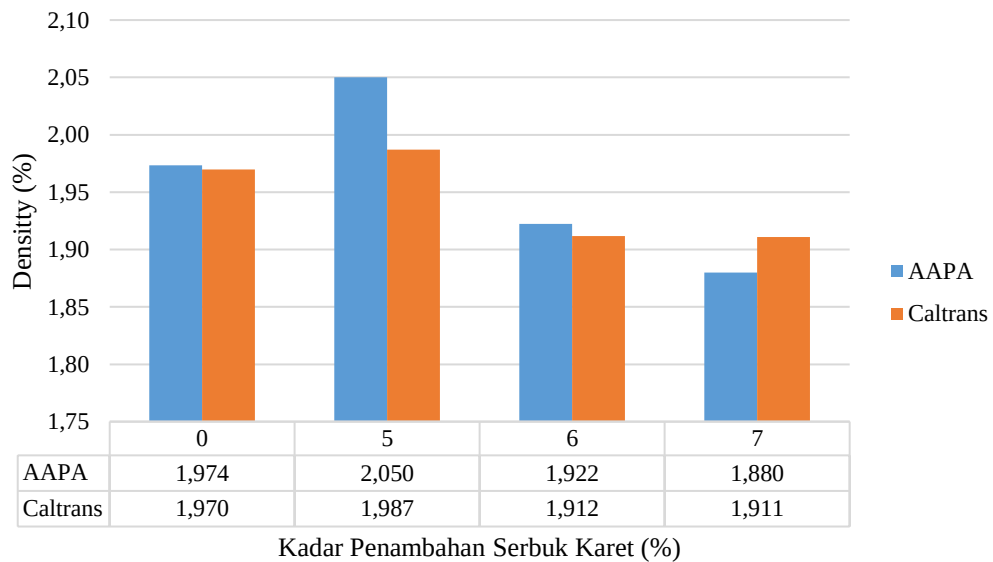


Gambar 5.15 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai VMA Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi Caltrans lebih besar dibandingkan dengan nilai *VMA* menggunakan gradasi AAPA. Pada penambahan serbuk ban karet, nilai *VMA* bermula turun kemudian naik seiring bertambahnya serbuk ban karet. Nilai *VMA* yang lebih besar diakibatkan karena penggunaan bahan tambah serbuk ban karet, hal ini mempengaruhi tebal film aspal yang melekat pada agregat menjadi lebih tebal, ini terjadi karena serbuk ban karet bersifat lebih keras dan menjadikan rongga antar agregat semakin kecil. Pengaruh spesifikasi gradasi dan persentase penambahan serbuk ban karet terhadap nilai *VMA* merupakan pengaruh yang signifikan. Sejalan dengan penelitian Oktaviastuti (2020), menyatakan bahwa semakin bertambahnya kadar serbuk ban, maka jumlah rongga dalam campuran akan berkurang.

4. Density

Hasil perhitungan nilai *density* akibat penambahan serbuk ban karet campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.16 berikut ini.

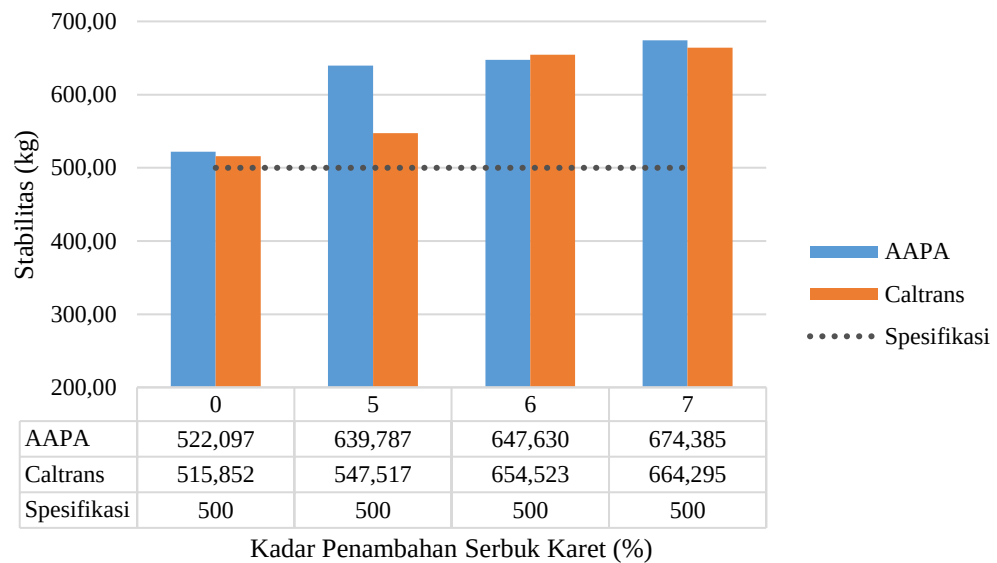


Gambar 5.16 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *Density* Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa nilai *density* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi Caltrans relatif lebih rendah dibandingkan dengan campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* yang menggunakan gradasi AAPA. Seiring penambahan serbuk ban karet nilai *density* meningkat pada titik optimum kemudian mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena campuran aspal porus gradasi Caltrans menggunakan gradasi yang lebih terbuka dibandingkan gradasi AAPA. Nilai *VITM* yang semakin tinggi, menunjukan bahwa campuran semakin tidak rapat. Pengaruh penambahan serbuk ban karet merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *density*.

5. Stabilitas

Hasil pengujian stabilitas akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.17 berikut ini.



Gambar 5.17 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai Stabilitas Aspal Porus

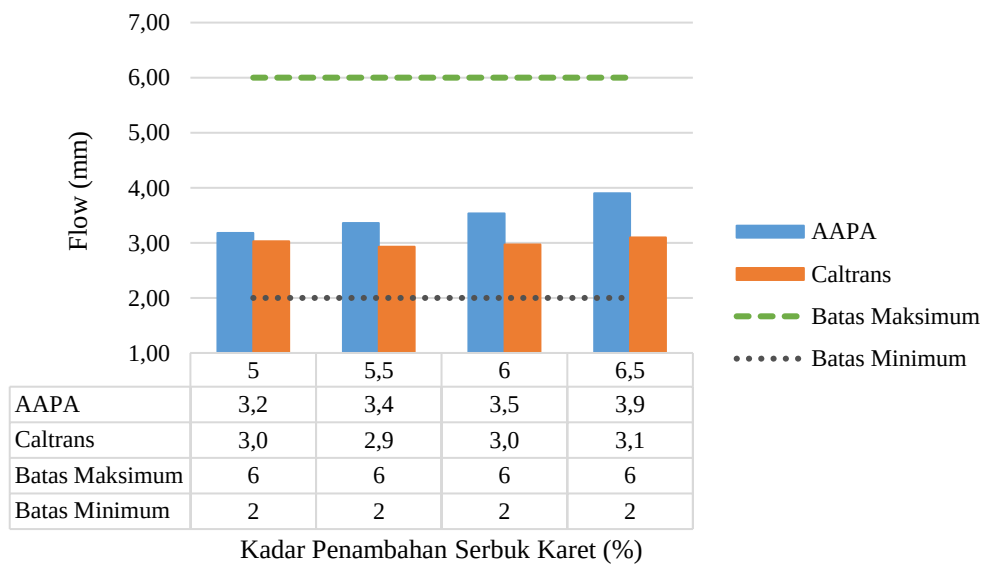
Berdasarkan Gambar 5.17 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan AAPA 2004 yaitu >500 kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar serbuk ban karet dan terus bertambah seiring bertambahnya persentase serbuk ban karet. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat. Penambahan serbuk ban karet memiliki dampak yang sangat signifikan terhadap nilai stabilitas campuran.

Penggunaan serbuk ban karet dapat meningkatkan stabilitas campuran. Hal tersebut disebabkan karena selain menjadi perekat, serbuk ban karet juga dapat mengisi rongga yang ada, sehingga campuran menjadi lebih stabil dalam

menopang beban dan mengurangi terjadinya deformasi plastis pada campuran. Kemampuan campuran untuk mempertahankan ikatan dan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, dan tentunya akan lebih stabil dalam menahan beban. Hal tersebut sejalan dengan penelitian Faisal (2014), bahwa penambahan parutan ban bekas dapat membantu meningkatkan nilai stabilitas.

6. Flow

Kelelehan (*Flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Semakin tinggi nilai kelelehan (*Flow*) pada campuran, maka semakin tinggi juga tingkat kelenturan campuran. Semakin rendah nilai daktilitas suatu campuran, maka semakin rendah juga sifat fleksibilitas suatu campuran. Nilai kelelehan (*flow*) akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.18 berikut ini.



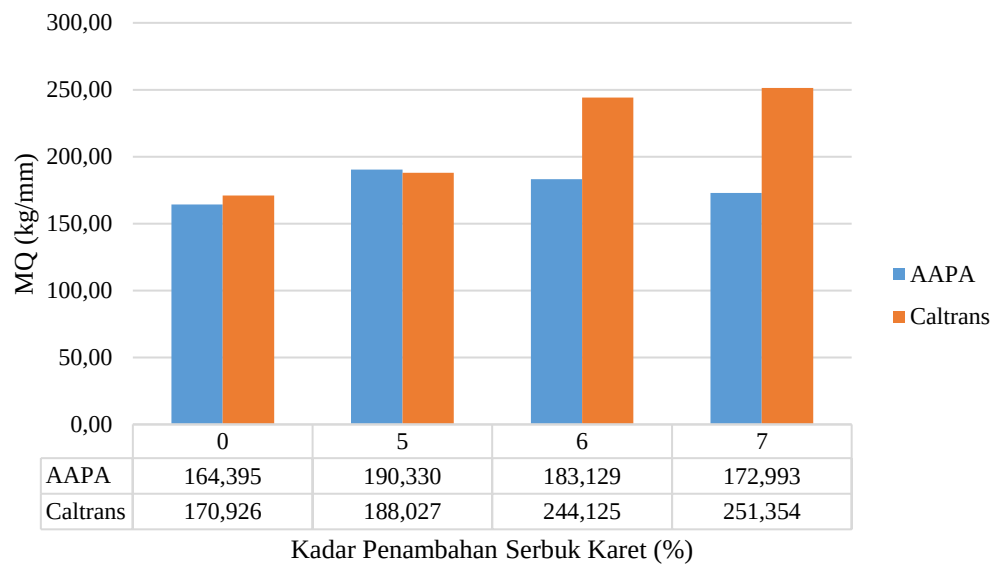
Gambar 5.18 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *Flow* Aspal Porus

Nilai *flow* pada campuran aspal porus menggunakan gradasi AAPA lebih tinggi dibandingkan dengan menggunakan gradasi Caltrans. Dapat dilihat pada grafik bahwa penambahan serbuk ban karet pada aspal porus gradasi AAPA mengalami peningkatan nilai *flow* seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Sebaliknya penggunaan serbuk ban karet pada aspal porus gradasi Caltrans membuat nilai *flow* menurun seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet. Campuran aspal porus dengan gradasi AAPA memiliki nilai *flow* yang lebih besar diakibatkan karena campuran memiliki rongga dalam lebih besar, sehingga campuran tersebut dapat mengikuti deformasi alur lebih besar sebelum terjadinya deformasi plastis.

Ditinjau dari penggunaan bahan tambah serbuk ban karet, campuran aspal porus yang menggunakan serbuk ban karet relatif memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi, karena karet bersifat elastis. Hal ini juga dipengaruhi oleh nilai *VFWA* dan *VMA* yang lebih besar pada campuran aspal porus yang menggunakan serbuk ban karet. Nilai *flow* yang tinggi mengakibatkan campuran cenderung elastis, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Hal tersebut tidak jauh berbeda dengan penelitian Oktaviastuti (2020) yang menunjukkan nilai *flow* mengalami peningkatan pada penambahan serbuk ban.

7. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *MQ* merupakan hasil perbandingan antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan (*Flow*). Nilai *MQ* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.19 berikut ini.

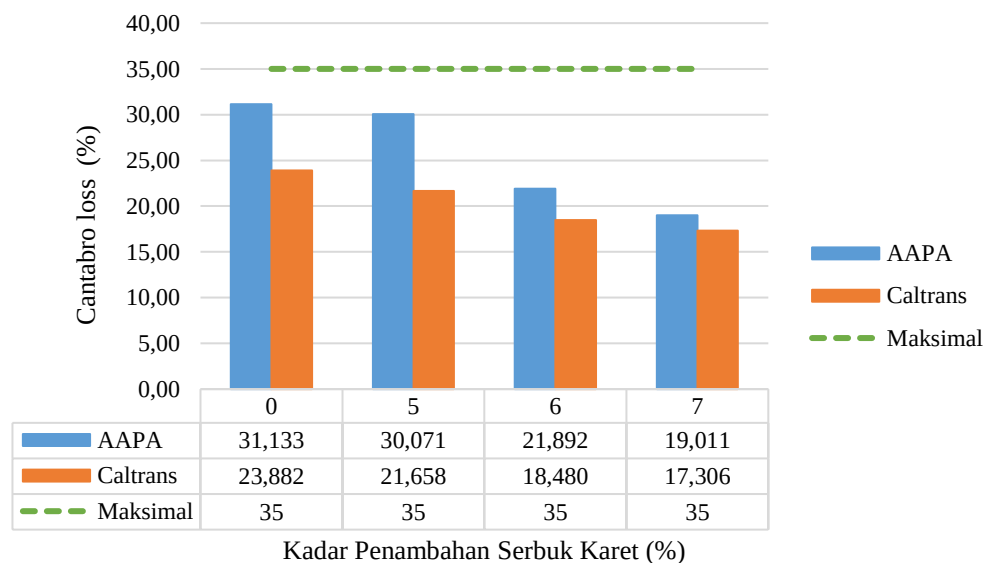


Gambar 5.19 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *MQ* Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* seiring bertambahnya serbuk ban karet campuran aspal porus dengan gradasi Caltrans lebih tinggi dibandingkan dengan campuran aspal porus menggunakan gradasi AAPA. Hal tersebut terjadi karena campuran aspal porus gradasi Caltrans memiliki nilai stabilitas yang rendah, hal ini memungkinkan untuk berdeformasi lebih besar tanpa terjadinya retak atau deformasi plastis. Nilai *MQ* yang tinggi menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas yang tinggi dengan nilai kelelahan yang rendah, dalam hal ini mengakibatkan campuran cenderung kaku dan mudah retak. Sedangkan nilai *MQ* yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran memiliki sifat overelastis dan mudah mengalami perubahan deformasi.

5.2.6 Karakteristik *Cantabro Loss (CL)* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan campuran terhadap keausan atau kehilangan berat dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Benda uji yang telah dipadatkan kemudian didiamkan pada suhu ruang selama 48 jam. Pengujian *cantabro loss* dapat dijadikan sebagai ukuran ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas berulang yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan mengalami penurunan kekuatan. Nilai *CL* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.20 berikut ini.



Gambar 5.20 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *CL* Aspal Porus

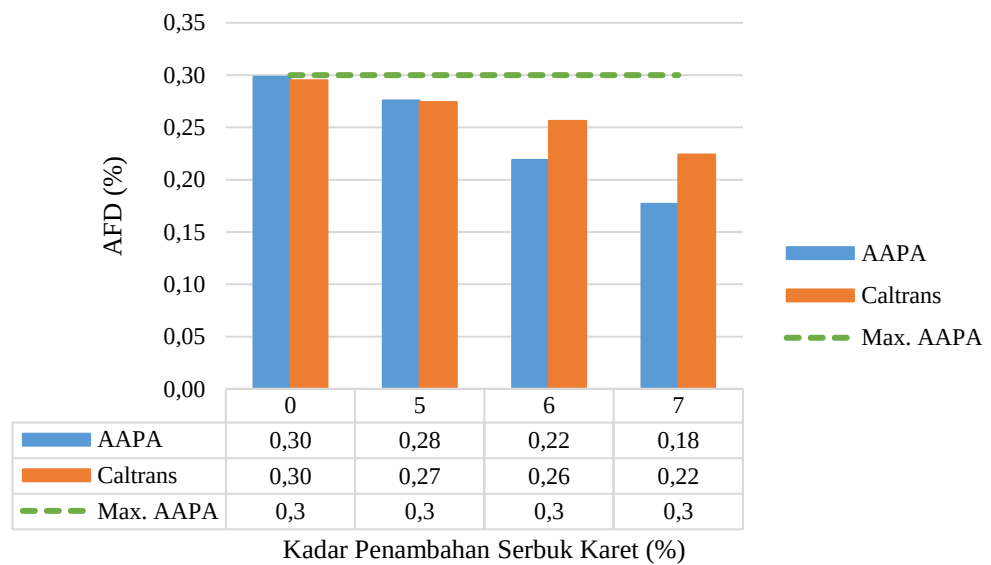
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.20 terlihat bahwa dengan penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*, mengakibatkan nilai *CL* mengalami penurunan yang signifikan baik dengan gradasi AAPA maupun gradasi Caltrans. Penambahan serbuk ban karet memiliki pengaruh terhadap nilai

CL, seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet maka nilai *CL* semakin rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa dengan penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan kehilangan berat terhadap keausan. Hal ini menunjukkan bahwa penambahan ban karet dapat meningkatkan kemampuan campuran dalam menahan beban yang berulang. Adapun penelitian yang dilakukan oleh Hamzah dan Hasan (2010), menyatakan bahwa campuran bergradasi rapat akan meningkatkan ketahanan campuran terhadap keausan.

Hasil nilai *Cantabro Loss* pada Gambar 5.20 menunjukkan bahwa penggunaan gradasi Caltrans menghasilkan nilai *CL* yang lebih rendah dibandingkan dengan penggunaan gradasi AAPA. Nilai *CL* yang rendah ini menunjukkan bahwa gradasi Caltrans dapat menghasilkan penguncian yang lebih baik antara aspal dan agregat, sehingga campuran tetap dalam kondisi awalnya dan tidak terpengaruh oleh dampak benturan.

5.2.7 Karakteristik *Asphalt Flow Down (AFD)* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

Pengujian *AFD* dilakukan untuk menentukan kadar maksimum aspal yang dapat bercampur secara homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Pengujian *AFD* merupakan parameter untuk mengevaluasi sejauh mana aspal efektif dalam melapisi agregat atau berperan sebagai lapisan film pada campuran. Nilai *AFD* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.21 berikut ini.

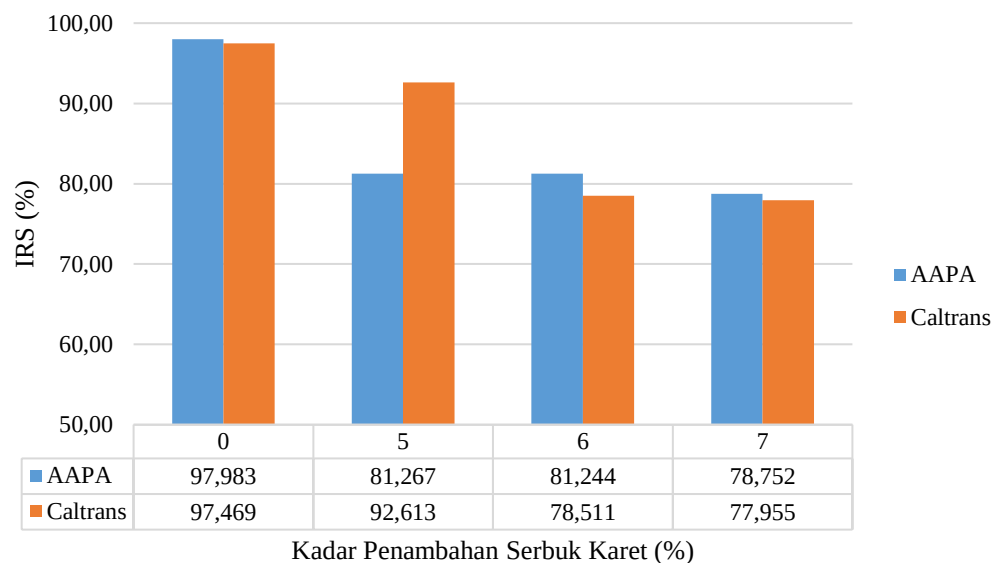


Gambar 5.21 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai AFD Aspal Porus

Berdasarkan grafik perbandingan pada Gambar 5.21, terlihat bahwa dengan penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dapat menurunkan nilai *AFD* baik dengan penggunaan gradasi AAPA maupun gradasi Caltrans. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk ban karet dapat meningkatkan kohesi pada aspal sehingga ikatan antar aspal juga akan tetap kuat walaupun film aspal pada agregat cukup tebal. Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan (2022) yang mengatakan walaupun film aspal pada agregat cukup tebal, ikatan antar aspal juga akan tetap kuat. Dari Gambar 5.21 juga dapat lihat bahwa nilai *AFD* dengan gradasi AAPA menghasilkan nilai yang relatif menurun secara signifikan dibandingkan dengan penggunaan gradasi Caltrans. Hal tersebut menandakan bahwa penggunaan gradasi AAPA dapat menghasilkan campuran yang lebih homogen sehingga mampu mengurangi terjadinya pemisahan aspal.

5.2.8 Karakteristik *Index Retained Strength (IRS)* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

IRS merupakan metode untuk mengetahui besar kekuatan sisa yang dimiliki oleh campuran aspal beton akibat perendaman pada suhu yang ekstrim. Nilai *IRS* diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas pada rendaman (*Immersion*) 24 jam dengan nilai stabilitas *Marshall standard*. Nilai *IRS* didapat melalui proses perendaman yang bertujuan untuk mengukur ketahanan campuran setelah mengalami perendaman pada suhu 60°C selama 24 jam terhadap perendaman selama 0,5 jam. Nilai *IRS* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.22 berikut ini.



Gambar 5.22 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *IRS* Aspal Porus

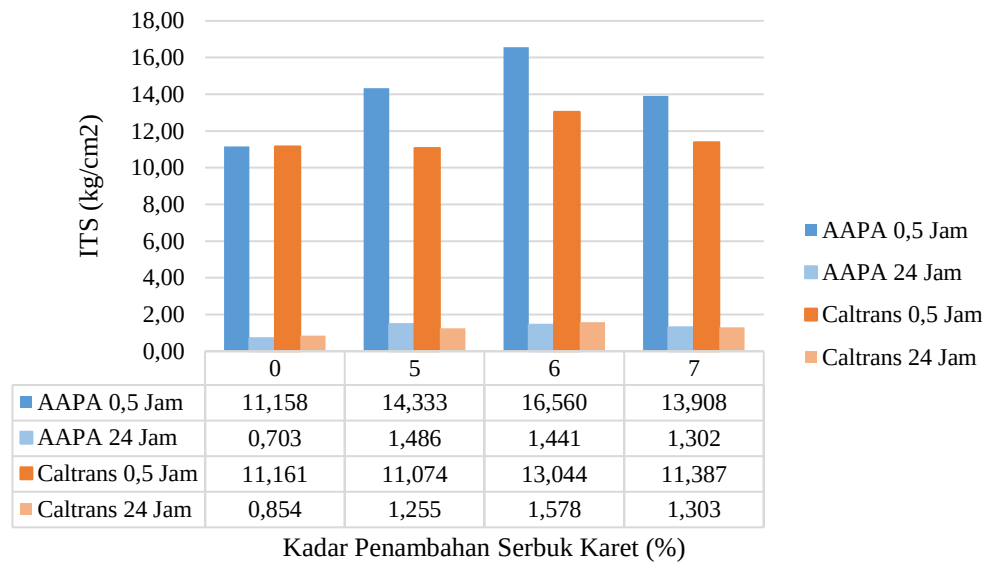
Pada Gambar 5.22 dapat dilihat bahwa bahwa nilai *IRS* untuk campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* baik dengan penggunaan gradasi AAPA maupun gradasi Caltrans mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya kadar serbuk ban karet secara signifikan. Penurunan nilai *IRS* pada aspal porus dikarenakan

serbuk ban pada aspal dapat memberikan indikasi untuk memperbaiki ketahanan geser pada suhu tinggi sehingga mencegah terjadinya kerusakan. Nilai *IRS* menurun dikarenakan karakteristik karet yang tidak dapat menahan temperatur tinggi, maka dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut tidak tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur. Semakin kecil rongga dalam pada campuran maka semakin besar ketahanan campuran untuk menerima gaya tekan, dan dapat meningkatkan durabilitas campuran tersebut.

Pengaruh jenis campuran dan penggunaan jenis aspal merupakan pengaruh yang signifikan terhadap nilai *IRS* campuran. Adapun penelitian yang membahas pengaruh gradasi terhadap durabilitas yaitu penelitian yang dilakukan oleh Chasanah dan Putra (2019) mengenai pengaruh kadar agregat halus dan *filler* terhadap campuran AC-WC. Penelitian ini menyatakan bahwa campuran yang memiliki kadar agregat halus lebih banyak akan memiliki nilai *IRS* yang lebih besar.

5.2.9 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan. Nilai *ITS* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.23 berikut ini.



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai ITS Aspal Porus

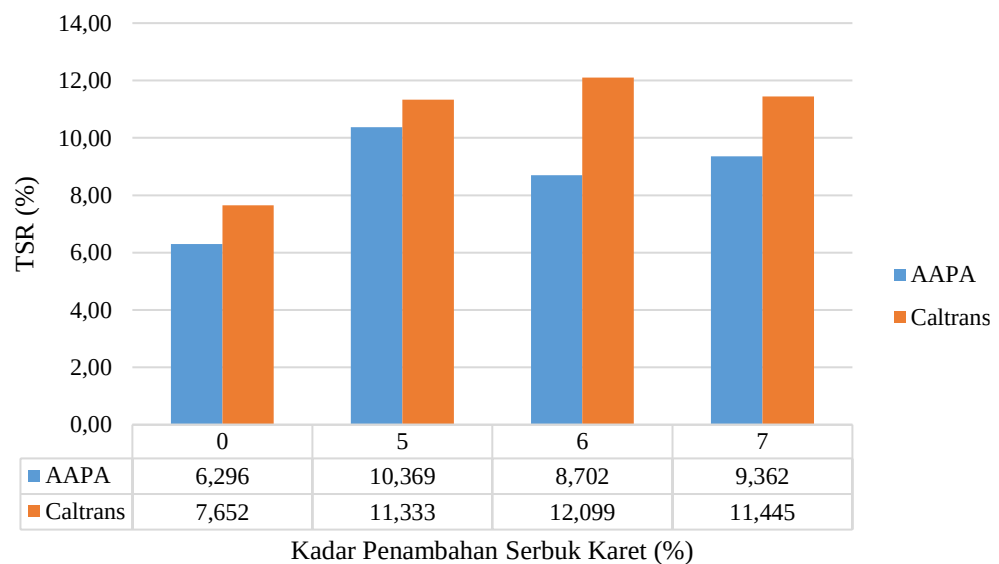
Berdasarkan grafik pada Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa nilai *ITS condition* dan *ITS uncondition* pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans mengalami peningkatan sampai pada kadar serbuk ban karet sebesar 6%, dan selanjutnya seiring penambahan kadar serbuk ban yaitu dengan kadar 7% mengalami penurunan. Hal ini disebabkan karena penambahan serbuk ban pada kadar 6% menghasilkan nilai titik lembek yang tinggi dan nilai penetrasi yang rendah. Hal tersebut membuat aspal menjadi keras, serta tahan terhadap perubahan suhu. Pada Gambar 5.23 juga dapat dilihat bahwa nilai *ITS condition* lebih rendah dari pada nilai *ITS uncondition* baik pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan gradasi AAPA maupun gradasi Caltrans. Hal tersebut membuat aspal menjadi keras, serta tahan terhadap perubahan suhu. Yusuf (2015) dalam penelitiannya juga menyimpulkan bahwa penambahan karet remah dapat meningkatkan kemampuan pada campuran terhadap kuat tarik tidak langsung.

Hal ini dapat terjadi karena proses perendaman di dalam *waterbath* selama 24 jam dapat menurunkan kinerja campuran perkerasan seperti menurunkan daya ikat antar aspal dan agregat, perkerasan yang melunak serta dapat mengalami keretakan.

Dari grafik perbandingan diatas dapat diketahui bahwa penggunaan gradasi AAPA relatif menghasilkan nilai *ITS* yang lebih tinggi dibanding dengan gradasi Caltrans baik pada nilai *ITS condition* maupun *ITS uncondition*. Sejalan dengan Mentari (2023) yang menyatakan campuran Porous menggunakan modifikasi aspal mengalami peningkatan nilai ITS

5.2.10 Karakteristik *Tensile Strenght Ratio (TSR)* pada Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans dengan Bahan Tambah Serbuk Ban Karet

Nilai *TSR* merupakan hasil perbandingan antara nilai *ITS uncondition* dan nilai *ITS condition* dalam satuan persen (%). Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui dampak rendaman terhadap kemungkinan terjadinya retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*). Nilai *TSR* diperoleh dari hasil pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strenght*). Nilai *TSR* akibat penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Gambar 5.24 berikut ini.



Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Kadar Serbuk Ban Karet antara Gradasi AAPA dan Caltrans pada Kondisi KAO terhadap Nilai *TSR* Aspal Porus

Grafik perbandingan yang disajikan pada Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa nilai *TSR* dengan gradasi AAPA mengalami peningkatan pada kadar penambahan serbuk ban karet sebesar 5% sedangkan nilai *TSR* dengan gradasi Caltrans mengalami peningkatan pada kadar penambahan serbuk ban karet 6% kemudian terjadi penurunan. Peningkatan nilai *TSR* ini dikarenakan nilai PI yang tinggi sehingga memungkinkan campuran memiliki ikatan antar agregat yang kuat karena kepekaan yang rendah terhadap temperatur dan kelembaban. Wiranata (2018) dalam penelitiannya menyatakan bahwa mastikasi karet memiliki efek meningkatkan kekuatan tarik campuran aspal selama perendaman sehingga menghasilkan daya rekat dan daya dukung yang optimal. Berdasarkan Gambar 5.24 juga dapat diketahui bahwa penggunaan gradasi Caltrans menghasilkan nilai *TSR* yang cukup tinggi jika dibandingkan dengan gradasi AAPA. Hal ini dapat disimpulkan bahwa penggunaan gradasi Caltrans memiliki kemampuan mempertahankan kekuatan ikatan antar aspal dan agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik.

5.3 Tinjauan Karakteristik Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet pada Campuran Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* Menggunakan Spesifikasi Gradasi AAPA dan Spesifikasi Gradasi Caltrans

Berdasarkan penelitian yang dilakukan dapat disimpulkan dari berbagai macam hasil yang diperoleh. Berikut rekapitulasi hasil pengujian keseluruhan karakteristik pengaruh penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menggunakan gradasi AAPA dan gradasi Caltrans dapat dilihat pada Tabel 5.16 dan Tabel 5.17 berikut ini.

Tabel 5.16 Rekapitulasi Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*

Parameter	Pengaruh Kadar Serbuk Ban Karet (0%, 5%, 6%, dan 7%)	
	<i>Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)</i>	<i>California Department of Transportation's (CalTrans 2007)</i>
<i>VITM</i> (%)	Menurun pada kadar 5% (tidak memenuhi syarat aspal porus), kemudian mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%	Menurun pada kadar 5%, kemudian kemudian mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%
<i>VFWA</i> (%)	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada kadar 5%, kemudian menurun dan tidak mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada kadar 5%, kemudian menurun dan tidak mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%
<i>VMA</i> (%)	Menurun pada kadar 5%, kemudian kemudian mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%	Menurun pada kadar 5%, kemudian kemudian mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%
<i>Density</i> (gr/cc)	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada kadar 5%, kemudian menurun dan tidak mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada kadar 5%, kemudian menurun dan tidak mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%
Stabilitas (kg)	Mampu memperbaiki kinerja stabilitas. Nilai terus meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet sampai pada kadar 7%	Mampu memperbaiki kinerja stabilitas. Nilai terus meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet sampai pada kadar 7%
<i>Flow</i> (mm)	Mampu memperbaiki kinerja campuran. Nilai terus meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet sampai pada kadar 7%	Nilai menurun pada kadar 5%, mampu memperbaiki kinerja campuran seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7% yang terus meningkat nilainya.

Lanjutan Tabel 5.16 Rekapitulasi Pengaruh Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran *Asphalt Porous-Wearing Course*

Parameter	Pengaruh Kadar Serbuk Ban Karet (0%, 5%, 6%, dan 7%)	
	<i>Australian Asphalt Pavement Association (AAPA 2004)</i>	<i>California Department of Transportation's (CalTrans 2007)</i>
<i>MQ</i> (kg/mm)	Mampu memperbaiki kinerja campuran pada titik optimum kadar 5%, kemudian menurun seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 6% dan 7%	Mampu memperbaiki kinerja campuran. Nilai terus meningkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet sampai pada kadar 7%
<i>Cantabro loss</i> (%)	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Dan meingkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Dan meingkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet
<i>AFD</i> (%)	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Dan meingkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Dan meingkat seiring bertambahnya kadar serbuk ban karet
<i>IRS</i> (%)	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet tidak mampu memperbaiki daya tahan pada campuran	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet tidak mampu memperbaiki daya tahan pada campuran
<i>ITS</i> (kg/cm ²)	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Titik optimum pada kadar 6%, kemudian menurun seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 7%	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran (kecuali pada kadar 5% saat 0,5jam). Titik optimum pada kadar 6%, kemudian menurun seiring bertambahnya serbuk ban karet pada kadar 7%
<i>TSR</i> (%)	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Titik optimum pada kadar 5%.	Seluruh kadar penambahan serbuk ban karet mampu memperbaiki kinerja campuran. Titik optimum pada kadar 6%

Tabel 5.17 Rekapitulasi Perbandingan antara Gradasi AAPA dan Gradasi Caltrans pada Penambahan Serbuk Ban Karet Terhadap Kinerja Campuran Asphalt Porous-Wearing Course

Parameter	Pengaruh Perbandingan antara Gradasi AAPA dan Gradasi Caltrans
VITM (%)	Campuran dengan gradasi Caltrans mampu mengurangi rongga dalam campuran lebih baik dibandingkan dengan gradasi AAPA
VFWA (%)	Campuran dengan gradasi AAPA mampu meningkatkan penyalutan aspal pada campuran lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
VMA (%)	Campuran dengan gradasi Caltrans mampu mengurangi rongga antar agregat pada campuran lebih baik dibandingkan dengan gradasi AAPA
Density (gr/cc)	Campuran dengan gradasi AAPA memiliki kepadatan yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
Stabilitas (kg)	Campuran dengan gradasi AAPA memiliki kinerja stabilitas yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
Flow (mm)	Campuran dengan gradasi AAPA memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
MQ (kg/mm)	Campuran dengan gradasi Caltrans memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi AAPA
Cantabro loss (%)	Campuran dengan gradasi Caltrans memiliki kinerja kemampuan ketahanan terhadap keausan yang lebih baik dibandingkan gradasi AAPA
AFD (%)	Campuran dengan gradasi Caltrans memiliki kinerja meningkatkan ikatan antar aspal menjadi lebih kuat dibandingkan gradasi AAPA
IRS (%)	Campuran dengan gradasi AAPA memiliki kinerja daya tahan yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
ITS (kg/cm ²)	Campuran dengan gradasi AAPA memiliki kinerja kuat tarik yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi Caltrans
TSR (%)	Campuran dengan gradasi Caltrans memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan gradasi AAPA

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis data pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi gradasi AAPA dan spesifikasi gradasi Caltrans, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut.

1. Tidak ada perbedaan yang signifikan antara kedua jenis spesifikasi gradasi terhadap karakteristik *Marshall* pada saat mencari KAO. Namun dilihat dari penambahan serbuk ban karet terjadi perbedaan yang signifikan dari segi parameter mekanisnya. Hal tersebut menandakan bahwa penambahan serbuk ban karet baik pada campuran dengan gradasi AAPA maupun Caltrans dapat meningkatkan kinerja *Asphalt Porous-Wearing Course*.
2. Penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menghasilkan penurunan nilai *Cantabro Loss* yang menandakan bahwa penambahan serbuk ban karet mampu menghasilkan campuran yang memiliki daya dukung dan daya lekat yang lebih baik sehingga mampu memperlambat pengelupasan aspal dari campuran. Campuran dengan spesifikasi gradasi Caltrans memiliki daya dukung dan daya lekat lebih baik dari gradasi AAPA.
3. Penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* menghasilkan nilai *Asphalt Flow Down* secara signifikan lebih rendah pada kedua gradasi. Campuran dengan spesifikasi gradasi Caltrans dengan penambahan serbuk ban karet dapat menghasilkan campuran yang homogen sehingga mampu mengurangi terjadinya pemisahan aspal dibandingkan penggunaan gradasi AAPA.

4. Penambahan serbuk ban karet pada campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan menggunakan gradasi AAPA maupun Caltrans menghasilkan nilai *Index of Retained Strength (IRS)* yang signifikan lebih rendah dibandingkan tanpa penggunaan serbuk ban karet dikarenakan karakteristik karet yang tidak dapat menahan temperatur tinggi, maka dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut tidak tahan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur.
5. Penambahan serbuk ban karet menghasilkan peningkatan nilai *Indirect tensile strength (ITS)* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* yang signifikan pada kedua campuran dengan titik optimum berada pada kadar penambahan serbuk ban karet sebesar 6% selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan penambahan serbuk ban karet. Perkiraan potensial retakan dari kegagalan gaya tarik pada campuran dengan spesifikasi gradasi AAPA lebih baik dibandingkan dengan menggunakan gradasi Caltrans.
6. Penambahan serbuk ban karet menghasilkan peningkatan nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)* campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* yang signifikan dengan nilai optimum pada gradasi AAPA sebesar 5% sedangkan Caltrans sebesar 6% yang selanjutnya mengalami penurunan seiring dengan penambahan serbuk ban karet. Penggunaan gradasi Caltrans memiliki kemampuan mempertahankan kekuatan ikatan antar aspal dan agregat sehingga campuran menjadi lebih kuat terhadap gaya tarik dibandingkan penggunaan gradasi AAPA

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian dari pengaruh penambahan serbuk ban karet terhadap karakteristik campuran *Asphalt Porous-Wearing Course* dengan spesifikasi gradasi AAPA dan spesifikasi gradasi Caltrans, maka penulis memberikan saran sebagai berikut

1. Perlu dilakukan penelitian dan analisis lebih lanjut untuk mengetahui karakteristik dan kandungan yang terdapat pada serbuk ban karet.
2. Perlu dilakukan penelitian dengan persentase kadar penambahan serbuk ban karet yang lebih variatif.
3. Pada penelitian ini perhitungan menggunakan standar perhitungan aspal porus dengan spesifikasi AAPA 2004. Berikutnya perlu ditambahkan perhitungan dengan spesifikasi standar pada Caltrans 2007.
4. Perlu dilakukan kajian dan analisa ulang tentang hasil nilai *IRS* dengan penambahan serbuk ban karet yang menurun serta mencari solusi agar nilai *IRS* dapat meningkat seperti pengujian lainnya.
5. Perlu dilakukan pengujian pengujian lain yang terkait untuk menguatkan penelitian sebelumnya.
6. Diperlukan studi lebih lanjut mengenai karakteristik campuran gradasi lain sebagai pembanding tambahan agar mendapat standar campuran yang terbaik.
7. Gradasi terbaik dapat dijadikan pedoman untuk metode penggunaan aspal porus di Indonesia.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO. 1982. *AASHTO Materials Part 2: Tests*. United States: AASHTO.
- Affan, M. 2006. Studi Peranan Rongga Terhadap Stabilitas dan Durabilitas Campuran Aspal Porus Akibat Penambahan Mortar. *Tesis*. Aceh : Magister Teknik Sipil Univesitas Syiah Kuala.
- Ariyanti, F. 2013. Evaluasi Kinerja Aspal Porus Menggunakan Spesifikasi Gradasi dari Australia (AAPA), California (CalAPA) dan British (BS). *Skripsi*. Malang : Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- Arlia, L., Saleh, S.M., & Anggraini, R. 2018. Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Gondorukem pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil Universitas Syiah Kuala*, 1(3) : 657 – 666. Doi : 10.24815/jts.v1i3.10011
- Arrieta, V. S. dan Maquilon, J. E. C. 2014. Resistance to Degradation or Cohesion Loss in Cantabro Test on Specimens of Porous Asphalt Friction Courses. *Social and Behavioral Sciences*, 162 : 290 – 299. DOI:10.1016/j.sbspro.2014.12.210
- Australian Asphalt Pavement Association (AAPA). 2004. Open Graded Asphalt Design Guide. Australia.
- Bukhari, S. M. S., & Isya, M. 2007. *Rekayasa Bahan dan Tebal Perkerasan*. Aceh: Fakultas Teknik Universitas Syiah Kuala.
- Cabrera, J.G. & Hamzah, M.O. 1994. Aggregate Grading Design for Porous Asphalt, in Cabrera, J.G. & Dixon, J.R. (eds) : Performance and Durability of Bituminous Materials. *Proceeding of Symposium*. London: University of Leeds.
- California Department of Transportation's (CalTrans). 2007. California.
- Chasanah dan Putra. 2019. Effects of Using Limestone as a Filler and Starbit E-55 Asphalt as a Binder on the Performance of AC–WC Mixture. *Matec Web Conferences 258. SCESM 2018*.

- Damayanthi, R. & Martini, R. 2009. Proses Pembuatan Bahan Bakar Cair dengan Memanfaatkan Limbah Ban Bekas menggunakan Katalis Zeolit HY dan ZSM-5. *Skripsi*. Semarang: Universitas Diponegoro.
- Dewan Karet Indonesia [Dekarindo]. 2019. *Data Industri Karet 2018*. Jakarta, Indonesia: Dekarindo.
- Diana, I. W. 1995. *Aspal Porus*. Bandar Lampung: Fakultas Teknik, UNILA.
- Dina, F., Saleh, S. M., Suryani, F. M. 2019. Karakteristik Penggunaan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4 Terhadap Campuran AC-BC. *Journal of The Civil Engineering Student*, 1(1):1-7.
- Direktorat Jendral Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. 2018. Spesifikasi Umum untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan. Jakarta: Bina Marga.
- Faisal, Shaleh S. M, dan Isya M. 2014. Karakteristik Marshall Campuran Aspal Beton AC-BC Menggunakan Material Agregat Basalt Dengan Aspal Pen 60/70 Dan Tambahan Parutan Ban Dalam Bekas Kendaraan Roda 4. *Jurnal Teknik Sipil Pascasarjana Universitas Syiah Kuala*, 11, 38–48.
- Fauziah, M dan Handaka. 2016. Pemanfaatan Aspal Starbit E-55 untuk Menahan Penurunan Kinerja Akibat Rendaman Air Hujan pada Campuran Split Mastic Asphalt. *Proceeding of International Symposium of FSTPT 19th*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Fauziah, M., & Wijayati, F. S. 2016. Pengaruh kadar limbah kaca sebagai substitusi agregat halus terhadap karakteristik campuran aspal porus. *Teknisia*, 261-273.
- Hafidz, M. D., dan Fauziah, M. 2021. Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. Naskah Publikasi. Universitas Islam Indonesia.
- Hariyadi, H., Pratama, Y., Sigit, Fadhilah, L., Maryunani, W.P., Sudarno. 2018. Pengaruh Ukuran Crumb Rubber Mesh #80 dan Mesh #120 (Serbuk Limbah Ban Karet) pada Penambahan Campuran Laston untuk Perkerasan Jalan. *Reviews in Civil Engineering*, 2(2) : 82 – 85.

- Hasan, N. A. Mahmud, M. Z. H. Ahmad, K. A. Hainin, M. R. Jaya, R. P. dan Mashros, N. 2016. Air Voids Characterisation and Permeability of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries. *Journal of Engineering and Applied Science*, 11(4) : 14043 – 14047.
- Iqbal dan Fauziah. 2023. Studi Eksperimental Penggunaan Bahan Tambah Limbah Ban Karet dengan Metode Pencampuran Bertahap terhadap Kinerja Campuran Hot Rolled Sheet-Wearing Course. *TEKNIK*, 44 (2) : 167-175.
- Kok, B. V., & Kuloglu, N. 2011. Effects of Two-Phased Mixing Method on Mechanical Properties of Hot Mix Asphalt. *Road Material and Pavement Design*, 12(4) : 721 – 738.
- Marizka, E., Fauziah, M., dan Subarkah. 2022. Pengaruh Penambahan Rediset LQ-1106 terhadap Kinerja Struktur Campuran Aspal Porus. *Teknisia*, 27(2) : 12-23.
- Martina, N., Hasan, M.F.R., dan Setiawan, Y. 2019. Pengaruh Serbuk Ban Bekas Sebagai Campuran Agregat Halus pada Campuran Aspal Porous. *Jurnal Wahana TEKNIK SIPIL*, 24(2). Jakarta: Universitas Indonesia.
- Mentari. 2023. Pengaruh Metode Pencampuran terhadap Kinerja Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah Karet, Tesis MTS UII.
- Mukti, A. S. 2017. Analisis Pengaruh Substitusi Asbuton LGA (Lawele Granular Asphalt) Pada Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Campuran Aspal Porus. *Rekayasa Teknik Sipil Vol. 01 Nomor 01/Rekat/17*, 1(1) : 381 – 387.
- Naufali, R.F. 2018. Pengaruh Variasi Panjang dan Kadar Serabut Kelapa terhadap Karakteristik *Marshall* pada Aspal Porus. *Skripsi*. Malang: Fakultas Teknik Sipil Universitas Brawijaya.
- Oktaviastuti, B., Leliana, A., dan Luthfil A. 2020. Pengaruh Bahan Tambah Serbuk Ban Bekas Pada Konstruksi Hot Rolled Sheet-Wearing Course. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil Universitas Madura*, 5(Juni).
<https://www.liputan6.com>
- Prabudi, D., & Kosim. 2015. Pengaruh Kinerja Penambahan Karet Ban Bekas sebagai Substitusi Pengganti Campuran Beraspal Daur Ulang pada Lapis Permukaan Atas. *PILAR Jurnal Teknik Sipil*, 12(2) : 62 – 67.

- Ramadhan, M. Z., dan Iduwin T. 2022. Pengaruh PRD Dan Karakteristik Marshall Pada Serbuk Karet Ban Terhadap Campuran HRS-WC. *Akselerasi: Jurnal Ilmiah Teknik Sipil*, 4(1), 1–8.
- Ramadhan, M. A. dan Fauziah 2022. Kajian Kinerja Aspal Porus Dengan Menggunakan Gilsonite Additive, Publikasi Tesis MTS UII
- Sukirman, S. 1992. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Sukirman, S. 2003. *Perkerasan Jalan Raya*. Bandung: Penerbit Nova.
- Yamali, F. R. 2017. Pengaruh Penambahan Limbah Karet Ban Luar pada Lapis Tipis Aspal Pasir (Latasir) terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Civronlit Universitas Batanghari*, 2(2) : 54 – 63. DOI: <http://dx.doi.org/10.33087/civronlit.v2i2.25>
- Yusuf, M., Setyawan, A., dan Sarwono, D. 2014. Kekuatan dan Ketahanan Lapis Tipis Campuran Aspal Panas Dengan Penambahan Karet Remah. *Matriks Teknik Sipil*, 3(1).
- Wahyudi, A. T. 2019. Pengaruh Berbagai Metode Pencampuran Terhadap Karakteristik Campuran *Superpave* dan Aspal Porus. *Skripsi*. Yogyakarta: Universitas Islam Indonesia.
- Wiranata, A., Fermi, M.I., Bahrudin. 2018. Pengaruh Mastikasi Karet Terhadap Karakteristik Campuran Aspal - Karet Spesifikasi Teknis (Crumb Rubber). *Jurnal Online Mahasiswa FAKULTAS TEKNIK*, 5(2) : 1-7.

LAMPIRAN



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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

RUJUKAN : SNI 2441 - 2011

- 1 Sumber Material : Pertamina Cilacap
- 2 Jenis Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Karet 5 %
- 3 Diuji Pada : Januari 2024

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat vicnometer kosong (gr)	25,25	23,89
2	Berat vicnometer + Aquadest (gr)	48,22	46,1
3	Berat Aquadest (2 - 1) (gr)	22,97	22,21
4	Berat vicnometer + Aspal (gr)	26,87	25,52
5	Berat Aspal (4 - 1) (gr)	1,62	1,63
6	Berat vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	48,29	46,17
7	Berat Aquadest (6 - 4) (gr)	21,42	20,65
8	Volume Aspal (3 - 7) (gr)	1,55	1,56
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,045	1,045
10	Rata-rata BJ Aspal	1,045	



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



**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

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPHAL

RUJUKAN : SNI 2434 - 2011

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

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5 °C	13.15 WIB	
	Selesai	51 °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	126 detik	126 detik		
3	15 °C	238 detik	238 detik		
4	20 °C	342 detik	342 detik		
5	25 °C	456 detik	456 detik		
6	30 °C	572 detik	572 detik		
7	35 °C	675 detik	675 detik		
8	40 °C	787 detik	787 detik		
9	45 °C	896 detik	896 detik		
10	50 °C	931 detik	931 detik	51°C	51°C
11	55 °C				
12	60 °C				



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

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 | : Januari 2024 |

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	08.20 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	08.35 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	08.35 WIB	
	Selesai	27 °C	09.40 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27 °C	09.40 WIB	
	Selesai	322 °C	10.20 WIB	

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar	Keterangan
1	Benda uji 1	319 °C	322 °C	
2	Benda uji 2			
3	Rata - rata	319 °C	322 °C	



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

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 : Januari 2024

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda uji			
	Mulai pemanasan	27 °C	10.00 WIB	
	Selesai pemanasan	140 °C	10.30 WIB	
2	Didiamkan pada suhu ruang			
	Mulai	140 °C	10.30 WIB	
	Selesai	27 °C	13.00 WIB	
3	Diperiksa			
	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			
2	66	64			
3	65	65			
4	65	65			
5	65	66			
Rata2	65,2	65			
Rata2	65,1				

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusnadi, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

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 : Januari 2024

Persiapan pemeriksaan

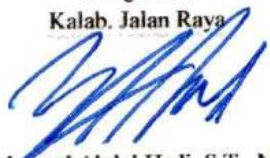
No	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Temperatur
1	Persiapan benda uji	Aspal dipanaskan	15 menit	suhu pemans $\pm 135^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan benda uji	Diamkan pada suhu ruang	60 menit	suhu ruang $\pm 28^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman benda uji	Direndam dalam water pada suhu 25°C	60 menit	suhu water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

Hasil pemeriksaan

No	Benda uji	Hasil pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164 cm	Tidak Putus
2	Sampel 2	164 cm	Tidak Putus
4	Rata-rata	150 cm	

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Beritan Khashari, M.Eng. IPM., ASEAN.Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4 / TCE

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

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

Persiapan pemeriksaan

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

Hasil pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Benda Uji		Keterangan
		1	2	
1	Berat erlen meyer kosong	68,780 gr	75,240 gr	
2	Berat erlen meyer kosong + Aspal	70,210 gr	76,800 gr	
3	Berat Aspal (2 - 1)	1,430 gr	1,560 gr	
4	Berat kertas saring bersih	0,600 gr	0,590 gr	



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

RUJUKAN : SNI 03-1969-2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	1669,25	1652,54	1660,90
2	Berat benda uji dalam Air (BA) gr	1050,83	1048,20	1049,52
3	Berat benda uji dkering oven (BK) gr	1631,54	1627,10	1629,32
4	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(BJ - BA)}$	2,638	2,692	2,665
5	Berat jenis (SSD) = $\frac{BJ}{(BJ - BA)}$	2,699	2,734	2,717
6	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(BK - BA)}$	2,810	2,811	2,810
7	Penyerapan air = $\frac{(BJ - BK)}{BK} \times 100\%$	2,311	1,564	1,937
8	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,724	2,752	2,738

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusnadi, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

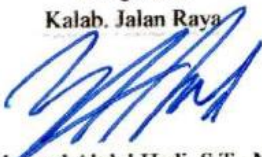
Persiapan pemeriksaan

No	Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	25°C	08.00 WIB	
	Selesai	150°C	08.15 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai	150°C	08.15 WIB	
	Selesai	25°C	09.45 WIB	
3	Perendaman benda uji			
	Mulai	25°C	09.45 WIB	
	Selesai	25°C	10.15 WIB	

Hasil pemeriksaan

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



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti


Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT KASAR

AASHTO T 96 - 77 ; SNI 2417 : 2008

- 1 Sumber Material : Clereng, Kulonprogo
- 2 Jenis Material : Agregat Kasar
- 3 Diuji Pada : 2024

No	Jenis Gradasi		B		Keterangan
	Saringan		Benda Uji (gram)		
	Lolos	Tertahan	1	2	
1	72.2 mm (3")	63.5 mm (2.5")			
2	63.5 mm (2.5")	50.8 mm (2")			
3	50.8 mm (2")	37.5 mm (1.5")			
4	37.5 mm (1.5")	25.4 mm (1")			
5	25.4 mm (1")	19.0 mm (3/4")			
6	19.0 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500,00	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)		3899,00	4790,00	
13	KEAUSAN 100x = $\frac{(A-B)}{A} \times 100\%$		22,020	4,200	
17	Rata-rata Keausan (%)		13,11		



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

RUJUKAN : SNI 1970 - 2008

- | | |
|-------------------|-----------------------|
| 1 Sumber Material | : Clereng, Kulonprogo |
| 2 Jenis Material | : Agregat Halus |
| 3 Diuji Pada | : 2024 |

No.	Keterangan	Benda uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ) gr	500,04	500,03	
2	Berat Vicnometer + Air (B) gr	692,68	704,89	
3	Berat Vicnometer + Air + benda uji (BT) gr	1006,45	1015,05	
4	Berat benda uji kering oven (BK)	491,57	493,68	
5	Berat jenis (Bulk) = $\frac{BK}{(B + 500) - BT}$	2,640	2,601	2,620
6	Berat jenis (SSD) = $\frac{500}{(B + 500) - BT}$	2,685	2,634	2,659
7	Berat jenis (Semu) = $\frac{BK}{(B + BK) - BT}$	2,765	2,690	2,727
8	Penyerapan air = $\frac{(500 - BK)}{BK} \times 100\%$	1,715	1,280	1,498
9	Berat Jenis Efektif = (BJ Bulk + BJ Semu)/2	2,702	2,645	2,674



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



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

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

RUJUKAN : SNI 3423-2008

- | | | |
|---|-----------------|-----------------------|
| 1 | Sumber Material | : Clereng, Kulonprogo |
| 2 | Jenis Material | : Agregat Halus |
| 3 | Diuji Pada | : 2024 |

No.	Keterangan		Benda uji		Rata-rata
			1	2	
1	Persiapan, dan perendaman benda uji dalam larutan CaCl_2 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_2)	Mulai	09.38	09.43	
		Selesai	09.50	09.55	
4	Clay reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3,40	3,70	3,55
5	Sand reading (Pembacaan Pasir)		3,00	3,50	3,25
6	$\text{Sand Equiuvalent} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \%$		88,24	94,59	91,41
7	Kandungan Lumpur = 100 - SE		11,76	5,41	8,59

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 12. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Campuran CalTrans

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA CAMPURAN AC-WC CALTRANS

Tanggal Pengujian : Mei 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPEL	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VTM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
5A	7,583	5,263	5	1181,31	1244,43	655,81	588,62	2,0069	2,4637	9,5567	71,904	18,539	28,096	34,014	18,539	30	639,4903	0,765958333	489,823	2,3	212,966
5B	7,449	5,263	5	1178,13	1242,99	651,71	591,28	1,9925	2,4637	9,4881	71,388	19,124	28,612	33,161	19,124	30	639,4903	0,796166667	509,141	2,2	231,428
5C	7,682	5,263	5	1175,12	1240,76	656,62	584,14	2,0117	2,4637	9,5796	72,076	18,345	27,924	34,306	18,345	29	618,174	0,7895	488,048	2,3	212,195
								2,0037					28,211	33,827	18,669		632,3849		495,671	2,267	218,863
5,5A	7,543	5,820	5,5	1163,78	1234,13	650,19	583,94	1,9930	2,4463	10,4394	71,029	18,532	28,971	36,034	18,532	32	682,123	0,791	539,559	2,6	207,523
5,5B	7,326	5,820	5,5	1168,21	1241,99	657,49	584,5	1,9986	2,4463	10,4691	71,231	18,300	28,769	36,390	18,300	31	660,8066	0,787375	520,303	2,5	208,121
5,5C	7,577	5,820	5,5	1163,12	1238,12	655,52	582,6	1,9964	2,4463	10,4575	71,152	18,391	28,848	36,250	18,391	32	682,123	0,778375	530,947	2,3	230,847
								1,9960					28,863	36,225	18,407		675,0175		530,270	2,467	215,497
6A	7,214	6,383	6	1141,44	1229,88	664,02	565,86	2,0172	2,4292	11,5267	71,511	16,962	28,489	40,460	16,962	31	660,8066	0,79075	522,533	2,7	193,531
6B	7,203	6,383	6	1145,12	1221,45	655,91	565,54	2,0248	2,4292	11,5704	71,782	16,648	28,218	41,004	16,648	31	660,8066	0,818333333	540,760	2,8	193,129
6C	7,353	6,383	6	1144,12	1216,89	653,95	562,94	2,0324	2,4292	11,6137	72,051	16,336	27,949	41,553	16,336	31	660,8066	0,896041667	592,110	2,8	211,468
								2,0248					28,219	41,006	16,649		660,8066		551,801	2,767	199,376
6,5A	7,519	6,952	6,5	1160,89	1219,65	652,48	567,17	2,0468	2,4124	12,6707	72,175	15,154	27,825	45,538	15,154	31	660,8066	0,796208333	526,140	3,1	169,723
6,5B	7,407	6,952	6,5	1152,71	1202,8	641,23	561,57	2,0527	2,4124	12,7069	72,382	14,912	27,618	46,009	14,912	30	639,4903	0,79475	508,235	3,1	163,947
6,5C	7,501	6,952	6,5	1163,81	1213,54	646,15	567,39	2,0512	2,4124	12,6977	72,329	14,973	27,671	45,888	14,973	30	639,4903	0,791958333	506,450	3,2	158,266
								2,0502					27,705	45,812	15,013		646,5958		513,608	3,133	163,978
7A	6,869	7,527	7	1164,13	1201,45	631,71	569,74	2,0433	2,3958	13,6218	71,665	14,713	28,335	48,074	14,713	29	618,174	0,807916667	499,433	3,3	151,343
7B	7,708	7,527	7	1171,11	1207,69	633,59	574,1	2,0399	2,3958	13,5994	71,547	14,853	28,453	47,796	14,853	27	575,5413	0,818333333	470,985	3,4	138,525
7C	7,471	7,527	7	1164,12	1202,19	632,91	569,28	2,0449	2,3958	13,6327	71,722	14,645	28,278	48,210	14,645	27	575,5413	0,818791667	471,248	3,5	134,642
								2,0427					28,355	48,027	14,737		589,7522		480,555	3,400	141,504

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

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julius Angkoso
NIK : 20 914 027

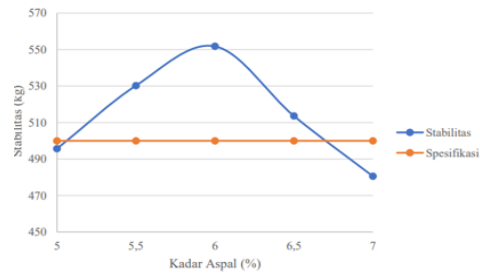
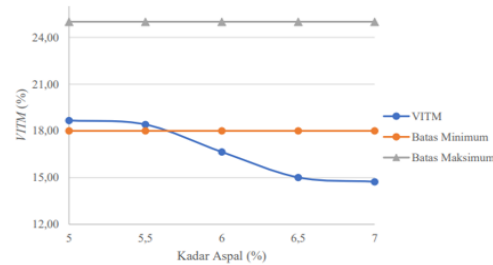
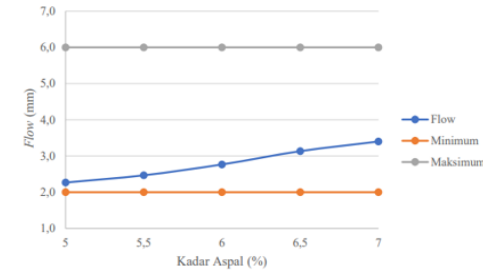
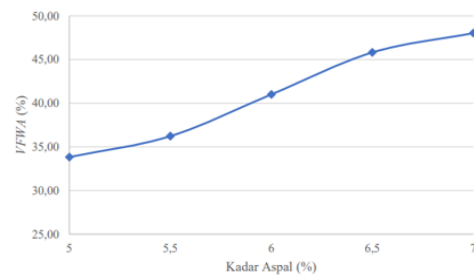
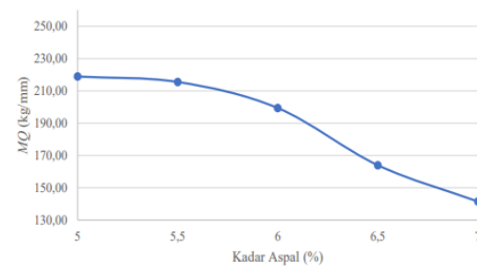
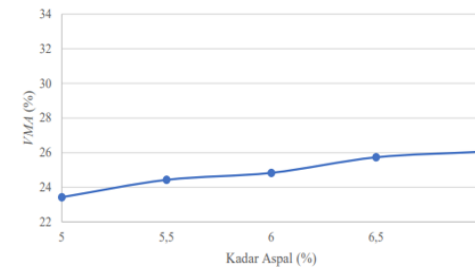


FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Rekapitulasi Marshall CALTRANS Aspal Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	495,6707	2,30	218,86	18,67	33,83	28,21	2,004
5,5	530,2698	2,50	215,50	18,41	36,22	28,86	1,996
6	551,8011	2,80	199,38	16,65	41,01	28,22	2,025
6,5	513,6081	3,10	163,98	15,01	45,81	27,70	2,050
7	480,5554	3,40	141,50	14,74	48,03	28,36	2,043
BINA MARGA	≥500	2-6	<400	3-5			



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

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

Julang, Mei 2024
Peneliti
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



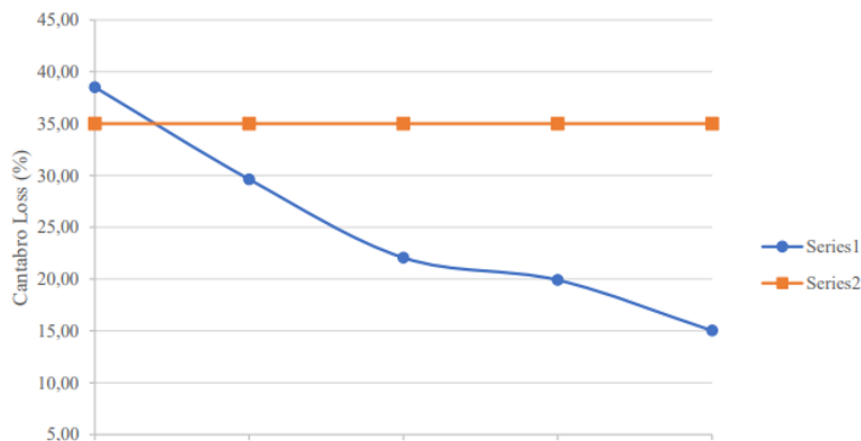
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN CANTABRO CALTRANS

SAMPel	Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
5	A	1169,41	719,32	450,09	38,51
	B	1151,02	709,23	441,79	
	C	1170,82	718,13	452,69	
5,5	A	1138,81	802,92	335,89	29,62
	B	1171,22	818,95	352,27	
	C	1122,12	793,31	328,81	
6	A	1138,42	882,37	256,05	22,06
	B	1161,29	907,11	254,18	
	C	1118,21	874,37	243,84	
6,5	A	1121,65	895,61	226,04	19,90
	B	1128,71	899,99	228,72	
	C	1150,24	928,31	221,93	
7	A	1155,32	978,11	177,21	15,34
	B	1161,87	989,12	172,75	
	C	1146,72	976,17	170,55	

SAMPel	KEHILANGAN BERAT	Max
5	38,51	35
5,5	29,62	35
6	22,06	35
6,5	19,90	35
7	15,03	35



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

Ir. Berhan Kusnani, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

[Signature]

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



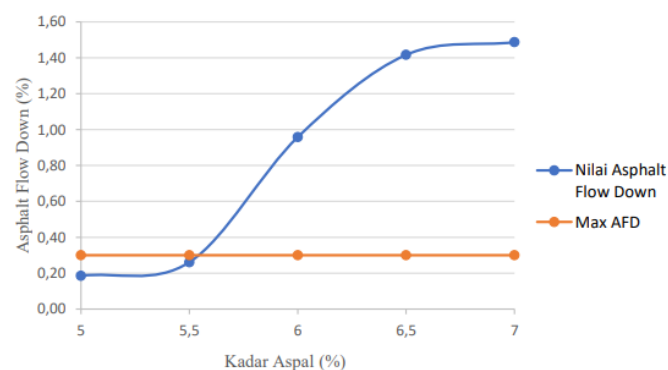
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN CALTRANS

Kadar Aspal (%)	Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata-Rata Nilai AFD (%)
	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven				
	(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
5 (A)	324,81	1502,83	327,12	1178,02	2,31	0,20	0,19
5 (B)	325,38	1501,32	327,43	1175,94	2,05	0,17	
5 (C)	325,44	1495,32	327,32	1169,88	1,88	0,16	
5.5 (A)	334,71	1506,19	337,95	1171,48	3,24	0,28	0,26
5.5 (B)	332,21	1513,12	335,11	1180,91	2,90	0,25	
5.5 (C)	328,28	1504,15	331,63	1175,87	3,35	0,28	
6 (A)	329,82	1492,12	340,62	1162,30	10,80	0,93	0,96
6 (B)	327,52	1472,21	338,81	1144,69	11,29	0,99	
6 (C)	321,71	1464,12	332,84	1142,41	11,13	0,97	
6.5 (A)	307,58	1475,43	324,22	1167,85	16,64	1,42	1,42
6.5 (B)	305,26	1485,17	322,19	1179,91	16,93	1,43	
6.5 (C)	302,27	1443,71	318,12	1141,44	15,85	1,39	
7 (A)	302,89	1447,12	320,29	1144,23	17,40	1,52	1,49
7 (B)	301,12	1454,42	318,24	1153,30	17,12	1,48	
7 (C)	307,71	1461,21	324,49	1153,50	16,78	1,45	

Kadar Aspal	Nilai Asphalt Flow Down	Max AFD
5	0,19	0,3
5,5	0,26	0,3
6	0,96	0,3
6,5	1,42	0,3
7	1,49	0,3



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

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti
[Signature]
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 15. Rekapitulasi Hasil KAO CalTrans


**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

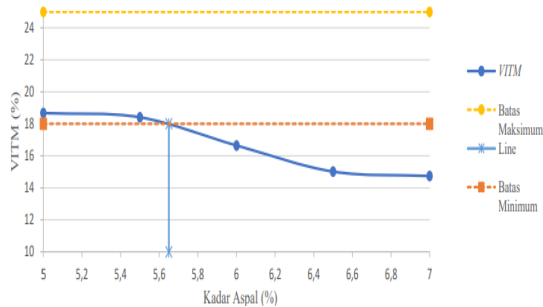
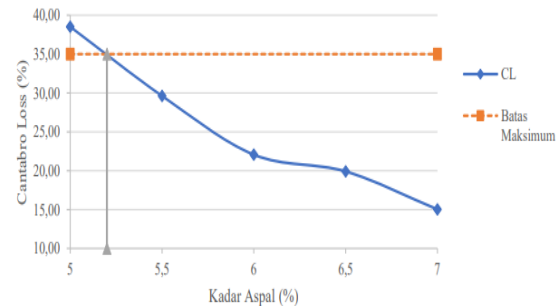
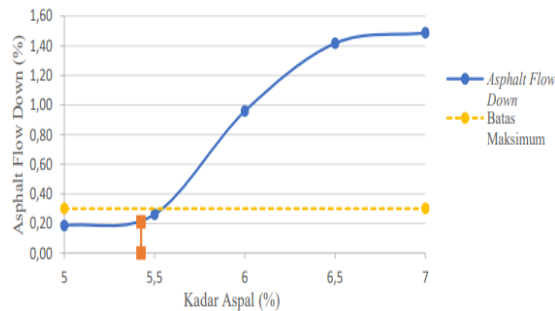
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

REKAPITULASI HASIL KAO CALTRANS

Cantabro	Batas Max
38,51	35
29,62	35
22,06	35
19,90	35
15,03	35
<35%	

VITM (%)	Batas	
	Min	Max
18,66938	18	25
18,40748	18	25
16,64854	18	25
15,01289	18	25
14,73711	18	25
18 - 25		

Asphalt Flow	Batas Max
0,19	0,3
0,26	0,3
0,96	0,3
1,42	0,3
1,49	0,3
<0,3	



VITM (OAC Max)	5,65
Cantabro (OAC Min)	5,20
Rata-rata	5,43
Asphalt Flow Down	0,21
KAO	5,64



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 16. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Campuran AAPA

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENENTUKAN KAO PADA CAMPURAN AC-WC AAPA

Tanggal Pengujian : Mei 2024
Tipe Campuran : AC-WC AAPA
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPEL	Tinggi (cm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
5A	7,572	5,263	5	1180,1	1244,43	655,88	588,55	2,0051	2,4637	9,5481	71,839	18,613	28,161	33,905	18,613	28	596,8576	0,765958333	457,168	2,4	190,487
5B	7,331	5,263	5	1177,5	1242,99	651,76	591,23	1,9916	2,4637	9,4839	71,356	19,161	28,644	33,109	19,161	29	618,174	0,796166667	492,170	3,05	161,367
5C	7,384	5,263	5	1174,3	1240,76	656,64	584,12	2,0104	2,4637	9,5732	72,028	18,399	27,972	34,224	18,399	29	618,174	0,7895	488,048	2,1	232,404
								2,0024					28,259	33,746	18,724		611,0685		479,129	2,517	194,753
5,5A	7,401	5,820	5,5	1163,6	1237,7	650,24	587,46	1,9807	2,4463	10,3753	70,592	19,032	29,408	35,281	19,032	30	639,4903	0,791	505,837	2,7	187,347
5,5B	7,401	5,820	5,5	1169,4	1233,55	657,52	576,03	2,0301	2,4463	10,6339	72,352	17,014	27,648	38,461	17,014	32	682,123	0,787375	537,087	2,6	206,572
5,5C	7,473	5,820	5,5	1164,5	1248,43	655,58	592,85	1,9642	2,4463	10,2889	70,005	19,707	29,995	34,302	19,707	32	682,123	0,778375	530,947	2,8	189,624
								1,9917					29,017	36,015	18,584		667,9121		524,624	2,700	194,514
6A	7,374	6,383	6	1172,5	1236,88	664,12	572,76	2,0471	2,4292	11,6977	72,572	15,730	27,428	42,649	15,730	32	682,123	0,79075	539,389	3,7	145,781
6B	7,153	6,383	6	1154,7	1225,45	655,91	569,54	2,0274	2,4292	11,5853	71,874	16,541	28,126	41,191	16,541	31	660,8066	0,818333333	540,760	3,1	174,439
6C	6,532	6,383	6	1171,3	1213,89	653,95	559,94	2,0918	2,4292	11,9533	74,157	13,889	25,843	46,254	13,889	31	660,8066	0,896041667	592,110	3,2	185,034
								2,0555					27,132	43,365	15,387		667,9121		557,420	3,333	168,418
6,5A	7,330	6,952	6,5	1160,2	1219,65	652,48	567,17	2,0456	2,4124	12,6632	72,133	15,204	27,867	45,441	15,204	30	639,4903	0,796208333	509,168	4	127,292
6,5B	7,342	6,952	6,5	1153,8	1202,8	625,2	577,6	1,9976	2,4124	12,3659	70,439	17,195	29,561	41,832	17,195	29	618,174	0,79475	491,294	3,9	125,973
6,5C	7,364	6,952	6,5	1163,2	1213,54	646,15	567,39	2,0501	2,4124	12,6910	72,291	15,018	27,709	45,801	15,018	29	618,174	0,791958333	489,568	3,8	128,834
								2,0311					28,379	44,358	15,806		625,2794		496,676	3,900	127,366
7A	7,237	7,527	7	1163,5	1201,48	631,7	569,78	2,0420	2,3958	13,6134	71,621	14,765	28,379	47,971	14,765	28	596,8576	0,807916667	482,211	4	120,553
7B	7,153	7,527	7	1170,23	1207,7	633,54	574,16	2,0382	2,3958	13,5877	71,486	14,926	28,514	47,653	14,926	27	575,5413	0,818333333	470,985	4,2	112,139
7C	7,150	7,527	7	1163,65	1202,12	632,9	569,22	2,0443	2,3958	13,6286	71,701	14,670	28,299	48,159	14,670	28	596,8576	0,818791667	488,702	4,2	116,358
								2,0415					28,397	47,928	14,787		589,7522		480,633	4,133	116,350

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
[Signature]
In. Berliant Kusnanti, M.Eng, IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti *[Signature]*

Juliana Angkoso
NIM : 20 914 027

Lanjutan Lampiran 16. Hasil Pengujian *Marshall* untuk Menentukan KAO pada Campuran AAPA

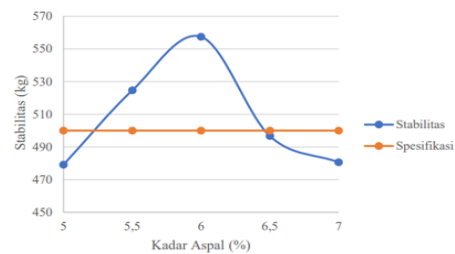
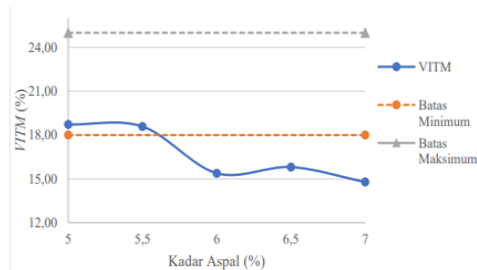
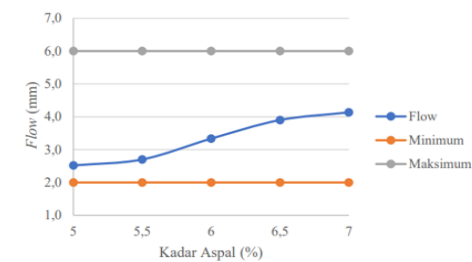
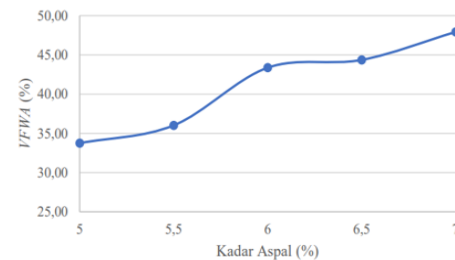
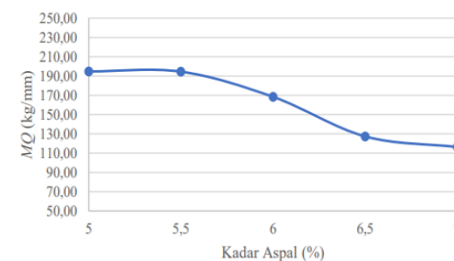
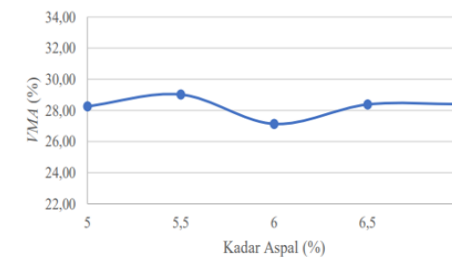


FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

Rekapitulasi Marshall AAPA Aspal Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	479,1286	2,50	194,75	18,72	33,75	28,26	2,002
5,5	524,6236	2,70	194,51	18,58	36,01	29,02	1,992
6	557,4197	3,30	168,42	15,39	43,36	27,13	2,056
6,5	496,6764	3,90	127,37	15,81	44,36	28,38	2,031
7	480,6326	4,10	116,35	14,79	47,93	28,40	2,042
BINA MARGA	>500	2-6	<400	18-25			



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
In. Berlian Kusnani, 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, Mei 2024
Peneliti
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



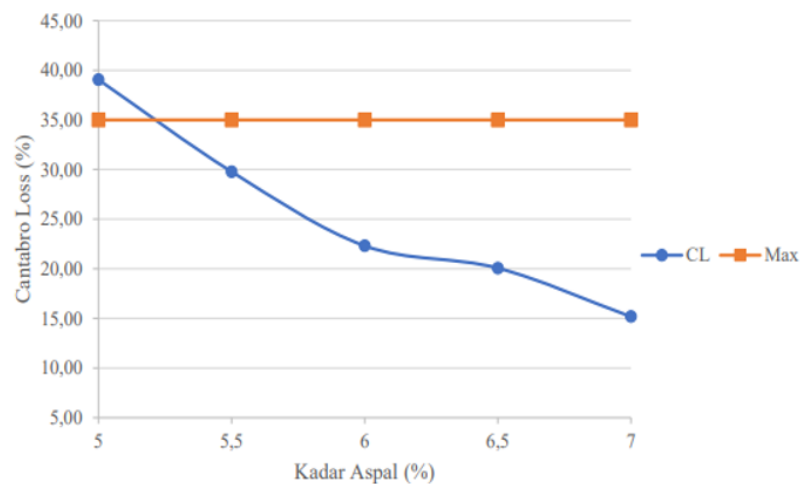
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN CANTABRO AAPA

SAMPSEL		Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
5	A	1168,49	701,33	467,16	39,98	39,05
	B	1152,04	708,21	443,83	38,53	
	C	1171,89	719,11	452,78	38,64	
5,5	A	1137,8	811,99	325,81	28,64	29,78
	B	1170,2	802,92	367,28	31,39	
	C	1121,1	792,33	328,77	29,33	
6	A	1139,41	876,34	263,07	23,09	22,31
	B	1160,27	911	249,27	21,48	
	C	1117,22	867,33	249,89	22,37	
6,5	A	1127,64	890,62	237,02	21,02	20,07
	B	1137,72	898,34	239,38	21,04	
	C	1151,23	942,33	208,9	18,15	
7	A	1156,33	961,13	195,2	16,88	15,18
	B	1160,89	1000,12	160,77	13,85	
	C	1145,71	976,12	169,59	14,80	

SAMPSEL	KEHILANGAN BERAT	Max
5	39,05	35
5,5	29,78	35
6	22,31	35
6,5	20,07	35
7	15,18	35



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

Ir. Berhan Kusnadi, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

[Signature]

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



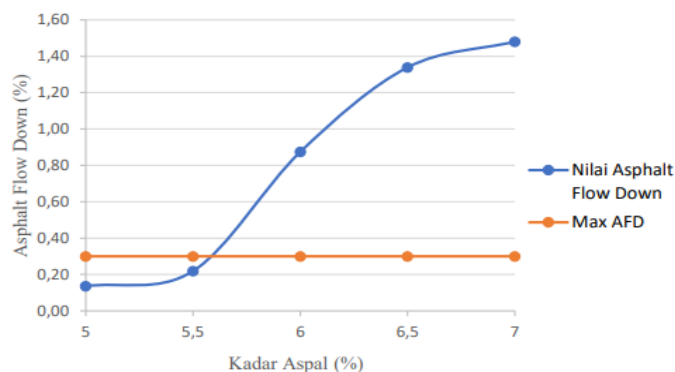
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN *ASPHALT FLOW DOWN* CALTRANS

Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata- Rata Nilai AFD (%)
Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven				
(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
324,82	1501,81	326,91	1176,99	2,09	0,18	0,14
324,31	1502,42	325,41	1178,11	1,10	0,09	
326,77	1497,52	330,31	1170,75	3,54	0,30	
335,72	1507,39	337,97	1171,67	2,25	0,19	0,22
331,22	1512,72	334,12	1181,50	2,90	0,25	
327,21	1506,19	332,67	1178,98	5,46	0,46	
329,81	1491,13	338,62	1161,32	8,81	0,76	0,87
326,51	1471,15	337,84	1144,64	11,33	0,99	
320,73	1465,14	322,80	1144,41	2,07	0,18	
308,54	1474,73	321,23	1166,19	12,69	1,09	1,34
306,21	1485,17	316,99	1178,96	10,78	0,91	
303,22	1442,75	326,17	1139,53	22,95	2,01	
303,07	1448,08	321,39	1145,01	18,32	1,60	1,48
302,21	1453,36	315,25	1151,15	13,04	1,13	
306,72	1462,20	326,47	1155,48	19,75	1,71	

Kadar Aspal	Nilai <i>Asphalt Flow Down</i>	Max AFD
5	0,14	0,3
5,5	0,22	0,3
6	0,87	0,3
6,5	1,34	0,3
7	1,48	0,3



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

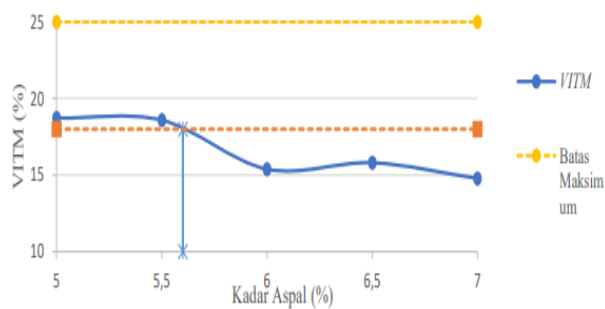
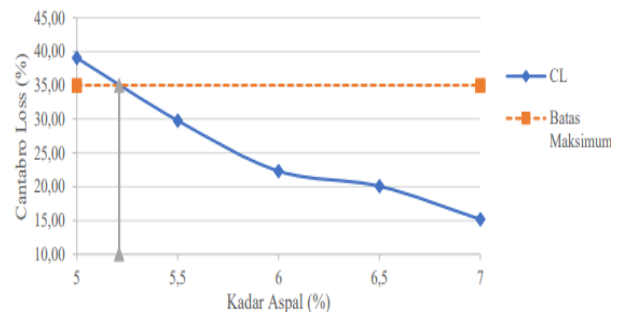
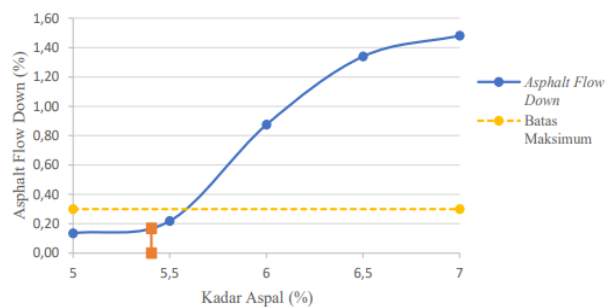
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

REKAPITULASI HASIL KAO AAPA

Cantabro	Batas Max
38,51	35
29,62	35
22,06	35
19,90	35
15,03	35
<35%	

VTM (%)	Batas	
	Min	Max
18,66938	18	25
18,40748	18	25
16,64854	18	25
15,01289	18	25
14,73711	18	25
18 - 25		

Asphalt Flow	Batas Max
0,19	0,3
0,26	0,3
0,96	0,3
1,42	0,3
1,49	0,3
<0,3	



VTM (OAC Max)	5,60
Cantabro (OAC Min)	5,21
Rata-rata	5,41
Asphalt Flow Down	0,17
KAO	5,58

Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 20. Hasil Pengujian *Marshall* Setelah KAO pada Campuran CalTrans 0,5 Jam

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-WC CALTRANS 0,5 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikat : Pen 60/70

SAMPEL	Tinggi (mm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
0	77,320	5,977	5,64	1165,42	1248,34	655,65	592,69	1,9663	2,4415	10,5620	69,975	19,463	30,025	35,177	19,463	32	682,122992	0,76	515,685	2,8	184,173
0,00	73,802	5,977	5,64	1163,21	1243,27	654,94	588,33	1,9771	2,4415	10,6201	70,360	19,020	29,640	35,830	19,020	30	639,490305	0,79	508,371	3,12	162,939
0,00	73,623	5,977	5,64	1169,32	1245,12	650,21	594,91	1,9655	2,4415	10,5578	69,947	19,495	30,053	35,131	19,495	31	660,806649	0,79	523,499	3,16	165,664
								1,9697					29,9060	35,3793	19,3260		660,8066		515,8517	3,0267	170,9256
5,00	79,130	5,977	5,64	1166,73	1222,38	637,81	584,57	1,9959	2,4415	10,7207	71,027	18,253	28,973	37,002	18,253	31	660,806649	0,62	409,205	2,1	194,859
5,00	72,630	5,977	5,64	1168,78	1223,12	635,87	587,25	1,9903	2,4415	10,6905	70,827	18,483	29,173	36,645	18,483	34	724,755679	0,81	590,404	3,33	177,299
5,00	67,340	5,977	5,64	1165,32	1224,45	634,49	589,96	1,9753	2,4415	10,6099	70,293	19,097	29,707	35,715	19,097	33	703,439336	0,91	642,944	3,35	191,923
								1,9871					29,2845	36,4541	18,6108		696,3339		547,5174	2,9267	188,0271
6,00	73,850	5,977	5,64	1174,23	1256,62	639,67	616,95	1,9033	2,4415	10,2233	67,732	22,045	32,268	31,682	22,045	39	831,337397	0,79	656,237	1,8	364,576
6,00	75,630	5,977	5,64	1172,12	1252,32	638,12	614,2	1,9084	2,4415	10,2507	67,913	21,837	32,087	31,946	21,837	40	852,65374	0,77	654,092	3,6	181,692
6,00	75,710	5,977	5,64	1174,21	1248,88	638,54	610,34	1,9239	2,4415	10,3339	68,464	21,202	31,536	32,769	21,202	40	852,65374	0,77	653,239	3,51	186,108
								1,9118					31,9639	32,1323	21,6946		845,5483		654,5228	2,9700	244,1255
7,00	78,380	5,977	5,64	1189,22	1260,21	640,34	619,87	1,9185	2,4415	10,3051	68,273	21,422	31,727	32,481	21,422	42	895,286427	0,72	647,068	1,6	404,418
7,00	78,300	5,977	5,64	1184,42	1259,44	639,87	619,57	1,9117	2,4415	10,2685	68,030	21,701	31,970	32,120	21,701	43	916,602771	0,73	669,693	3,9	171,716
7,00	78,530	5,977	5,64	1181,12	1258,98	638,21	620,77	1,9027	2,4415	10,2201	67,710	22,070	32,290	31,651	22,070	44	937,919114	0,72	676,122	3,8	177,927
								1,9109					31,9955	32,0836	21,7310		916,6028		664,2945	3,1000	251,3536



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 21. Hasil Pengujian *Marshall* Setelah KAO pada Campuran CalTrans 24 Jam

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-WC CALTRANS 24 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikat : Pen 60/70

SAMPEL	Tinggi (mm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFVA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
0	76,230	5,977	5,64	1168,56	1299,23	702,94	596,29	1,9597	2,4415	10,5265	69,740	19,734	30,260	34,787	19,734	29	618,173962	0,75	463,283	1,8	257,379
0,00	73,470	5,977	5,64	1163,21	1298,66	701,34	597,32	1,9474	2,4415	10,4602	69,301	20,239	30,699	34,073	20,239	31	660,806649	0,79	524,763	1,8	291,535
0,00	73,871	5,977	5,64	1169,45	1299,89	702,88	597,01	1,9588	2,4415	10,5218	69,709	19,769	30,291	34,736	19,769	30	639,490305	0,81	520,333	2,1	247,778
								1,9553					30,4167	34,5319	19,9139		639,4903		502,7930	1,9000	265,5640
5,00	78,898	5,977	5,64	1177,74	1246,32	642,21	604,11	1,9495	2,4415	10,4718	69,378	20,150	30,622	34,197	20,150	32	682,122992	0,53	361,580	2,3	157,209
5,00	72,630	5,977	5,64	1178,65	1247,42	642,22	605,2	1,9475	2,4415	10,4611	69,307	20,232	30,693	34,082	20,232	32	682,122992	0,84	570,894	2,3	248,215
5,00	71,234	5,977	5,64	1179,52	1248,82	646,72	602,1	1,9590	2,4415	10,5227	69,715	19,763	30,285	34,745	19,763	32	682,122992	0,86	588,749	2,4	245,312
								1,9520					30,5336	34,3416	20,0484		682,1230		507,0743	2,3333	216,9118
6,00	74,657	5,977	5,64	1192,32	1242,32	625,67	616,65	1,9335	2,4415	10,3859	68,809	20,806	31,191	33,297	20,806	31	660,806649	0,78	514,958	1,7	302,917
6,00	75,630	5,977	5,64	1194,24	1245,32	626,43	618,89	1,9296	2,4415	10,3650	68,670	20,965	31,330	33,083	20,965	32	682,122992	0,76	518,882	1,8	288,268
6,00	75,526	5,977	5,64	1191,98	1245,89	625,34	620,55	1,9208	2,4415	10,3177	68,357	21,326	31,643	32,606	21,326	31	660,806649	0,77	507,780	2	253,890
								1,9280					31,3883	32,9955	21,0322		667,9121		513,8737	1,8333	281,6916
7,00	78,667	5,977	5,64	1198,98	1242,98	619,82	623,16	1,9240	2,4415	10,3348	68,470	21,195	31,530	32,778	21,195	35	746,072023	0,72	539,965	1,5	359,977
7,00	78,423	5,977	5,64	1201,34	1249,32	619,42	629,9	1,9072	2,4415	10,2443	67,871	21,885	32,129	31,885	21,885	32	682,122992	0,73	499,459	1,6	312,162
7,00	78,530	5,977	5,64	1199,32	1251,92	610,42	641,5	1,8696	2,4415	10,0422	66,531	23,426	33,469	30,005	23,426	33	703,439336	0,73	514,126	1,7	302,427
								1,9003					32,3760	31,5557	22,1688		710,5448		517,8501	1,6000	324,8552



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

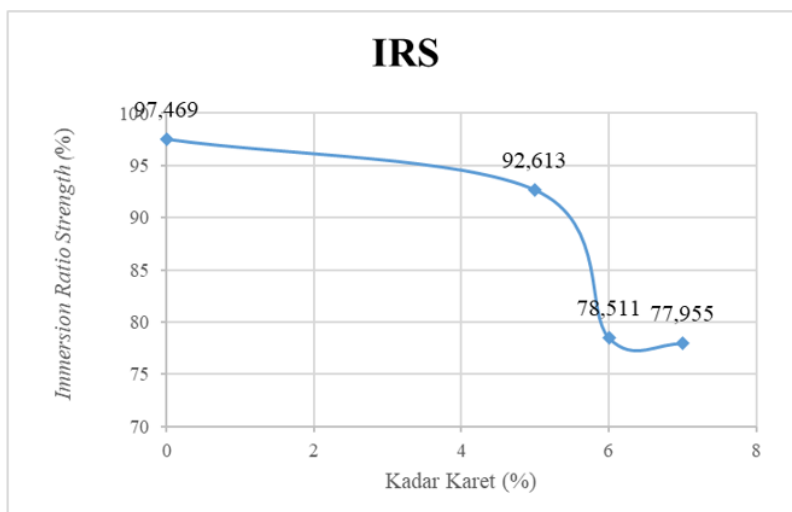


FAKULTAS TEKNIK SIPIL & PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN IRS CALTRANS

Kadar Karet	Stabilitas (kg)		IRS (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0	515,9	502,8	97,47
5	547,5	507,1	92,61
6	654,5	513,9	78,51
7	664,3	517,9	77,95



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

Ir. Bertian Kusnadi, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti

[Signature]

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 23. Hasil Pengujian ITS Pada Campuran CalTrans 0,5 Jam



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

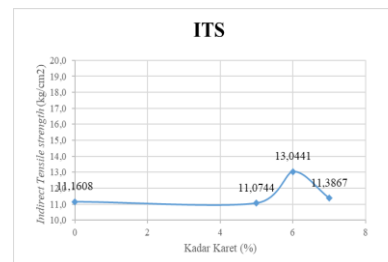
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN AC-WC CALTRANS 0,5 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikat : Pen 60/70

Kadar Karet (%)	Diameter	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata		Angka Koreksi	Diameter	Stabilitas			A0	Indirect Tensile Strength (kg/cm ²)	Rata - Rata
	(cm)	t1	t2	t3	cm	cm		(cm)	Stabilitas	Stabilitas*Kalibrasi	Stabilitas (kg)			
0	10	6,57	6,62	6,6	6,60	6,60	0,94	10	25	496,7	466,890	0,159	11,25	11,1608
	10	6,62	6,63	6,62	6,62	6,62	0,94	10	24	476,8	448,215	0,159	10,76	
	10	6,58	6,73	6,67	6,66	6,66	0,93	10	26	516,6	480,401	0,159	11,47	
5	10	6,58	6,84	6,98	6,80	6,80	0,9	10	26	516,6	464,904	0,159	10,87	11,0744
	10	6,61	6,79	6,95	6,78	6,78	0,9	10	25	496,7	447,023	0,159	10,48	
	10	6,63	6,69	6,72	6,68	6,68	0,93	10	27	536,4	498,877	0,159	11,87	
6	10	6,62	6,58	6,61	6,60	6,60	0,94	10	29	576,2	541,593	0,159	13,04	13,0441
	10	6,59	6,58	6,68	6,62	6,62	0,94	10	29	576,2	541,593	0,159	13,01	
	10	6,48	6,53	6,47	6,49	6,49	0,96	10	28	556,3	534,043	0,159	13,08	
7	10	6,68	6,83	6,71	6,74	6,74	0,91	10	27	536,4	488,149	0,159	11,52	11,3867
	10	6,74	6,91	6,68	6,78	6,78	0,9	10	28	556,3	500,666	0,159	11,75	
	10	6,78	6,92	6,65	6,78	6,78	0,9	10	26	516,6	464,904	0,159	10,90	

Persen Karet (%)	ITS (Kg/cm ²)
0	11,1608
5	11,0744
6	13,0441
7	11,3867



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 24. Hasil Pengujian ITS Pada Campuran CalTrans 24 Jam



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

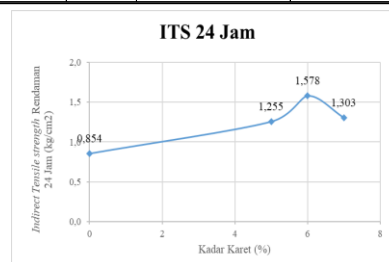
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN AC-WC CALTRANS 24 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikat : Pen 60/70

Kadar Karet (%)	Diameter	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata		Angka Koreksi	Diameter	Stabilitas			A0	Indirect Tensile Strength (kg/cm ²)	Rata - Rata
	(cm)	t1	t2	t3	cm	cm		(cm)	Stabilitas	Stabilitas*Kalibrasi	Stabilitas (kg)			
0	10	6,65	6,83	6,78	6,75	6,75	0,8991667	10	2	39,7	35,729	0,159	0,84	0,8540
	10	6,78	6,78	6,65	6,74	6,74	0,9033333	10	2	39,7	35,894	0,159	0,85	
	10	6,78	6,65	6,65	6,69	6,69	0,925625	10	2	39,7	36,780	0,159	0,87	
5	10	6,79	6,84	6,69	6,77	6,77	0,9444078	10	3	59,6	56,290	0,159	1,32	1,2551
	10	7,63	6,79	6,69	7,04	7,04	0,9169302	10	3	59,6	54,652	0,159	1,23	
	10	6,69	7,45	6,79	6,98	6,98	0,89	10	3	59,6	53,047	0,159	1,21	
6	10	7,62	7,65	7,58	7,62	7,62	0,9697902	10	4	79,5	77,070	0,159	1,61	1,5782
	10	7,58	7,62	7,61	7,60	7,60	0,9907711	10	4	79,5	78,737	0,159	1,65	
	10	7,62	7,58	7,61	7,60	7,60	0,89	10	4	79,5	70,729	0,159	1,48	
7	10	6,61	6,57	6,59	6,59	6,59	0,8390701	10	3	59,6	50,011	0,159	1,21	1,3032
	10	6,57	6,61	6,6	6,59	6,59	0,94	10	3	59,6	56,027	0,159	1,35	
	10	6,58	6,62	6,57	6,59	6,59	0,94	10	3	59,6	56,027	0,159	1,35	

Kadar Karet (%)	ITS (24 Jam) (Kg/cm ²)
0	0,8540
5	1,2551
6	1,5782
7	1,3032



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIK : 20 914 027

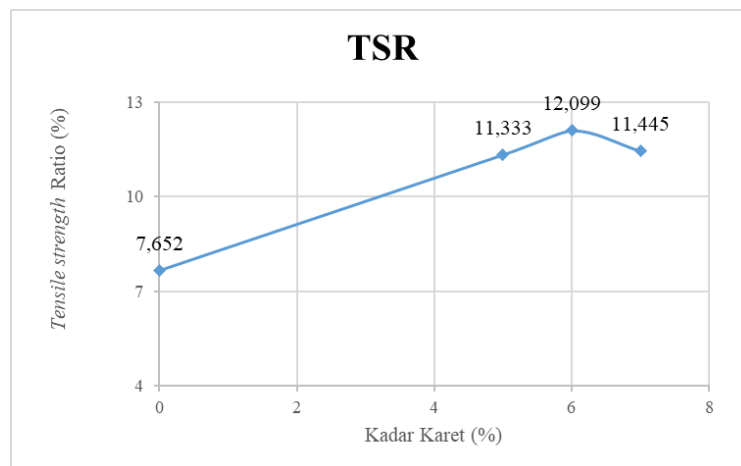


FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN TSR CALTRANS

Kadar Karet (%)	ITS (kg/cm ²)		TSR (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0	11,2	0,9	7,65
5	11,1	1,3	11,33
6	13,0	1,6	12,10
7	11,4	1,3	11,44



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti

[Signature]

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



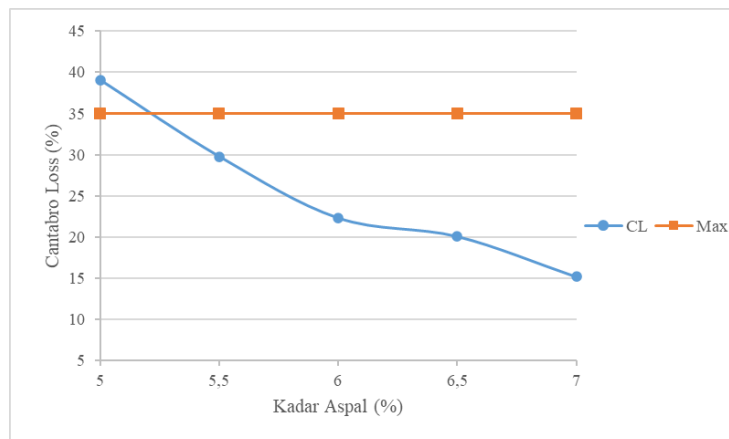
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN CANTABRO CALTRANS

SAMPSEL		Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di	Kehilang an Berat	Rata- Rata Kehilang an Berat
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	A	1280,32	988,25	292,07	22,81	23,88
	B	1162,82	882,93	279,89	24,07	
	C	1183,23	890,21	293,02	24,76	
5	A	1272,55	1007,6	264,95	20,82	21,66
	B	1148,81	900,32	248,49	21,63	
	C	1153,89	894,01	259,88	22,52	
6	A	1170,78	967,82	202,96	17,34	18,48
	B	1164,65	947,42	217,23	18,65	
	C	1181,23	951,45	229,78	19,45	
7	A	1183,25	973,56	209,69	17,72	17,31
	B	1165,65	960,89	204,76	17,57	
	C	1143,76	953,56	190,2	16,63	

SAMPSEL	KEHILA NGAN	Max
0	23,88	35
5	21,66	35
6	18,48	35
7	17,31	35



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Bertian Khashari, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027



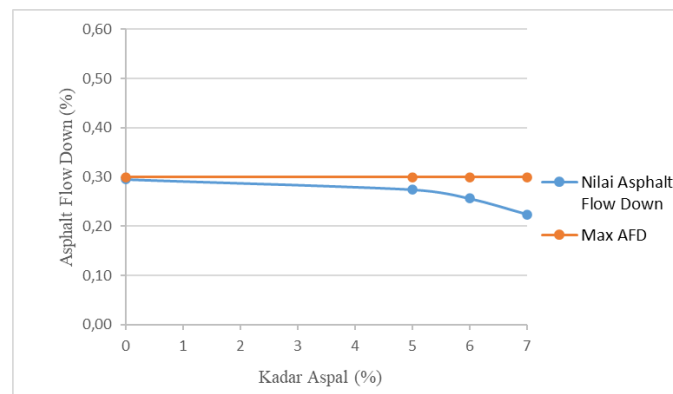
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN CALTRANS

Kadar Karet (%)	Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata-Rata Nilai AFD (%)
	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven (m2)	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven (m3)				
	(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
0	334,12	1506,68	337,21	1172,56	3,09	0,26	0,30
	332,02	1505,47	335,96	1173,45	3,94	0,34	
	327,89	1502,42	331,25	1174,53	3,36	0,29	
5	333,12	1502,23	336,67	1169,11	3,55	0,30	0,27
	334,42	1512,42	337,18	1178,00	2,76	0,23	
	331,22	1506,11	334,57	1174,89	3,35	0,29	
6	333,44	1511,98	336,41	1178,54	2,97	0,25	0,26
	333,65	1498,22	336,65	1164,57	3,00	0,26	
	332,12	1498,03	335,14	1165,91	3,02	0,26	
7	334,67	1512,32	337,12	1177,65	2,45	0,21	0,22
	335,56	1513,22	338,21	1177,66	2,65	0,23	
	335,22	1509,92	338,03	1174,70	2,81	0,24	

Kadar Karet (%)	Nilai Asphalt Flow Down	Max AFD
0	0,30	0,3
5	0,27	0,3
6	0,26	0,3
7	0,22	0,3



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

Ir. Berhan Kusnadi, M.Eng, IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 28. Hasil Pengujian *Marshall* Setelah KAO pada Campuran AAPA 0,5 Jam

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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-WC AAPA 0,5 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC AAPA
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPEL	Tinggi (mm)	A (%)	B (%)	C (gram)	D (gram)	E (gram)	F (gram)	G Density	H	I	J	K	L VMA (%)	M VFWA (%)	N VITM (%)	O Meas	P	Q Koreksi	R Stabilitas (kg)	S Flow (cm)	T MQ (Kg/mm)
0	77,220	5,910	5,58	1164,50	1248,43	655,58	592,85	1,9642	2,4436	10,4385	69,945	19,616	30,055	34,732	19,616	31	660,806649	0,76	500,396	3,2	156,374
0,00	73,800	5,910	5,58	1162,31	1247,33	655,60	591,73	1,9643	2,4436	10,4386	69,946	19,615	30,054	34,733	19,615	32	682,122992	0,80	542,288	3,15	172,155
0,00	73,610	5,910	5,58	1169,12	1245,12	658,23	586,89	1,9921	2,4436	10,5864	70,936	18,478	29,064	36,424	18,478	31	660,806649	0,79	523,607	3,18	164,656
								1,9735					29,7242	35,2963	19,2364		667,9121		522,0968	3,1767	164,3949
5,00	67,120	5,910	5,58	1140,22	1224,11	667,13	556,98	2,0471	2,4436	10,8791	72,898	16,223	27,102	40,141	16,223	35	746,072023	0,92	686,013	3,4	201,769
5,00	72,630	5,910	5,58	1146,32	1223,12	666,34	556,78	2,0588	2,4436	10,9413	73,314	15,745	26,686	41,000	15,745	34	724,755679	0,81	590,404	3,33	177,299
5,00	67,340	5,910	5,58	1139,32	1224,45	667,23	557,22	2,0447	2,4436	10,8659	72,809	16,325	27,191	39,961	16,325	33	703,439336	0,91	642,944	3,35	191,923
								2,0502					26,9933	40,3671	16,0979		724,7557		639,7870	3,3600	190,3302
6,00	75,840	5,910	5,58	1154,22	1258,42	658,50	599,92	1,9240	2,4436	10,2245	68,511	21,265	31,489	32,470	21,265	39	831,337397	0,76	635,557	3,5	181,588
6,00	75,630	5,910	5,58	1162,45	1259,61	652,34	607,27	1,9142	2,4436	10,1727	68,164	21,663	31,836	31,954	21,663	40	852,65374	0,77	654,092	3,6	181,692
6,00	75,710	5,910	5,58	1160,86	1258,98	657,12	601,86	1,9288	2,4436	10,2501	68,683	21,067	31,317	32,730	21,067	40	852,65374	0,77	653,239	3,51	186,108
								1,9223					31,5473	32,3846	21,3316		845,5483		647,6296	3,5367	183,1294
7,00	79,710	5,910	5,58	1179,21	1293,23	662,24	630,99	1,8688	2,4436	9,9315	66,548	23,521	33,452	29,688	23,521	45	959,235458	0,71	677,340	4	169,335
7,00	78,300	5,910	5,58	1178,56	1286,44	663,23	623,21	1,8911	2,4436	10,0499	67,341	22,609	32,659	30,773	22,609	43	916,602771	0,73	669,693	3,9	171,716
7,00	78,530	5,910	5,58	1178,42	1289,48	663,64	626,84	1,8799	2,4436	9,9905	66,943	23,066	33,057	30,222	23,066	44	937,919114	0,72	676,122	3,8	177,927
								1,8800					33,0559	30,2278	23,0653		937,9191		674,3852	3,9000	172,9927



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 29. Hasil Pengujian *Marshall* Setelah KAO pada Campuran AAPA 24 Jam



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

HASIL PENGUJIAN MARSHALL SETELAH KAO PADA CAMPURAN AC-WC AAPA 24 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC CALTRANS
Bahan Ikut : Pen 60/70

SAMPel	Tinggi (mm)	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					(%)	(%)	(%)	(%)		(%)	(%)	(%)	Koreksi
0	74,350	5,910	5,58	1164,50	1248,43	655,58	592,85	1,9642	2,4436	10,4385	69,945	19,616	30,055	34,732	19,616	32	682,122992	0,78	535,253	2,1	254,883
0,00	76,720	5,910	5,58	1162,31	1247,33	655,60	591,73	1,9643	2,4436	10,4386	69,946	19,615	30,054	34,733	19,615	31	660,806649	0,75	497,918	2,11	235,980
0,00	75,440	5,910	5,58	1169,12	1245,12	658,23	586,89	1,9921	2,4436	10,5864	70,936	18,478	29,064	36,424	18,478	30	639,490305	0,78	501,520	2,2	227,964
								1,9735					29,7242	35,2963	19,2364		660,8066		511,5638	2,1367	239,6088
5,00	70,800	5,910	5,58	1140,22	1224,11	667,13	556,98	2,0471	2,4436	10,8791	72,898	16,223	27,102	40,141	16,223	32	682,122992	0,85	582,533	2,6	224,051
5,00	78,780	5,910	5,58	1146,32	1223,12	666,34	556,78	2,0588	2,4436	10,9413	73,314	15,745	26,686	41,000	15,745	32	682,122992	0,72	492,237	2,3	214,016
5,00	78,120	5,910	5,58	1139,32	1224,45	667,23	557,22	2,0447	2,4436	10,8659	72,809	16,325	27,191	39,961	16,325	31	660,806649	0,73	485,032	2,4	202,097
								2,0502					26,9933	40,3671	16,0979		675,0175		519,9340	2,4333	213,3880
6,00	76,840	5,910	5,58	1154,22	1258,42	658,50	599,92	1,9240	2,4436	10,2245	68,511	21,265	31,489	32,470	21,265	33	703,439336	0,75	528,986	2,7	195,921
6,00	74,080	5,910	5,58	1162,45	1259,61	652,34	607,27	1,9142	2,4436	10,1727	68,164	21,663	31,836	31,954	21,663	31	660,806649	0,79	521,872	2,8	186,383
6,00	75,120	5,910	5,58	1160,86	1258,98	650,21	608,77	1,9069	2,4436	10,1338	67,903	21,963	32,097	31,573	21,963	32	682,122992	0,77	527,622	2,6	202,932
								1,9150					31,8072	31,9987	21,6302		682,1230		526,1602	2,7000	195,0784
7,00	78,800	5,910	5,58	1179,21	1293,23	662,24	630,99	1,8688	2,4436	9,9315	66,548	23,521	33,452	29,688	23,521	35	746,072023	0,72	538,104	3	179,368
7,00	77,700	5,910	5,58	1178,56	1286,44	663,23	623,21	1,8911	2,4436	10,0499	67,341	22,609	32,659	30,773	22,609	32	682,122992	0,74	505,624	3,2	158,007
7,00	76,340	5,910	5,58	1178,42	1289,48	663,64	625,84	1,8829	2,4436	10,0065	67,050	22,943	32,950	30,369	22,943	34	724,755679	0,76	549,546	2,9	189,499
								1,8810					33,0202	30,2767	23,0243		717,6502		531,0914	3,0333	175,6247



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

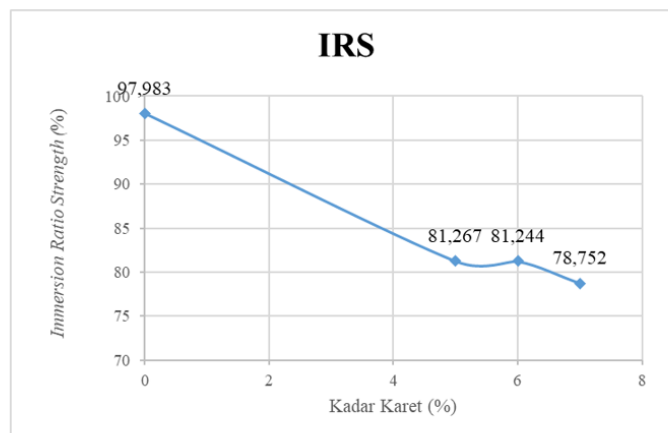


FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN IRS AAPA

Kadar Karet	Stabilitas (kg)		IRS (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0	522,1	511,6	97,98
5	639,8	519,9	81,27
6	647,6	526,2	81,24
7	674,4	531,1	78,75



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

[Signature]

Ir. Bertian Kusnadi, M.Eng. IPM., ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

[Signature]

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

Yogyakarta, 2024

Peneliti

[Signature]

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 31. Hasil Pengujian ITS Pada Campuran AAPA 0,5 Jam



FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

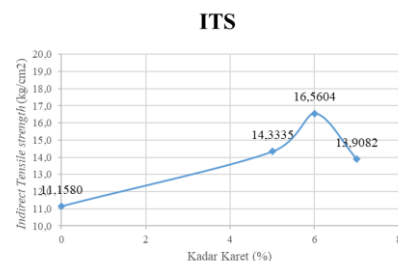
Gedung KH. Moh. Natsir
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (0274) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uii.ac.id

HASIL PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN AC-WC AAPA 0,5 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC AAPA
Bahan Ikut : Pen 60/70

Kadar Karet (%)	Diameter	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata		Angka Koreksi	Diameter	Stabilitas			A0	Indirect Tensile Strength (kg/cm ²)	Rata - Rata
	(cm)	t1	t2	t3	cm	cm		(cm)	Stabilitas	Stabilitas*Kalibrasi	Stabilitas (kg)			
0	10	6,58	6,62	6,6	6,60	6,60	0,94	10	26	516,6	485,566	0,159	11,70	11,1580
	10	6,58	6,6	6,64	6,61	6,61	0,94	10	24	476,8	448,215	0,159	10,79	
	10	6,65	6,73	6,67	6,68	6,68	0,93	10	25	496,7	461,924	0,159	10,99	
5	10	6,58	6,84	6,97	6,80	6,80	0,9	10	34	675,5	607,951	0,159	14,22	14,3335
	10	6,63	6,79	6,95	6,79	6,79	0,9	10	33	655,6	590,070	0,159	13,82	
	10	6,63	6,69	6,71	6,68	6,68	0,93	10	34	675,5	628,216	0,159	14,96	
6	10	6,62	6,58	6,61	6,60	6,60	0,94	10	37	735,1	690,998	0,159	16,64	16,5604
	10	6,59	6,58	6,59	6,59	6,59	0,94	10	36	715,2	672,322	0,159	16,23	
	10	6,48	6,53	6,47	6,49	6,49	0,96	10	36	715,2	686,627	0,159	16,81	
7	10	6,68	6,83	6,71	6,74	6,74	0,91	10	34	675,5	614,706	0,159	14,50	13,9082
	10	6,79	6,91	6,68	6,79	6,79	0,9	10	32	635,8	572,189	0,159	13,39	
	10	6,78	6,92	6,65	6,78	6,78	0,9	10	33	655,6	590,070	0,159	13,83	

Persen Karet (%)	ITS (Kg/cm ²)
0	11,1580
5	14,3335
6	16,5604
7	13,9082



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil
[Signature]
In. Berliand Kusnani, M.Eng. IPM, ASEAN Eng.
NIK : 01 511 0101

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti
[Signature]
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 32. Hasil Pengujian ITS Pada Campuran AAPA 24 Jam



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

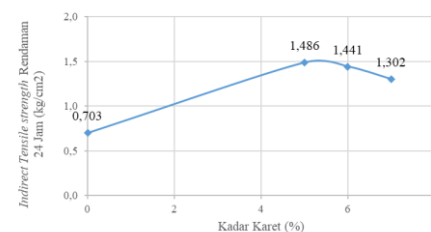
HASIL PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN AC-WC AAPA 24 JAM

Tanggal Pengujian : Juli 2024
Tipe Campuran : AC-WC AAPA
Bahan Ikat : Pen 60/70

Kadar Karet (%)	Diameter	Tebal (mm)			Tebal Rata-rata		Angka Koreksi	Diameter	Stabilitas			A0	Indirect Tensile Strength (kg/cm ²)	Rata - Rata
	(cm)	t1	t2	t3	cm	cm		(cm)	Stabilitas	Stabilitas*Kalibrasi	Stabilitas (kg)			
0	10	6,68	6,83	6,71	6,74	6,74	0,9025	10	2	39,7	35,861	0,159	0,85	0,7025
	10	6,78	6,92	6,65	6,78	6,78	0,8916667	10	1	19,9	17,715	0,159	0,42	
	10	6,78	6,92	6,65	6,78	6,78	0,90875	10	2	39,7	36,110	0,159	0,85	
5	10	6,79	6,84	6,69	6,77	6,77	0,9444078	10	3	59,6	56,290	0,159	1,32	1,4862
	10	7,63	7,45	7,55	7,54	7,54	0,9829527	10	4	79,5	78,116	0,159	1,65	
	10	7,63	7,45	7,55	7,54	7,54	0,89	10	4	79,5	70,729	0,159	1,49	
6	10	7,62	7,65	7,58	7,62	7,62	0,9697902	10	4	79,5	77,070	0,159	1,61	1,4412
	10	7,64	7,55	7,61	7,60	7,60	0,9903367	10	3	59,6	59,027	0,159	1,23	
	10	7,64	7,55	7,61	7,60	7,60	0,89	10	4	79,5	70,729	0,159	1,48	
7	10	6,61	6,57	6,59	6,59	6,59	0,8390701	10	3	59,6	50,011	0,159	1,21	1,3020
	10	6,58	6,62	6,6	6,60	6,60	0,94	10	3	59,6	56,027	0,159	1,35	
	10	6,58	6,62	6,6	6,60	6,60	0,94	10	3	59,6	56,027	0,159	1,35	

Kadar Karet (%)	ITS (24 Jam) (Kg/cm ²)
0	0,7025
5	1,4862
6	1,4412
7	1,3020

ITS 24 Jam



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, Mei 2024
Peneliti
Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 33. Hasil Pengujian TSR AAPA

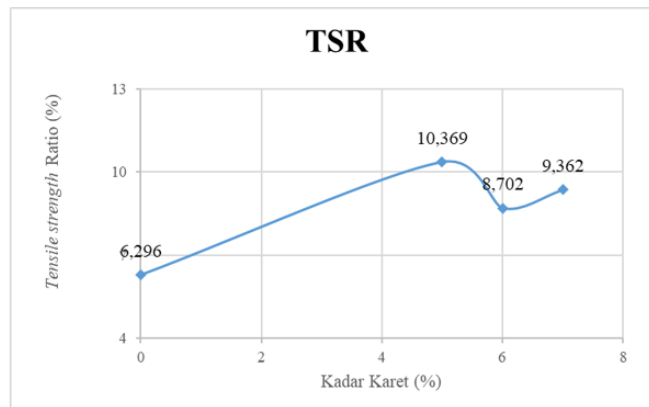


FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN TSR AAPA

Kadar Karet (%)	ITS (kg/cm ²)		TSR (%)
	0,5 Jam	24 Jam	
0	11,2	0,7	6,30
5	14,3	1,5	10,37
6	16,6	1,4	8,70
7	13,9	1,3	9,36



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 34. Hasil Pengujian *Cantabro* AAPA

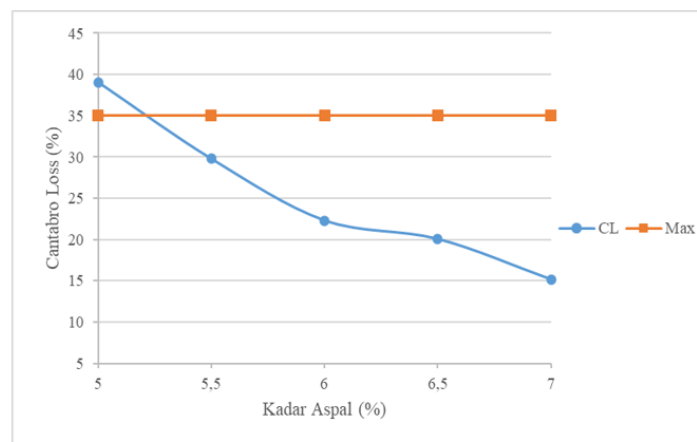
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN CANTABRO AAPA

SAMPEL		Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di	Kehilangan Berat	Rata- Rata Kehilangan Berat
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	A	1158,71	800,62	358,09	30,90	31,13
	B	1162,82	804,77	358,05	30,79	
	C	1173,32	801,35	371,97	31,70	
5	A	1173,28	811,99	361,29	30,79	30,07
	B	1148,81	804,21	344,6	30,00	
	C	1132,73	799,45	333,28	29,42	
6	A	1177,56	906,89	270,67	22,99	21,89
	B	1164,65	909,42	255,23	21,91	
	C	1154,22	914,44	239,78	20,77	
7	A	1132,67	890,62	242,05	21,37	19,01
	B	1142,26	924,84	217,42	19,03	
	C	1143,76	953,56	190,2	16,63	

SAMPEL	KEHILANGAN	Max
0	31,13	35
5	30,07	35
6	21,89	35
7	19,01	35



Disahkan Oleh
Manager Laboratorium Jurusan Teknik Sipil

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

Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

Lampiran 35. Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* AAPA

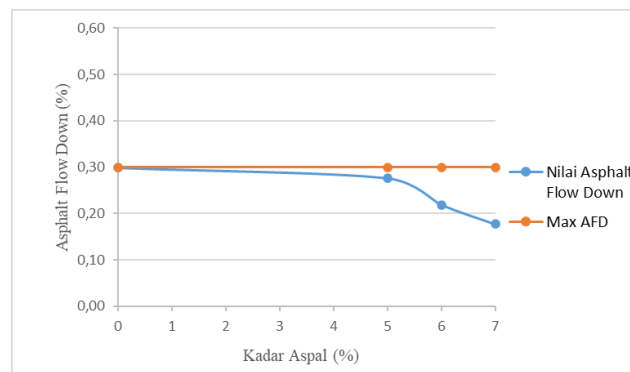
FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

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

HASIL PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN AAPA

Kadar Karet (%)	Berat (gram)			Berat Total Campuran (gram)	Berat Aspal Meleleh (gram)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Rata-Rata Nilai AFD (%)
	Berat Cetakan	Berat Cetakan + Campuran Sebelum Dioven	Berat Cetakan + Campuran Setelah Dioven				
	(m1)	(m2)	(m3)	(m2 - m1)	(m3 - m1)	(AFD)	
0	334,89	1506,68	338,55	1171,79	3,66	0,31	0,30
	334,44	1505,84	338,01	1171,40	3,57	0,30	
	322,12	1505,32	325,41	1183,20	3,29	0,28	
5	333,12	1506,32	336,32	1173,20	3,20	0,27	0,28
	334,34	1512,72	337,66	1178,38	3,32	0,28	
	331,22	1506,11	334,43	1174,89	3,21	0,27	
6	333,44	1511,12	335,98	1177,68	2,54	0,22	0,22
	333,56	1509,32	336,76	1175,76	3,20	0,27	
	332,12	1519,31	334,12	1187,19	2,00	0,17	
7	334,67	1505,55	336,01	1170,88	1,34	0,11	0,18
	335,56	1513,22	338,11	1177,66	2,55	0,22	
	335,44	1501,22	337,77	1165,78	2,33	0,20	

Kadar Karet (%)	Nilai Asphalt Flow Down	Max AFD
0	0,30	0,3
5	0,28	0,3
6	0,22	0,3
7	0,18	0,3



Mengetahui
Kalab. Jalan Raya

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

Yogyakarta, 2024
Peneliti

Julang Angkoso
NIM : 20 914 027

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 4 / 2021-2022
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
5 Agustus 2022	Konsultasi pengajuan topik dan judul proposal
6 Agustus 2022	Konsultasi jurnal penelitian sebelumnya untuk dijadikan referensi pengerjaan proposal sesuai dengan topik yang diberikan
7 Agustus 2022	Menambah topik pada judul dengan menggunakan "penambahan parutan ban karet"
8 Agustus 2022	Menentukan spesifikasi standar yang digunakan dalam penelitian, yaitu menggunakan standar Australia dan standar California dan penentuan jumlah pengujian dan benda uji yang akan dilakukan

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 8 Agustus 2022
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

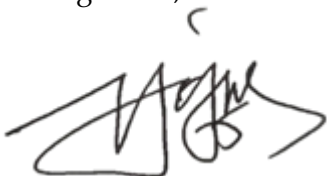
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 5 / 2022-2023
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
21 November 2022	Pengajuan Proposal Tesis versi <i>softcopy</i>
22 November 2022	Pengajuan Proposal Tesis versi <i>hardcopy</i>
1 Desember 2022	Penyerahan kembali Proposal Tesis untuk di revisi bab 1 sampai 4
20 Januari 2023	Pengajuan Proposal Tesis yang sudah di revisi <ul style="list-style-type: none"> - Menambah penelitian yang sudah dilakukan - Menentukan standar yang digunakan (AAPA untuk Australia dan CalTrans untuk California) - Menambah pengujian - Memperbaiki penulisan - Menentukan variasi karet

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 20 Januari 2023
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

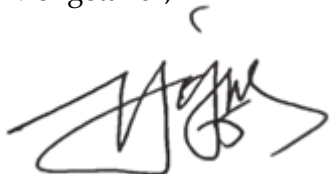
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
NIM : 20914027
Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
Semester/Tahun : 5-6 / 2022-2023
Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
31 Januari 2023	Penyerahan kembali Proposal Tesis untuk di revisi bab 1 sampai 4
20 Maret 2023	Pengajuan Proposal Tesis yang sudah di revisi <ul style="list-style-type: none">- Menambah penelitian yang sudah dilakukan- Memperbaiki metodologi penelitian- Menambah jumlah benda uji dengan variasi yang sudah ditentukan- Memperbaiki penulisan- Memperbaiki sitasi dan daftar pustaka
8 April 2023	Proposal disetujui dan dijadwalkan untuk Seminar Proposal

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 8 April 2023
Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

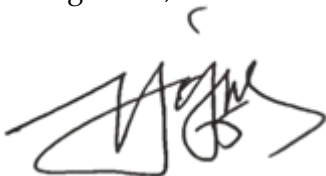
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 6 / 2022-2023
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
10 Mei 2023	Menentukan rumus perhitungan yang digunakan untuk menentukan KAO
30 Mei 2023	Formula KAO disetujui dan diperbolehkan untuk mulai melakukan pengujian Lab
2 Agustus 2023	<p>Selesai melakukan seluruh pengujian untuk mencari KAO menggunakan gradasi AAPA dan Caltrans</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian <i>Marshall</i> - Pengujian <i>Cantabro los</i> - Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> <p>Hasil pengujian disetujui untuk kemudian dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan nilai KAO</p>

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 2 Agustus 2023
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

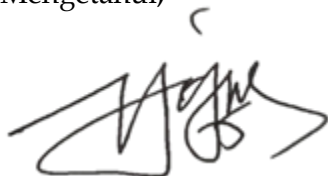
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 7-8 / 2023-2024
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
15 September 2023	Konsultasi perhitungan hasil pengujian yang telah dilakukan untuk mencari KAO
17 Mei 2024	Menyerahkan hasil perhitungan seluruh pengujian untuk mencari KAO menggunakan gradasi AAPA dan disetujui untuk melakukan pengujian selanjutnya setelah mendapatkan KAO
3 Juni 2024	Menyerahkan hasil perhitungan seluruh pengujian untuk mencari KAO menggunakan gradasi Caltrans dan disetujui untuk melakukan pengujian selanjutnya setelah mendapatkan KAO
10 Juni 2024	Menyerahkan rekapitulasi pengujian untuk mencari KAO dengan dua gradasi yang digunakan

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 10 Juni 2024
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 8 / 2023-2024
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
26 Juli 2024	<p>Selesai melakukan seluruh pengujian pasca KAO menggunakan gradasi AAPA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian <i>Marshall</i> - Pengujian <i>Cantabro los</i> - Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> - Pengujian <i>IRS</i> - Pengujian <i>ITS</i> - Pengujian <i>TSR</i> <p>Hasil pengujian disetujui untuk kemudian dilakukan pengolahan data</p>
31 Juli 2024	<p>Menyerahkan hasil perhitungan seluruh pengujian pasca KAO menggunakan gradasi AAPA dan disetujui untuk melakukan penulisan</p>

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 31 Juli 2024
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

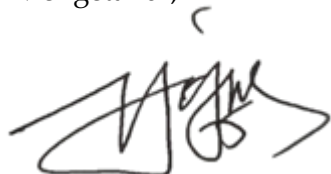
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 8 / 2023-2024
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
1 Agustus 2024	<p>Selesai melakukan seluruh pengujian pasca KAO menggunakan gradasi AAPA</p> <ul style="list-style-type: none"> - Pengujian <i>Marshall</i> - Pengujian <i>Cantabro los</i> - Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> - Pengujian <i>IRS</i> - Pengujian <i>ITS</i> - Pengujian <i>TSR</i> <p>Hasil pengujian disetujui untuk kemudian dilakukan pengolahan data</p>
6 Agustus 2024	<p>Menyerahkan hasil perhitungan seluruh pengujian pasca KAO menggunakan gradasi AAPA dan disetujui untuk melakukan penulisan</p>

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 6 Agustus 2024
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

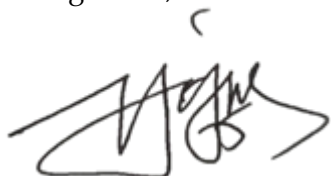
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 8 / 2023-2024
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
19 Agustus 2024	Pengajuan naskah Tesis versi <i>softcopy</i>
20 Agustus 2024	Pengajuan naskah Tesis versi <i>hardcopy</i>
21 Agustus 2024	Penyerahan kembali naskah Tesis untuk di revisi bab 5 sampai Daftar Pustaka <ul style="list-style-type: none"> - Pembahasan - Penjelasan terkait hasil pengujian - Keterkaitan hasil dengan parameter lainnya - Studi pembandingan dengan penelitian terdahulu - Konsistensi penulisan - Kerapian penulisan - Kesesuaian penulisan dengan pedoman yang ada

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 21 Agustus 2024
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST

LEMBAR KONSULTASI TESIS

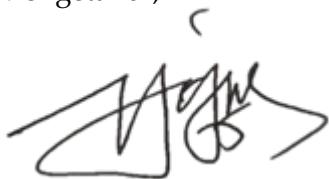
Nama Mahasiswa : JULANG ANGKOSO
 NIM : 20914027
 Konsentrasi : Perencanaan dan Teknik Transportasi
 Semester/Tahun : 8 / 2023-2024
 Topik Tesis : PERBANDINGAN KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS
 MENGGUNAKAN SPESIFIKASI AUSTRALIA (AAPA) DAN
 CALIFORNIA (CALTRANS) DENGAN SERBUK PARUTAN
 LIMBAH BAN KARET

Hasil konsultasi tesis dapat kami laporkan sebagai berikut :

TANGGAL KONSULTASI	CATATAN DOSEN PEMBIMBING
22 Agustus 2024	Revisi tambahan yang perlu diperbaiki <ul style="list-style-type: none"> - Penggunaan dua bahasa pada judul - Perbaikan pada halaman kata pengantar - Penambahan halaman persembahan apabila dibutuhkan - Seluruh penulisan naskah menggunakan font <i>Times New Roman</i> baik pada isi, tabel, maupun gambar - Kerapian daftar isi, gambar, dan tabel - Kelengkapan pada penulisan Abstrak - Format gambar - Penyesuaian urutan topik pada Tujuan, Pembahasan, dan Kesimpulan
26 Agustus 2024	Naskah Tesis disetujui dan dijadwalkan untuk Seminar Hasil

*) Form ini bisa dicopy

Mengetahui,



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

Yogyakarta, 26 Agustus 2024
 Mahasiswa,



Julang Angkoso, ST