

TESIS

**PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PADA KARAKTERISTIK ASPAL
PORUS DENGAN BAHAN-IKAT ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN
ASPAL KARET PG70**

*(THE EFFECT OF SEA WATER SOAKING ON THE CHARACTERISTICS
OF PORUS ASPHALT WITH BINDING ASPHALT PERTAMINA PEN 60/70
AND RUBBER ASPHALT PG70)*



Disusun Oleh:

RAHMAWATI

21914033

**KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI
PROGRAM PASCA SARJANA MAGISTER TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
YOGYAKARTA**

2023

HALAMAN PERSETUJUAN

TESIS

**PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PADA
KARAKTERISTIK ASPAL PORUS DENGAN BAHAN-IKAT
ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN ASPAL KARET PG70**

***THE EFFECT OF SEA WATER SOAKING ON THE
CHARACTERISTICS OF PORUS ASPHALT WITH BINDING
ASPHALT PERTAMINA PEN 60/70 AND RUBBER ASPHALT
PG70***



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

Tanggal:

HALAMAN PENGESAHAN

TESIS

**PENGARUH RENDAMAN AIR LAUT PADA
KARAKTERISTIK ASPAL PORUS DENGAN BAHAN-IKAT
ASPAL PERTAMINA PEN 60/70 DAN ASPAL KARET PG70**

disusun oleh

RAHMAWATI
21914033

Telah diuji oleh Dewan Penguji
pada tanggal 18 Oktober 2023
dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

(Susunan Dewan Penguji)

Pembimbing

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

Penguji I

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

Penguji II

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

Yogyakarta, 8 NOV 2023

Universitas Islam Indonesia
Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Keua Program,



De. IE. Sri Amini Yuni Astuti, M.T.

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa

1. Karya tulis ini adalah asli dan belum pernah diajukan untuk mendapatkan gelar akademik (magister), baik di Universitas Islam Indonesia maupun di perguruan tinggi lainnya.
2. Karya tulis ini merupakan gagasan, rumusan dan penelitian saya sendiri tanpa bantuan pihak lain kecuali arahan Dosen Pembimbing.
3. Dalam karya ini tidak terdapat karya atau pendapat orang lain, kecuali secara tertulis dan 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 sesungguhnya dan apabila kemudian terdapat penyimpangan dan ketidakbenaran dalam pernyataan ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dengan pencabutan gelar yang telah diperoleh, serta sanksi lainnya sesuai dengan norma yang berlaku.

Yogyakarta, Oktober 2023

buat pernyataan



RAHMAWATI
NIM: 21914033

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayah-Nya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Karakteristik Aspal Porus Dengan Bahan-Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Karet PG70. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

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

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan serta dukungan demi terselesaikannya penyusunan Tesis,
2. Bapak Prof. Ir. M. Teguh, MSCE., Ph. D., Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA., Ibu Dr. Eng. Faizul Chasanah, S.T., M.Sc. selaku Dosen Penguji, yang telah memberikan saran, pengarahan, serta dukungan hingga akhir.
3. Bapak Prayogo Afang Prayitno, S. T., M. Sc. selaku Kepala Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
4. Bapak Muhamad Abdul Hadi, S.T., M.T., Bapak Sukamto H.M., S.T. dan Bapak Pranoto, S.T. selaku Kepala Laboratorium dan laboran Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia,
5. Bapak Syarifuddin dan Ibu Berlian selaku orang tua penulis yang senantiasa memberikan do'a dan dukungan yang tiada terputus dalam menyelesaikan Tesis,
6. Sudirman, Afdal Syarif, dan Hapsari Ayu Wijayanti selaku kakak dan adik penulis yang selalu memberikan dukungan dalam menyelesaikan Tesis.
7. Muhammad Kennyzyra Bintang S.W.P., S.T., Indriasti Yustika Rahman, S.T., Fivin Arfini Woretma, S.T., Mentari, S.T., M.T., Iqbal, S.T., Giri Widhiyatmoko, S.T. selaku rekan dan senior seperjuangan penulis yang selalu

memberikan bantuan, arahan, dukungan, dan semangat dalam menyelesaikan Tesis,

8. Semua pihak terlibat yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu.

Akhirnya penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat dan menambah ilmu pengetahuan bagi pihak yang membacanya.

Yogyakarta, Oktober 2023

Penulis,

RAHMAWATI

21914033

DAFTAR ISI

HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI.....	vii
DAFTAR TABEL.....	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiv
ABSTRAK.....	xvii
<i>ABSTRACT</i>	xviii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	3
1.3 Tujuan Penelitian	4
1.4 Batasan Penelitian.....	4
1.5 Manfaat Penelitian	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Karakteristik Campuran Aspal Porus.....	6
2.2 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Karakteristik Perkerasan.....	7
2.3 Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Daya Tahan Lapis Perkerasan.....	8
2.4. Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu.....	9
BAB III LANDASAN TEORI.....	13
3.1. Bahan Penyusun Aspal Porus	13
3.1.1 Agregat	13
3.1.2 Aspal.....	16
3.2. Air Laut.....	18
3.3. Pengujian <i>Marshall</i>	18
3.3.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)	18
3.3.2 Kelelehan (<i>Flow</i>).....	19
3.3.3 <i>Marshall Quotient (MQ)</i>	19

3.3.4	Pengujian <i>Void in The Total Mix (VIM)</i>	19
3.3.5	Pengujian <i>Void In Mineral Aggregate (VMA)</i>	20
3.3.6	Pengujian <i>Void Filled with Asphalt (VFWA)</i>	21
3.3.7	Pengujian Kepadatan (<i>Density</i>)	21
3.4.	Permeabilitas	22
3.5.	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	23
3.6.	<i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	23
3.7.	Pengujian Durabilitas	24
3.7.	<i>Stiffness</i> Modulus	26
3.8.	Analisis Program <i>KENPAVE</i>	27
3.8.1.	Program <i>KENLAYER</i>	28
3.8.2.	Analisis Kerusakan	30
BAB IV METODE PENELITIAN		33
4.1.	Metode Penelitian	33
4.2.	Lokasi Penelitian	33
4.3.	Metode Pengambilan Data	33
4.4.	Metode Pengambilan Sampel	34
4.5.	Langkah-Langkah Penelitian	34
4.5.1.	Pengujian Bahan	35
4.5.2.	Peralatan Penelitian	36
4.5.3.	Perencanaan Campuran	37
4.5.4.	Jumlah Benda Uji	41
4.5.5.	Pengujian <i>Marshall</i>	42
4.5.6.	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	43
4.5.7.	Pengujian Permeabilitas	44
4.5.8.	Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	44
4.5.9.	Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	44
4.5.10.	Penentuan Kadar Aspal Optimum (<i>KAO</i>)	45
4.6.	Pengumpulan Data Ruas Jalan	46
4.7.	Analisis Data	47
4.7.	Bagan Alir Penelitian	50

BAB V HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN	51
5.1. Hasil Penelitian	51
5.1.1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Bahan Ikat Aspal	51
5.1.2. Hasil Pengujian Air Laut	52
5.1.3. Hasil Pengujian <i>Marshall Test</i> Menentukan KAO.....	53
5.1.4. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus <i>KAO</i>	56
5.1.5. Hasil Analisis Statistik Anova.....	59
5.2 Analisis Hasil Penelitian	60
5.3.1. Karakteristik Agregat dan Bahan Ikat Aspal.....	60
5.3.2. Karakteristik Air Laut.....	64
5.3.3. Karakteristik untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum.....	65
5.3.4. Karakteristik Permeabilitas pada Campuran Aspal Porus.....	77
5.3.5. Karakteristik Aspal pada KAO dengan Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut	78
5.3.6. Karakteristik <i>SBit dan SMix</i>	86
5.3.7. Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70	88
5.3.8. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Keseluruhan Karakteristik pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70	91
BAB VI Kesimpulan dan Saran	94
6.1. Kesimpulan	94
6.2. Saran	95
DAFTAR PUSTAKA	97
LAMPIRAN.....	101

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu	10
Tabel 3.1 Spesifikasi Agregat Kasar	14
Tabel 3.2 Spesifikasi Agregat Halus	15
Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus	16
Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras	17
Tabel 3.5 Spesifikasi Aspal Porus.....	17
Tabel 3.6 Satuan <i>English</i> dan <i>SI</i>	29
Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus	38
Tabel 4.2 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 4,5%	39
Tabel 4.3 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5%	39
Tabel 4.4 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5,5%	40
Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6%	40
Tabel 4.6 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6,5%	41
Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum.....	42
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji Kondisi KAO pada Variasi Rendaman Air Laut....	42
Tabel 4.9 Penentuan KAO Metode <i>Australian Pavement Association</i>	45
Tabel 4.10 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Semarang-Demak	46
Tabel 4.11 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana.....	47
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar	51
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus	51
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	52
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Karet PG70	52
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Air Laut	52
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70	53
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO Aspal Porus Bahan Ikat Karet PG70.....	53
Tabel 5.8 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 untuk Menentukan KAO	54

Tabel 5.9 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 untuk Menentukan KAO.....	54
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik <i>VITM</i> , <i>CL</i> , dan <i>AFD</i> untuk Menentukan KAO.....	56
Tabel 5.11 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dengan dan tanpa Variasi Rendaman Air Laut	57
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Karet PG70 dengan dan tanpa Variasi Rendaman Air Laut	57
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>IRS</i> Variasi Rendaman Air Laut	57
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>ITS</i> Variasi Rendaman Air Laut	57
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>TSR</i> Variasi Rendaman Air Laut	58
Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>CL</i> Variasi Rendaman Air Laut	58
Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> pada KAO.....	58
Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas	58
Tabel 5.19 Hasil Analisis Perhitungan <i>Stiffness Modulus</i>	58
Tabel 5.20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif.....	59
Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik Anova untuk Sifat Fisik Aspal Karet PG70 terhadap Aspal Pen 60/70.....	59
Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik Anova untuk Pengaruh Variasi Bahan Ikat Terhadap <i>Asphalt Flow Down</i> dan Permeabilitas	60
Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik <i>Two Way</i> Anova untuk Pengaruh Variasi Rendaman Air Laut Terhadap Stabilitas <i>Marshall</i> , <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> , dan <i>Cantabro Loss</i>	60
Tabel 5.24 Rangkuman Penelitian	92

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	25
Gambar 3.2 Tampilan Program <i>KENPAVE</i>	28
Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus	38
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian	50
Gambar 5.1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VITM</i>	54
Gambar 5.2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>CL</i>	55
Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>AFD</i>	55
Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VITM</i>	65
Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VFWA</i>	67
Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>VMA</i>	68
Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Density</i>	69
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas	71
Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>Flow</i>	72
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai <i>MQ</i>	74
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Cantabro Loss</i>	75
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Asphalt Flow Down</i>	76
Gambar 5.13 Grafik Hubungan Permeabilitas pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70	77
Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Porus.....	79
Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>Flow</i> pada Campuran Aspal Porus.....	80
Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>MQ</i> pada Campuran Aspal Porus.....	81
Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>IRS</i> pada Campuran Aspal Porus.....	82
Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>ITS</i> pada Campuran Aspal Porus.....	83
Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>TSR</i> pada Campuran Aspal Porus.....	84

Gambar 5.20 Grafik Hubungan antara Variasi Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai <i>Cantabro</i> pada Campuran Aspal Porus	85
Gambar 5.21 Perbandingan Nilai <i>Stiffness Modulus of Bitumen</i> pada Variasi Bahan Ikat	87
Gambar 5.22 Perbandingan Nilai <i>Stiffness Modulus of Mixture</i> pada Variasi Bahan Ikat	88
Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70.....	89
Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Prediksi Umur Pelayanan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70.....	90

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70.....	102
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Karet PG70.....	103
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70	104
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Karet PG70.....	105
Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70.....	106
Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Karet PG70.....	107
Lampiran 7 Pemeriksaan Titik Nyala & Bakar Aspal Pen 60/70	108
Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Nyala & Bakar Aspal Karet PG70	109
Lampiran 9 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam <i>CCLA/TCE</i>	110
Lampiran 10 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Karet PG70 dalam <i>CCLA/TCE</i>	111
Lampiran 11 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70.....	112
Lampiran 12 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Karet PG70.....	113
Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	114
Lampiran 14 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus.....	115
Lampiran 15 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	116
Lampiran 16 Pengujian <i>Marshall</i> dalam Mencari KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70.....	117
Lampiran 17 Pengujian <i>Marshall</i> dalam Mencari KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Karet PG70.....	118
Lampiran 18 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70	119
Lampiran 19 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Karet PG70.....	120
Lampiran 20 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70.....	121
Lampiran 21 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Karet PG70.....	122
Lampiran 22 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut.....	123
Lampiran 23 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> Pada Aspal Porus PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut	124

Lampiran 24 Hasil Pengujian <i>Immersion</i> Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut.....	125
Lampiran 25 Hasil Pengujian <i>Immersion</i> Pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut	126
Lampiran 26 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut.....	127
Lampiran 27 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength</i> Pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut	128
Lampiran 28 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i> pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut.....	129
Lampiran 29 Hasil Pengujian <i>Tensile Strength Ratio</i> pada Aspal Porus PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut	130
Lampiran 30 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut	131
Lampiran 31 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut	132
Lampiran 32 Hasil Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porus Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70	133
Lampiran 33 Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porus Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70	134
Lampiran 34 Hasil Pengujian Air Laut	135
Lampiran 35 Analisis <i>Anova</i> Karakteristik Aspal.....	136
Lampiran 36 Analisis <i>Anova</i> Permeabilitas Aspal.....	137
Lampiran 37 Analisis <i>Two Way Anova</i> Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut.....	138
Lampiran 38 Analisis <i>Two Way Anova</i> Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut (Lan)	139
Lampiran 39 Analisis <i>Two Way Anova</i> Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut (Lan)	140
Lampiran 40 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal	141
Lampiran 41 Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal	142
Lampiran 42 Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal	143

Lampiran 43 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal	144
Lampiran 44 Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam <i>TCE</i>	145
Lampiran 45 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal.....	146
Lampiran 46 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	147
Lampiran 47 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	148
Lampiran 48 Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal.....	149
Lampiran 49 Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat	150
Lampiran 50 Gambar Alat Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	151
Lampiran 51 Gambar Alat Analisis Saringan	152
Lampiran 52 Gambar Alat Pembuatan Sampel.....	153
Lampiran 53 Gambar Alat Pengujian <i>Marshall</i> dan <i>Immersion</i>	154
Lampiran 54 Gambar Alat Pengujian <i>ITS</i>	155
Lampiran 55 Gambar Alat Pengujian Permeabilitas.....	156

ABSTRAK

Beberapa ruas jalan di Indonesia yang berhubungan dengan pantai memiliki permasalahan pada air rob yang menyebabkan perkerasan banyak mengalami kerusakan, baik tergolong dalam rusak ringan maupun berat. Aspal porus adalah campuran beraspal dengan persentase agregat kasar yang lebih banyak dan agregat halus yang sedikit, sehingga menghasikan rongga yang besar agar bisa mengalirkan air. Aspal karet dengan bahan aditif berbasis karet yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal mencegah keretakan diakibatkan suhu, perubahan bentuk akibat beban berat, dan lebih awet terhadap oksidasi. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui perbandingan kinerja perkerasan porus berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 akibat rendaman air laut.

Tahapan penelitian diawali dengan pengujian fisik bahan agregat dan aspal. Tahap kedua dilakukan penentuan nilai kadar aspal optimum pada variasi sebesar 4,5%, 5%, 5,5%, 6% dan 6,5%. Tahap berikutnya simulasi perendaman air laut dengan durasi 0, 3, 6 dan 24 jam untuk pengujian *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Indirect Strength Ratio*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Cantabro Loss*. Kemudian pengujian permeabilitas dan *Asphalt Flow down* tanpa rendaman. Tahap terakhir melakukan analisis hasil penelitian berupa *Stiffness modulus* dan prediksi umur pelayanan menggunakan *software KENPAVE*.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa secara umum campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal Karet PG70 memiliki kinerja *Marshall* yang lebih baik dalam hal stabilitas, *Marshall Quotient*, *VITM*, *VFWA* dan *density*. Hal tersebut membuktikan bahwa aspal Karet PG70 memberikan kinerja mekanis yang lebih baik dibanding aspal Pen 60/70 sebagai bahan ikat. Aspal porus dengan bahan ikat aspal Karet PG70 juga memiliki keunggulan berupa nilai *IRS*, *ITS*, *TSR* yang lebih baik terhadap pengaruh durasi rendaman air laut, ketahanan campuran yang lebih baik ditunjukkan dengan nilai *stiffness modulus* tinggi dan *CL* lebih rendah, permeabilitas menunjukkan drainase mudah meloloskan air, serta prediksi masa pelayanan perkerasan dibanding aspal porus dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 walaupun tidak terlalu signifikan.

Kata Kunci: air laut, aspal karet, *marshall*, permeabilitas, dan porus

ABSTRACT

Several road sections in Indonesia that are connected to the coast have problems with tidal water which causes a lot of damage to the pavement, both light and heavy damage. Porous asphalt is an asphalt mixture with a greater percentage of coarse aggregate and less fine aggregate, thus producing large voids through which water can flow. Rubber asphalt with rubber-based additives which aims to improve the physical properties of asphalt, preventing cracking due to temperature, changes in shape due to heavy loads, and is more durable against oxidation. This research aims to determine the comparison of the performance of porous pavement made from Pen 60/70 asphalt binder and Rubber PG70 asphalt due to seawater immersion.

The research stage begins with physical testing of aggregate and asphalt materials. The second stage is to determine the optimum asphalt content value at a variation of 4.5%, 5%, 5.5%, 6% and 6.5%. The next stage is seawater immersion simulation with a duration of 0, 3, 6 and 24 hours for Marshall testing, Immersion Test, Indirect Tensile Strength, Indirect Strength Ratio, Tensile Strength Ratio and Cantabro Loss. Then permeability testing and Asphalt Flow down without soaking. The final stage is to analyze the research results in the form of Stiffness modulus and service life prediction using KENPAVE software.

The research results show that in general the mixture of porous asphalt with Rubber PG70 asphalt binder has better Marshall performance in terms of stability, Marshall Quotient, VITM, VFWA and density. This proves that Rubber PG70 asphalt provides better mechanical performance than Pen 60/70 asphalt as a binding material. Porous asphalt with Keret PG70 asphalt binder also has advantages in the form of better IRS, ITS, TSR values on the effect of duration of seawater immersion, better mixture resistance as indicated by higher modulus stiffness and lower CL values, permeability indicating drainage that easily allows water to pass through, as well as the predicted service life of the pavement compared to porous asphalt with Pen 60/70 asphalt binding material, although it is not very significant.

Keywords: marshall, rubber asphalt, permeability, porous, and seawater

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan merupakan sarana yang ditujukan untuk transportasi darat, termasuk bagian jalan, berbagai bangunan serta perlengkapan lalu lintas, berada di atas permukaan tanah serta bawah permukaan tanah dan atau air, terkecuali untuk jalan kereta api, jalan lori serta jalan kabel (Pemerintah, 2006). Sarana transportasi salah satu bagian penting penunjang kegiatan di berbagai bidang pada suatu negara terkhusus pada era globalisasi saat ini. Kerusakan jalan menunjukkan suatu kondisi dimana struktural dan fungsional jalan sudah tidak mampu memberikan pelayanan optimal terhadap lalu lintas di jalan tersebut. Banyak hal yang menyebabkan kerusakan pada konstruksi jalan seperti beban lalu lintas berlebih, genangan air, dan konstruksi kurang memadai. Perkerasan dengan campuran tahan terhadap cuaca panas, tahan terhadap rembesan air hujan, aman bagi lingkungan, dan memiliki sifat stabilitas dan durabilitas tinggi diperlukan untuk mengatasi permasalahan tersebut.

Beberapa ruas jalan di Indonesia yang terletak di daerah yang berhubungan dengan pantai memiliki permasalahan dengan genangan air laut yang disebabkan oleh cuaca ekstrim sehingga mengakibatkan terjadinya pasang surut atau dengan istilah air rob, naiknya permukaan air laut yang menggenangi konstruksi jalan dengan perkerasan aspal. Kondisi permukaan lentur di daerah genangan rob dengan durasi lebih dari 3 jam banyak mengalami kerusakan, baik tergolong dalam rusak ringan maupun rusak berat. Hal ini karena air rob menjadikan daya lekat aspal terhadap agregat menjadi lemah sehingga perubahan bentuk atau deformasi pada perkerasan jalan tersebut terjadi. Berkurangnya daya dukung lapisan perkerasan akibat lemahnya ikatan aspal dan agregat karena air rob, maka pada saat dilewati beban lalu lintas di atas permukaan jalan tersebut deformasi yang terjadi akan semakin parah. Air rob berasal dari laut yang memiliki kandungan tingkat keasaman (pH), kadar sulfat (SO_4^{2-}), kadar klorida dan tingkat alkalinity tinggi dapat melemahkan kemampuan lekatan aspal dalam mempertahankan ikatan antara agregat baik kohesi maupun adhesinya (Prabowo, 2003). Kandungan garam merupakan salah satu perbedaan antara air tawar dengan air laut, rata-rata di laut negara Indonesia terdapat 3,5% kandungan garam per 1 liter air laut. Selain faktor

air, faktor suhu juga mempengaruhi perkerasan jalan beraspal panas. Rata-rata suhu permukaan air laut di Indonesia berkisar antara 26°C-30°C (Muaya dkk., 2015).

Aspal porus adalah campuran beraspal dengan persentase agregat kasar yang lebih banyak dan agregat halus yang sedikit, sehingga menghasikan rongga yang besar agar bisa mengalirkan air (Noris, 2017). Aspal porus merupakan campuran aspal yang digunakan sebagai salah satu teknologi perkerasan lentur yang dapat meminimalisir kerusakan pada perkerasan jalan khususnya disebabkan oleh air, hal ini dikarenakan aspal porus didesain memiliki tingkat porositas yang tinggi, sehingga dapat meloloskan air kedalam lapisan secara vertikal dan horizontal melalui pori-pori sebagai sistem drainase. Perkerasan aspal porus memiliki fungsi khusus yaitu dengan memanfaatkan pori yang ada dalam campuran, dapat mengalirkan air di permukaan jalan ke lapisan bawah, sehingga tidak terjadi genangan air di permukaan jalan. Kandungan rongga atau pori dalam jumlah yang besar dapat menghasilkan kondisi permukaan yang kasar atau kekesatan permukaan permukaan jalan yang lebih tinggi (Prastanto dkk., 2015). Terkait dengan kinerja campuran aspal porus dalam hal kinerja *marshall*, khususnya stabilitas campuran aspal porus hanya dapat menghasilkan sekitar 480 kg (Djakfar dkk., 2016), artinya, dengan tingkat stabilitas yang berada pada tataran 500 kg campuran aspal porus termasuk kedalam jenis campuran yang bersifat fungsional atau non struktural yang digunakan sebagai lapisan atas (*surface*).

Aspal modifikasi adalah aspal yang dibuat dengan cara mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah dan bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal dengan memiliki tujuan mencegah keretakan di waktu musim dingin, mencegah perubahan bentuk aspal secara permanen pada beban berat di waktu musim panas, dan sangat diharapkan akan lebih awet terhadap oksidasi terik matahari (Utami dkk., 2021). Aspal karet merupakan campuran aspal dengan bahan aditif berbasis karet yang ditambahkan pada dosis tertentu. Secara umum, aspal karet termasuk dalam golongan aspal modifikasi polimer (Prastanto, 2019). Aspal karet PG70 merupakan produk aspal modifikasi polimer dengan formula yang memenuhi perkembangan kebutuhan transportasi yang memiliki tujuan untuk meningkatkan kinerja pada campuran beraspal. Penggunaan aspal modifikasi ini dapat meningkatkan kinerja dan ketahanan pada lapisan perkerasan yang rentan

terhadap kerusakan. Keunggulan yang dimiliki aspal karet dibanding dengan aspal murni adalah dalam hal ketahanan terhadap alur/cekungan (deformasi) pada arah memanjang di permukaan jalan sekitarnya, pengelupasan lapisan aspal, serta tahan terhadap retakan jalan akibat perubahan suhu lingkungan (Risidian, 2021).

Berdasarkan uraian di atas, pada penelitian ini akan meneliti mengenai perbandingan karakteristik campuran antara aspal porus dengan bahan ikat aspal pen 60/70 dengan campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal karet PG70 dan rendaman berupa air laut. Penelitian dilakukan untuk menentukan pengaruh rendaman air laut terhadap keawetan campuran aspal porus dengan bahan ikat yang berbeda yang digunakan.

1.2 Rumusan Masalah

Penelitian ini memiliki suatu rumusan masalah yang digunakan sebagai pertanyaan penelitian (*research question*). Adapun rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana perbedaan jenis campuran aspal porus terhadap karakteristik *Marshall* pada aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70?
2. Bagaimana pengaruh bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70 terhadap permeabilitas campuran aspal porus.
3. Bagaimana pengaruh rendaman air laut pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 terhadap *IRS (Indeks or Retained Sterngth)*?
4. Bagaimana pengaruh rendaman air laut pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)*?
5. Bagaimana pengaruh rendaman air laut pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 terhadap terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)*?
6. Bagaimana pengaruh rendaman air laut pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 terhadap *Cantabro Loss*?

7. Bagaimana kekuatan campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina penetrasi 60/70 dan campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 apabila diterapkan pada ruas jalan?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan masalah yang telah dirumuskan, tujuan penelitian tesis ini adalah sebagai berikut.

1. Membandingkan kinerja *Marshall* campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70.
2. Mengukur permeabilitas campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70.
3. Mengkaji pengaruh rendaman air laut pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70 terhadap *IRS (Indeks or Retained Sterngth)*.
4. Mengukur pengaruh rendaman air laut terhadap *ITS (Indirect Tensile Strength)* campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70.
5. Menganalisis pengaruh rendaman air laut terhadap *TSR (Tensile Strength Ratio)* campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70.
6. Mengukur pengaruh rendaman air laut terhadap *Cantabro Loss* campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina pen 60/70 dan aspal karet PG70 terhadap.
7. Memprediksi kekuatan campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal pertamina penetrasi 60/70 dan aspal karet PG70 apabila diterapkan pada ruas jalan.

1.4 Batasan Penelitian

Agar penelitian tesis ini berjalan secara sistematis, maka perlu diberikan batasan-batasan, sebagai berikut.

1. Penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

2. Penelitian dilakukan di Laboratorium Transportasi, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.
3. Penelitian dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.
4. Campuran yang digunakan adalah perkerasan aspal porus.
5. Bahan ikat yang digunakan adalah aspal pertamina pen 60/70 diperoleh dari PT Pertamina dan aspal karet PG70 diperoleh dari PT Bintang Djaja dengan kadar 4,5%, 5%, 5,5%, 6%, dan 6,5% dari total berat campuran.
6. Material yang digunakan sebagai agregat kasar, agregat halus dan *filler* berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
7. Rendaman yang digunakan adalah air laut dari Pantai Utara Kaligawe, Semarang selama 0, 3, 6, dan 24 jam.
8. Spesifikasi aspal porus sesuai standar *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* 2004 dan Bina Marga tahun 2018.
9. Analisis mekanistik menggunakan program *KENPAVE*.

1.5 Manfaat Penelitian

Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai teknologi perkerasan lentur, khususnya pada campuran Aspal Porus.
2. Mengembangkan serta meningkatkan kualitas teknologi campuran Aspal Porus.
3. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai perbandingan penggunaan aspal polimer terhadap kekuatan dan keawetan campuran aspal porus.
4. Menambah variasi aspal modifikasi pada campuran aspal porus.
5. Sebagai bahan referensi atau pertimbangan dalam penanganan masalah jalan di daerah pesisir pantai.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Karakteristik Campuran Aspal Porus

Aspal Porus adalah aspal yang menyerap dan mengalirkan air melalui rongga atau pori-pori aspal yang dirancang, sehingga air tidak akan naik ke lapisan atas, setelah itu menyusup ke dalam hingga ke lapisan *geotextile* yang kemudian mengalirkan air untuk dibuang (Fauziah dan Wijayati, 2016). Aspal Porus merupakan campuran bergradasi terbuka (*Open Graded*) dengan persentase agregat kasar yang besar, persentase agregat halus yang kecil, sehingga menyediakan rongga udara yang besar. Aspal Porus merupakan inovasi untuk mengurangi genangan air di atas permukaan jalan. Aspal Porus memiliki nilai stabilitas yang rendah namun memiliki nilai permeabilitas yang tinggi yang disebabkan oleh banyaknya rongga dalam campuran lapisan perkerasan sebagai sistem drainase (Tesalonika, 2020). Aspal Porus adalah perkerasan yang direncanakan dengan menggunakan bahan material yang mampu merembeskan aliran air ke dalam lapisan tanah dibawahnya. Aspal porus cocok digunakan untuk jalan dengan volume rendah, tempat parkir, jalur sepeda, trotoar, taman bermain, lapangan tenis, dan jalan lain yang menahan beban yang tidak terlalu besar. Lapis permukaan jalan yang dapat meloloskan air ke dalam lapisan atas (*wearing coarse*) secara vertikal dan horizontal melalui pori-pori udara kapiler dengan lapisan perkerasan sebagai sistem drainase (Djumari dan Sarwono, 2009).

Campuran aspal porus yang digunakan sebagai bahan penelitian terdahulu sangat banyak dengan variasi pada beberapa penelitian. Penelitian oleh Cheng dkk. (2019) mengenai *Performance of Warm Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions*. Pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Permeability, Marshall Test, Low-Temperature Crack Resistance, Rutting Test* dan *Cantabro Test*. Hasil penelitian diperoleh bahwa campuran aspal porus mudah mengalami retak dan disintegrasi pada suhu dingin. Oleh karena itu penambahan aditif berupa *Crumb-Rubber-SBS dan Steel slag* digunakan sebagai agregat. Kesimpulan dari penelitian tersebut adalah penambahan aditif dapat meningkatkan ketahanan retak, mengurangi

sensitivitas oleh air, meningkatkan permeabilitas, dan meningkatkan modulus. Penelitian Shukry dkk. (2016), dengan judul *Experimental Evaluation of Anti-Stripping Additives on Porous Asphalt Mixtures*. Penelitian membandingkan penggunaan bahan tambah *anti-stripping diatomit*, campuran kapur dan semen pada campuran aspal porus. *Pengujian Scanning Electron Microscopy (SEM) Test dan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX)*. Hasil dari penelitian dapat diketahui bahwa penggunaan kapur pada campuran aspal porus menghasilkan permeabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan aus dibanding campuran yang menggunakan semen dan diotomit. Namun disisi lain peningkatan modulus elastitas diperoleh dari penggunaan *anti-stripping*.

2.2 Pengaruh Bahan Ikat Terhadap Karakteristik Perkerasan

Karakteristik suatu perkerasan sebagian besar dipengaruhi oleh bahan ikat, banyak penelitian yang berusaha untuk menemukan jenis bahan ikat yang mampu meningkatkan kemampuan perkerasan. Penelitian oleh Nurcahya (2015), mengenai analisis karakteristik pada campuran aspal porus dengan menggunakan campuran pen 60/70 dan aspal modifikasi. Menurut penelitiannya, penggunaan aspal modifikasi *elvaloy* akan memberikan pengaruh terhadap kepadatan campuran dan stabilitas *Marshall*. Hasil pengujian dapat diketahui bahwa penambahan kadar aspal modifikasi *elvaloy* sebesar 2,5% dapat meningkatkan nilai stabilitas pada campuran, namun sedikit mengalami penurunan pada kepadatan. Penelitian lain yang dilakukan oleh Hafidz dan Fauziah (2020), mengenai efektifitas aspal porus dengan penggunaan aspal modifikasi penambahan bahan anti *stripping* berupa cairan *anti stripping Wetfix-be*. Standar gradasi aspal porus berdasarkan spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association 2004*. Hasil pengujian menunjukkan tingkat kekerasan yang lebih baik dibanding dengan aspal keras murni penetrasi 60/70, akan tetapi kepekaan bahan ikat terhadap temperatur lebih meningkat. Hasil penelitian dapat diketahui bahwa efektifitas penambahan *anti stripping Wetfix-be* pada aspal penetrasi 60/70 sebanyak 0,3% dari berat aspal. Berdasarkan hasil pengujian diperoleh peningkatan karakteristik campuran. Peningkatan nilai stabilitas sebesar 16,12%, peningkatan nilai *ITS* sebesar 11,81%, peningkatan nilai *cantabro loss* sebesar 40,23% dan peningkatan koefisien permabilitas. Dapat disimpulkan bahwa penambahan 0,3% *anti stripping Wetfix-be* terhadap bahan ikat

dengan gradasi campuran aspal porus, dapat meningkatkan karakteristik struktural dan fungsional campuran. Penelitian oleh Harmadhana (2016), menggunakan bahan tambah *crumb rubber* berupa campuran ban karet bekas dengan bahan ikat aspal pen 60/70. Hasil dari pengujian diperoleh nilai stabilitas tertinggi pada penambahan sebesar 5,5% *crumb rubber* terhadap berat bahan ikat.

2.3 Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Daya Tahan Lapis Perkerasan

Penelitian oleh Mawarni (2019), penelitian mengenai pengaruh rendaman air laut terhadap karakteristik aspal porus dengan dan tanpa penambahan limbah ban karet. Penelitian ini dilakukan beberapa tahapan yaitu tahap pertama adalah pengujian materi properti. Langkah kedua adalah menentukan kadar aspal optimum dari aspal porous campuran. Tahap ketiga adalah merendam sampel benda uji dalam air laut. Tahap keempat adalah melakukan pengujian *Marshall*, Permeabilitas, perendaman, kuat tarik tidak langsung, aliran aspal turun dan *Cantabro*. Tahap terakhir adalah melakukan analisis, pembahasan dan kesimpulan dari tes yang telah dilakukan telah dilakukan. Hasil penelitian menunjukkan permeabilitas campuran menggunakan aspal Pen 60/70 dan karet aspal menunjukkan hasil indikator “drainase sedang”. Hasil pengujian *Marshall* karakteristik menunjukkan penurunan nilai stabilitas, aliran, dan *MQ* pada aspal porus campuran dengan aspal Pen 60/70 dan aspal karet sebagai lama perendaman air laut ditingkatkan. Campuran aspal porus menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal karet memiliki Indeks Nilai *Retained Strength* yang cenderung menurun dengan bertambahnya lama perendaman air laut. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* akibat perendaman air laut menunjukkan adanya penurunan nilai *ITS* di campuran aspal porus dengan aspal Pen 60/70 dan aspal karet. Hasil tes *Cantabro* menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya lama perendaman air laut.

Penelitian lain yang dilakukan oleh Pratama dan Fauziah (2018), mengenai kinerja campuran *hot rolled asphalt (HRA)* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal *retona blend 55* dengan variasi durasi rendaman air laut. Perendaman yang digunakan adalah metode perendaman menerus, dengan variasi durasi rendaman selama 0, 48, 96, dan 192 jam. Pengujian dibedakan menjadi 2 tahap. Tahap pertama yang dilakukan adalah pengujian terhadap karakteristik bahan campuran berupa aspal dan agregat, dan pengujian kandungan kimiawi air laut kawasan

Kaligawe, Semarang sebagai benda uji airnya. Tahap kedua, untuk mengetahui karakteristik campuran *Hot Rolled Asphalt* dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Retona akibat variasi durasi rendaman air laut, dilakukan pengujian permeabilitas, pengujian *Marshall Standard*, pengujian *Marshall 24 Jam*, dan pengujian *Indirect Tensile Strength*. Stabilitas *Marshall* standar campuran *HRA* dengan bahan ikat aspal Retona memiliki persentase penurunan 18,09%, lebih kecil dibanding penurunan dengan aspal Pen 60/70 yang mencapai 20,12% pada durasi rendaman air laut 192 jam. Nilai IRS dengan aspal Retona didapat hasil lebih baik pada setiap durasi rendaman air laut dibanding dengan aspal Pen 60/70. Namun, persentase penurunan pada durasi akhir rendaman air laut, yaitu 192 jam, campuran *HRA* dengan bahan ikat Retona lebih besar, dengan nilai sebesar 11,35% dibanding dengan aspal Pen 60/70 dengan turun hanya 8,66%. Sedangkan pada pengujian *ITS* pada durasi rendaman 192 jam dengan aspal Retona memiliki nilai 10,83%, lebih besar dibandingkan dengan aspal Pen 60/70 dengan penurunan sebesar 6,45%.

2.4. Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

Persamaan yang terdapat pada penelitian ini dengan penelitian terdahulu yaitu, menggunakan aspal modifikasi sebagai bahan ikat, meneliti campuran aspal porus, dan penggunaan air laut sebagai parameter yang diteliti. Sedangkan untuk perbedaan dengan penelitian terdahulu adalah parameter yang diteliti pada penelitian ini menggunakan aspal karet sebagai bahan ikat dan parameter yang diukur pada penelitian ini adalah karakteristik *Marshall*, *Immersion*, *ITS*, Permeabilitas dan *cantabro* dimana pada penelitian terdahulu lebih banyak mengukur karakteristik *Marshall*. Penelitian ini menganalisis tentang pengaruh rendaman air laut terhadap campuran aspal porus dengan aspal karet sebagai bahan ikat, kemudian menganalisis umur perkerasan dengan program *KENPAVE*, sehingga penelitian yang dilakukan dapat dipertanggungjawabkan keasliannya. Persamaan dan perbedaan dengan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.1.

Tabel 2.1 Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Eza Marizka (2021)	Matris Derianza Hafidz (2021)	Hanan Haura' Banafsaj (2018)	Oktiva Siwi Tri Mawarni (2019)	Hasan N. A. dkk (2016)	Djumari dan Sarwono (2009)	Harmadhana (2016)	Nurchahaya dkk, (2015)	Darunifah (2007)	Penulis
1	Judul	Studi Kinerja Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Bahan Additive Rediset LQ-1106	Studi Perbandingan Karakteristik Fisik Dan Mekanik Campuran Ac-Wc Dan Campuran Aspal Porus Dengan Variasi Bahan Ikat	Kinerja Campuran <i>Stone Matrix Asphalt</i> 12,5 Mm Dengan <i>Filler</i> Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut	Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Karakteristik Aspal Porus dengan dan Tanpa Penambahan Limbah Karet	<i>Air Voids Characterisation And Permeability of Porous Asphalt Gradations Used In Different Countries</i>	Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal dengan Metode Pemampatan Kering	Kajian Karakteristik Laboratorium Aspal Porus dengan Menggunakan Crumb Rubber sebagai Bahan Tambahan	Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy	Pengaruh Bahan Tambahan Karet Padat Terhadap Karakteristik Campuran Hot Rolled Sheet Wearing Course (HRS-WC)	Pengaruh Rendaman Air Laut Dan Prediksi Umur Layanan Terhadap Karakteristik Aspal Porus Dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 Dan Aspal Karet Pg70
2	Jenis Campuran	Aspal Porus	AC-WC	<i>Stone Matrix Asphalt</i>	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	Aspal Porus	<i>Mix Porous Asphalt</i>	<i>HRS-WC</i>	Aspal Porus
3	Bahan yang ditambahkan	<i>Rediset LQ-1106</i>	Pen 60/70 dan Starbit E-55	Pen 60/70 dan <i>Filler</i> Abu Sekam Padi	Limbah Ban Karet	Bitumen (PG 76)	-	<i>Crumb Rubber</i> 3,5%, 4,5%, 5,5% dan 6,5%	Polimer Elvaloy	Karet padat 0%, 1%, 2%, 3%, 4% dan 5%	Aspal Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70
4	Parameter yang diukur	karakteristik <i>Marshall, Indeks of Retained Strength, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio, stabilitas dinamis, dan kecepatan deformasi,</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, TSR, CL, Stiffness Modulus</i>	<i>Marshall, IRS, ITS, Cantabro,</i> dan Permeabilitas.	<i>Marshall, IRS, ITS, Asphalt Flow Down,</i> dan Permeabilitas	<i>Permeability Test, dan Image analysis technique Using X-ray CT</i>	<i>Marshall, Cantabro Test</i>	<i>Marshall, AFD, Cantabro loss</i>	<i>Cantabro Loss, Asphalt Drain Down, Perendaman Marshall, UMATTA, dan Wheel Tracking</i>	Karakteristik <i>Marshall</i>	<i>Marshall, AFD, Cantabro loss, ITS, IRS, Permeabilitas</i>

Lanjutan Tabel 2.1. Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Eza Marizka (2021)	Matris Derianza Hafidz (2021)	Hanan Haura [*] Banafsaj (2018)	Oktiva Siwi Tri Mawarni (2019)	Hasan N. A. dkk (2016)	Djumari dan Sarwono (2009)	Harmadhana (2016)	Nurchahaya dkk, (2015)	Darunifah (2007)	Penulis
5	Hasil	Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aditif <i>Rediset LQ-1106</i> meningkatkan nilai stabilitas Marshall dengan peningkatan tertinggi pada penambahan kadar <i>Rediset LQ-1106</i> 1% yaitu sebesar 18,62%, namun pada pengujian perendaman <i>Marshall (immersion test)</i> nilai <i>IRS</i> menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan pada kadar 1% sebesar 0,22% dan semakin menurun dengan	Penggunaan aspal <i>Starbit E-55</i> pada seluruh campuran memiliki kinerja yang lebih baik dari penggunaan aspal pertamina pen 60/70. Campuran AC-WC lebih tahan terhadap rendaman air dibandingkan campuran aspal porus.	Penambahan <i>filler ASP</i> menaikkan nilai stabilitas dan <i>MQ</i> sampai pada kadar <i>filler</i> 50%, kemudian turun pada kadar <i>filler</i> 75% dan 100%. Nilai <i>flow</i> cenderung terus meningkat namun turun pada kadar <i>filler</i> 50%. Akibat rendaman air laut nilai stabilitas, <i>flow</i> dan <i>MQ</i> mengalami penurunan. Nilai koefisien permeabilitas campuran	Hasil penelitian menunjukkan permeabilitas campuran menggunakan aspal Pen 60/70 dan karet aspal menunjukkan hasil indikator “drainase sedang”. Hasil pengujian Karakteristik Marshall menunjukkan penurunan nilai stabilitas, aliran, dan <i>MQ</i> pada pori-pori campuran aspal dengan aspal Pen 60/70 dan aspal karet sebagai lama perendaman air laut ditingkatkan. Campuran aspal porous menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal karet memiliki Indeks	Hasil penelitian menunjukan kadar aspal optimum yang diperoleh dipengaruhi oleh gradasi yang digunakan, dan campuran aspal porus yang menggunakan gradasi <i>AAPA</i> (2004) memiliki koefisien permeabilitas tertinggi.	Nilai stabilitas, <i>Flow</i> memenuhi persyaratan Bina Marga.	Penggunaan <i>Crumb Rubber</i> dapat meningkatkan nilai stabilitas sehingga memenuhi persyaratan yang ada. Proporsi penambahan <i>Crumb Rubber</i> pada nilai 5,5% menghasilkan efek yang paling baik.	Secara umum hasil terbaik campuran aspal porus diperoleh pada pemakaian aspal modifikasi <i>Elvaloy 2,5%</i> . Aspal modifikasi <i>Elvaloy</i> dapat digunakan pada campuran aspal porus, tetapi kurang sesuai bila dilihat dari hasil-hasil pengujian yang telah dilakukan. Oleh sebab itu, perlu dicari aspal modifikasi lainnya untuk digunakan pada campuran aspal porus yang lebih sesuai dengan kondisi yang ada di Indonesia	Penambahan karet pada aspal belum tentu menghasilkan kualitas campuran aspal yang jelek. Untuk jenis <i>HRSWC</i> dengan variasi kadar karet pada aspal akan menghasilkan nilai struktural campuran aspal yang lebih baik sewaktu kadar aspal 7,1% dengan penambahan karet pada aspal sebesar 2%	Penambahan karet pada campuran dapat meningkatkan nilai stabilitas, <i>MQ</i> , dan <i>ITS</i> . Pengaruh rendaman air laut semakin lama dapat merusak campuran aspal.

Lanjutan Tabel 2.1. Persamaan dan Perbedaan dengan Penelitian Terdahulu

No.	Aspek	Eza Marizka (2021)	Matris Derianza Hafidz (2021)	Hanan Haura' Banafsaj (2018)	Oktiva Siwi Tri Mawarni (2019)	Hasan N. A. dkk (2016)	Djumari dan Sarwono (2009)	Harmadhana (2016)	Nurchahaya dkk, (2015)	Darunifah (2007)	Penulis
		bertambahnya kadar <i>Rediset LQ-1106</i> .		<i>SMA</i> 12,5 mm pada berbagai variasi kadar <i>filler ASP</i> menunjukkan indikator "drainase jelek". Nilai koefisien permeabilitas optimum pada terjadi pada kadar <i>filler ASP</i> 25%. Nilai <i>Cantabro</i> pada campuran <i>SMA</i> 12,5 mm meningkat seiring bertambahnya persentase kadar <i>filler ASP</i> dan semakin lama direndam air laut.	<i>Nilai Retained Strength</i> yang cenderung menurun dengan bertambahnya lama perendaman air laut. Hasil pengujian Indirect Tensile Stength akibat perendaman air laut menunjukkan adanya penurunan nilai <i>ITS</i> pada campuran aspal porus dengan aspal Pen 60/70 dan aspal karet. Hasil tes <i>Cantabro</i> menunjukkan peningkatan seiring dengan bertambahnya lama perendaman air laut.						

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1. Bahan Penyusun Aspal Porus

Bahan yang digunakan dalam campuran aspal porus yaitu, aspal, agregat, dan bahan pengisi (*filler*). Bahan penyusun pada campuran aspal porus mengacu pada spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*, 2004. Standar digunakan sebagai acuan perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan.

3.1.1 Agregat

Agregat merupakan batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik yang berasal dari alam maupun mineral padat sintetis yang berbentuk ukuran besar atau kecil atau pecahan. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90% – 95% agregat menurut persentase berat, atau 75-85% agregat menurut persentase volume (Sukirman, 2003). Agregat kasar mendominasi pada campuran aspal porus, sedangkan penambahan agregat halus dan *filler* ditambahkan sedemikian rupa guna mencegah mengganggu *interlock* antara agregat kasar. Proporsi antara agregat kasar dan agregat halus berdasar pada spesifikasi dan gradasi yang tersedia.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar (*Coarse Agregat*) yang digunakan adalah agregat yang bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya, agregat kasar harus batu pecah atau kerikil pecah dan harus disiapkan dalam ukuran nominal (Bina Marga, 2018). Agregat kasar biasa juga disebut kerikil sebagai hasil desintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu, dengan butirannya berukuran antara 4,76 mm - 150 mm. Ketentuan agregat kasar antara lain:

- a. Agregat kasar harus terdiri dari butiran yang keras dan tidak berpori. Agregat kasar yang butirannya pipih hanya dapat dipakai jika jumlah butir-butir pipihnya tidak melampaui 20% berat agregat seluruhnya.

- b. Agregat kasar tidak boleh mengandung lumpur lebih dari 1% dalam berat keringnya. Bila melampaui harus dicuci.
- c. Agregat kasar tidak boleh mengandung zat yang dapat merusak beton, seperti zat yang relatif alkali.
- d. Agregat kasar untuk beton dapat berupa kerikil alam dari batu pecah.
- e. Agregat kasar harus lewat tes kekerasan dengan bejana pengujian Rudeloff dengan beban uji 20 ton.
- f. Kadar bagian yang lemah jika diuji dengan goresan batang tembaga maksimum 5%.
- g. Angka kehalusan (*Fineness Modulus*) untuk *Coarse Aggregate* antara 6–7,5.
- h. Ukuran maksimum (*maximum size*) untuk agregat kasar adalah satu ayakan lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*).
- i. Ukuran nominal maksimum yaitu satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan teratas (pertama) dengan bahan tertahan kurang dari 10%.

Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Spesifikasi Agregat Kasar

Pengujian		Standar	Nilai	
Berat Jenis		SNI 1969:2008	Min. 2.5	
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks. 12%	
	Magnesium Sulfat		Maks. 18%	
Abrasi dengan <i>Mesin Los Angeless</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran	Maks. 5%	
		500 Putaran	Maks 30%	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi	100 Putaran	SNI 2417:2008	Maks 8%
		500 Putaran		Maks 40%
Kekekalan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butiran Pecah Agregat Kasar	SMA	SNI 2439:2012	100/95%*)	
	Lainnya		95/90**)	
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D-4791	Maks. 5%	
	Lainnya		Maks. 10%	
Material Lolos Saringan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks. 1%	

Sumber: Bina Marga, 2018

Keterangan:

*) 100/95 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar memiliki muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

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

2. Agregat Halus

Agregat halus harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah terdiri dari bahan yang lolos saringan No. 4 (4,75 mm). Pasir yang bersih, keras, dan bebas lempung boleh digunakan dalam campuran aspal sebagai agregat halus. Fraksi agregat halus dari pasir dan pecahan mesin dipisahkan dari agregat kasar, agar gradasi gabungan dan persentase pasir dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Bina Marga, 2018).

Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana yang ditunjukkan pada Tabel 3.2.

Tabel 3.2 Spesifikasi Agregat Halus

Pengujian	Standar	Nilai
Berat Jenis	SNI 1969:2008	Min. 2,5 %
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Material Lolos Saringan No.200	SNI ASTM C1 12:2012	Maks. 10%
Gumpalan Lempung dan Gumpalan Butir-Butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%

Sumber: Bina Marga, 2018

3. Gradasi

Gradasi adalah distribusi variasi butiran berdasarkan ukuran. Gradasi mempengaruhi besarnya rongga pada suatu campuran dan penentu *workability* serta stabilitas campuran. Penelitian ini digunakan jenis gradasi seragam atau bisa juga disebut sebagai gradasi terbuka (*open graded*) dengan mengacu pada persyaratan

menurut *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)* tahun 2004 pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Berat yang Lolos (%)	
	Ukuran Maksimum 10 mm	Ukuran Maksimum Ukuran 14 mm
12,700	100	85 - 100
9,530	85 - 100	45 - 70
4,760	20 - 45	10 - 25
2,380	10 - 20	7 - 15
1,190	6 - 14	6 - 12
0,595	5 - 10	5 - 10
0,297	4 - 8	4 - 8
0,149	3 - 7	3 - 7
0,074	2 - 5	2 - 5
Total	100	100
Kadar Aspal	5,0 - 6,5	4,5 - 6,5

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

3.1.2 Aspal

Aspal adalah suatu bahan padat atau setengah padat berwarna hitam hingga coklat gelap, dengan sifat perekat (*cementious*) yang akan melembek dan meleleh apabila dipanasi. Aspal tersusun dari sebagian besar bitumen yang terdapat dalam bentuk padat atau setengah padat dari alam atau dari hasil pemurnian minyak bumi, atau merupakan campuran dari bahan bitumen dengan minyak bumi atau *derivatnya* (ASTM, 1994). Aspal modifikasi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran atau ditambahkan aspal dengan bahan tambah (*additive*), dengan tujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan kemudahan (*workability*). Bersama dengan agregat aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Tingkat penetrasi aspal yang sering digunakan dalam campuran antara lain 40/70, 60/70, dan 80/100. Daerah dengan iklim panas sebaiknya menggunakan aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, agar aspal tidak menjadi kaku dan mudah pecah (*brittle*). Aspal penetrasi 60/70 dan modifikasi merupakan jenis aspal

yang digunakan dalam penelitian ini untuk meningkatkan kinerja dari aspal. Aspal yang digunakan harus memenuhi persyaratan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen 60/70	Aspal Modifikasi Polimer
1	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	SNI – 2456:2011	60-70	-
2	Viskositas Kinetis 135° C	ASTM D2170-10	≥ 300	-
3	Titik Lembek (°C)	SNI – 2434:2011	≥ 48	-
4	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2432:2011	≥ 100	-
5	Titik Nyala (°C)	SNI – 2433:2011	≥ 232	≥ 180
6	Kelarutan dalam <i>Trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	-
7	Berat Jenis	SNI – 2441:2011	≥ 1.0	0,92 - 1,06
8	Penetrasi 25° C (% semula)	SNI – 2456: 2011	≥ 54	-
9	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2456: 2011	≥ 50	-

Sumber: Bina Marga, 2018

Adapun kriteria perencanaan guna mengetahui kinerja campuran aspal porus yang baik, terdapat beberapa parameter yang harus dipenuhi menurut *Australian Asphalt Pavement Association (2004)*, pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5 Spesifikasi Aspal Porus

No.	Kriteria Perencanaan	Nilai
1	Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min. 500
2	Kelelehan <i>Marshall</i> (mm)	2 – 6
3	Kekakuan <i>Marshall</i> (<i>MQ</i> kg/mm)	Maks. 400
4	Kadar Rongga Udara (VIM %)	18 – 25
5	Uji <i>Cantabro Loss</i> (%)	Maks. 35
6	Uji <i>Asphalt Flow Down</i> (%)	Maks. 0,3
7	Jumlah Tumbukan Perbidang	50

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*

3.2. Air Laut

Laut sebagai wilayah yang paling luas di permukaan bumi, mencapai 70% dari keseluruhan permukaan bumi dan bersifat korosif yang sangat agresif. Derajat keasaman air laut umumnya berkisar antara 8,2 sampai 8,4 dengan kandungan air sebesar 96,5% material terlarut sebesar 3,5% dalam bentuk molekul ion. Material terlarut sebesar 89% terdiri dari garam *Chlor* sedangkan 11% terdiri dari unsur-unsur lain. Sifat agresifitas lingkungan laut memberi pengaruh buruk terhadap konstruksi perkerasan dengan faktor penyebab dari kerusakan jalan khususnya pada jalan pada daerah pesisir pantai. Selain adanya masalah teknis dalam perencanaan maupun pelaksanaan juga akibat adanya pengaruh dari genangan air laut. Luapan air laut baik akibat banjir maupun akibat gelombang tinggi karena pengaruh angin kencang yang terjadi pada siang hari mengakibatkan banyak air laut yang menggenangi jalan, baik dalam waktu beberapa saat maupun dalam jangka waktu yang cukup lama.

3.3. Pengujian *Marshall*

Pengujian *Marshall* adalah pengujian yang dilakukan guna mengetahui kinerja dari suatu campuran aspal porous. Parameter uji *Marshall* terdiri dari stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *MQ* (*Marshall Quotient*), *VITM* (*Void in the Total Mix*), *VFWA* (*Void Filler Witth Asphalt*), *VMA* (*Void in Mineral Aggregat*), dan kepadatan (*density*). Berikut ini penjelasan pengujian *Marshall*.

3.3.1 Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan campuran aspal sebagai bahan perkerasan untuk mencegah terjadinya deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk atau dikenal dengan Stabilitas. Nilai stabilitas diperoleh dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Angka yang diperoleh harus dikoreksi kembali dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Nilai stabilitas yang digunakan dihitung dengan persamaan berikut.

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

Keterangan:

- q = stabilitas (kg)
- p = pembacaan arloji stabilitas x kalibrasi alat
- s = koreksi tebal benda uji
- 0,4536 = konversi satuan dari *lb* ke kg

3.3.2 Kelelehan (*Flow*)

Besarnya deformasi vertikal suatu benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas pada benda uji menurun adalah pengertian dari *flow* (kelelehan). Campuran aspal yang memiliki nilai *flow* rendah cenderung kaku dan getas. Perkerasan dengan nilai stabilitas tinggi cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Angka *flow* (kelelehan) diperoleh dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.3.3 *Marshall Quotient (MQ)*

Hasil bagi antara nilai stabilitas dan nilai *flow* atau yang biasa disebut *Marshall Quotient*. *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin kaku suatu perkerasan maka semakin besar nilai *Marshall Quotient*, sebaliknya jika campuran perkerasan semakin lentur maka nilai *Marshall Quotient* semakin kecil. Nilai *MQ* diperoleh dari Persamaan 3.2 berikut.

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

Keterangan:

- MQ* = Nilai *Marshall Quotient* (kg/mm)
- q* = Nilai stabilitas (kg)
- r* = Nilai *flow* (mm)

3.3.4 Pengujian *Void in The Total Mix (VIM)*

Void in The Total Mix (VITM) merupakan persentase pada rongga udara yang terdapat dalam total campuran. Keawetan lapis perkerasan dipengaruhi oleh nilai *VITM*, semakin tinggi nilai *VITM* maka semakin besar rongga dalam campuran yang mengakibatkan campuran bersifat porus. Akibatnya campuran menjadi

kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan mudahnya aspal mengalami oksidasi. Komponen-komponen yang teroksidasi oleh air akan mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Penurunan kadar aspal dalam campuran mengakibatkan berkurangnya lekatan antara butiran agregat sehingga pelepasan butiran dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan terjadi. Nilai *VITM* diperoleh dari Persamaan 3.3 dan Persamaan 3.4.

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

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

Keterangan:

n = Nilai VIM (%)

g = Berat Isi Sampel (gr/cc)

h = Berat Jenis Maksimum Teoritis Campuran (gr/cc)

3.3.5 Pengujian *Void In Mineral Aggregate (VMA)*

VMA adalah persentase rongga udara yang terdapat di antara butiran agregat dalam campuran agregat aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang yang terisi oleh aspal pada volume campuran agregat aspal. Nilai *VMA* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.5 dan 3.6.

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

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

Keterangan:

l = Nilai *VMA* (%)

b = Persentase Aspal Terhadap Campuran (%)

g = Berat Isi Sampel (gr/cc)

3.3.6 Pengujian *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA adalah presentase rongga terisi oleh aspal pada campuran setelah proses pemadatan. Semakin tinggi nilai *VFWA* suatu campuran maka semakin banyak rongga yang terisi oleh aspal yang mengakibatkan campuran menjadi kedap air, sedangkan semakin rendah nilai *VFWA* pada campuran maka kekedapan terhadap air dan udara juga rendah. Nilai *VFWA* dapat diperoleh dari Persamaan 3.7 sampai 3.11.

- a. Persentase Aspal Terhadap Campuran

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

Keterangan:

a = Persentase Aspal Terhadap Batuan.

B = Persentase Aspal Terhadap Campuran.

- b. Persentase Aspal Terhadap Agregat

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

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

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

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

Keterangan:

m = *VFWA* (%)

g = Berat Isi Sampel (gr/cc)

b = Persentase Aspal Terhadap Campuran

3.3.7 Pengujian Kepadatan (*Density*)

Kepadatan adalah nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan dari campuran aspal faktor-faktor yang mempengaruhi nilai kepadatan adalah temperatur pemadatan, komposisi bahan penyusun, kadar *filler*, energi pemadat dan kadar aspal. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik. Adapun nilai *density* dapat diperoleh dengan Persamaan 3.12 dan 3.13.

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

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

Keterangan:

g = Nilai *Density* (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 (cm³)

3.4. Permeabilitas

Permeabilitas merupakan tingkat derajat kerapatan konstruksi campuran aspal untuk dapat dilewati oleh zat cair. Permeabilitas aspal sangat penting untuk konstruksi dan kekuatan serta lamanya campuran aspal dapat bertahan. Semakin kecil permeabilitas aspal, maka semakin sedikit air yang dapat memasuki konstruksi aspal, sehingga aspal memiliki keawetan lebih lama. Pengujian permeabilitas ini merujuk pada hukum permeabilitas dengan Persamaan 3.14 berikut.

$$K = \frac{V \cdot L \gamma_{air}}{P \cdot A \cdot T} \quad (3.14)$$

Keterangan:

K = Koefisien Permeabilitas Air (cm/dtk)

V = Volume Rembesan (cm³)

γ_{air} = Berat Jenis Air (dyne/cm³)

L = Tinggi Sampel (cm)

A = Luas Penampang Sampel (cm²)

T = Lama Waktu Rembesan (dtk)

3.5. Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Pengujian *Cantabro Loss (CL)* adalah pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan benda uji terhadap keausan atau kehilangan berat setelah dilakukan tes abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Nilai karakteristik *cantabro loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 dengan mengacu pada ASTM C-131.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.15)$$

Keterangan:

L = Persentase Kehilangan Berat (%)

M_o = Berat Sebelum Diabrasi (gr)

M_i = Berat Setelah Diabrasi (gr)

3.6. *Asphalt Flow Down (AFD)*

Pengujian dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen pada agregat tanpa terjadi pemisahan aspal, hal ini penting dilakukan agar selama pengangkutan dari *Asphalt Mixing Plant (AMP)* ke lokasi penghamparan tidak terjadi pemisahan aspal maka dilakukan uji *asphalt flow down (AFD)*. Besarnya nilai *AFD* disyaratkan lebih kecil dari 0,3%, untuk menentukan nilai *AFD* digunakan uji pengaliran asphalt flow down seperti Persamaan 3.16.

$$AFD = \frac{(m_3 - m_1)}{m_2 - m_1} \times 100\% \quad (3.16)$$

Keterangan:

AFD = nilai *asphalt flow down* (%)

m₁ = berat cetakan berupa nampan (gr)

m₂ = berat cetakan beserta campuran beraspal (gr)

m₃ = berat cetakan beserta campuran aspal yang melekat pada *aluminium foil* (gr)

3.7. Pengujian Durabilitas

Pengujian durabilitas campuran aspal porus berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*.

3.7.1. *Immersion Test (IRS)*

Pengujian perendaman *Marshall (Immersion Test)* merupakan pengujian yang dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan dan keawetan aspal terhadap kerusakan yang diakibatkan oleh air, suhu dan cuaca. Simulasi pengujian di laboratorium dengan merendam benda uji selama 0,5 jam dan 24 jam pada suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Perbandingan rendaman selama 0,5 jam (perendaman standar) dengan rendaman selama 24 jam (stabilitas rendaman) yang hasilnya dinyatakan dalam persen (%) kemudian disebut stabilitas *Marshall sisa/Index of retained strenght (IRS)*.

Kehilangan stabilitas yang terjadi akibat perendaman menunjukkan tingkat kerusakan yang dipengaruhi oleh air. Indeks kekuatan sisa sebesar 90% merupakan nilai minimum yang disyaratkan Bina Marga, karena nilai tersebut campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan. *Index of Retained Strength (IRS)* dihitung menggunakan Persamaan 3.17 berdasarkan RSNI M-01-2003.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.17)$$

Keterangan

S1 = Nilai stabilitas setelah perendaman selama 0,5 jam (kg)

S2 = Nilai stabilitas setelah perendaman selama 24 jam (kg)

3.7.2. *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Pengujian kemampuan aspal untuk menahan beban tarik atau dikenal dengan *Indirect Tensile Strenght*. Pengujian dilakukan terhadap benda uji berbentuk silinder. Pembebanan ini sejajar dengan diameter vertikal benda uji hingga titik batas kerusakan yang terindikasi dengan adanya retak pada arah vertikal

pada benda uji. Umumnya keretakan benda uji terbelah terjadi di sepanjang bidang diameter. Kerusakan ini menjadi penanda beban maksimum yang dapat dicampur yang mengindikasikan kuat tarik campuran.

Perbedaan pengujian ini dengan pengujian *Marshall* yang menggunakan cincin penguji adalah pada pengujian kuat tarik tidak langsung menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm di bagian penekan *Marshall*. Apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam, maka pengukuran kekuatan tarik dihentikan. SNI 6753:2015 sebagai pedoman, untuk mendapatkan benda uji menjadi jenuh adalah dengan melakukan perendaman benda uji selama 2 jam \pm 10 menit dengan suhu \pm 60°C. Hasil perbandingan antara *ITS* standar dengan *ITS* rendaman 24 jam dinyatakan dalam persen (%) yang disebut *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Pengujian dilakukan untuk mengetahui potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) yang dipengaruhi oleh air dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) terhadap campuran aspal (Tajudin dan Suparma, 2017).

Berdasarkan pembebanan maksimum yang mengakibatkan benda uji mengalami *failure*, nilai *ITS* dapat diperoleh dengan menggunakan Persamaan 3.18.

$$ITS = \frac{2 \times P \text{ maks}}{\pi \times t \times d} \quad (3.18)$$

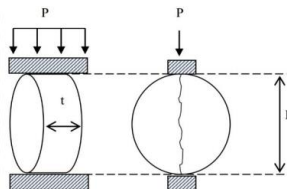
Keterangan:

ITS = Kuat Tarik Tidak Langsung (*kPa*)

Pmaks = Beban Puncak (*N*)

t = Tinggi Sampel (*mm*)

d = Diameter Benda Uji (*mm*)



(Sumber: Tajudin dan Suparma, 2017)

Gambar 3.1 Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Nilai *ITS* pada tiap perendaman digunakan untuk mengetahui nilai *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Nilai *TSR* >80% disyaratkan oleh *Asphalt Institute* untuk campuran dengan fungsi sebagai struktural, sedangkan nilai *TSR* untuk campuran aspal porus yang bersifat fungsional (*non* struktural) tidak mensyaratkan nilai *TSR* berdasarkan metode *AAPA* 2004. nilai *TSR* didapat melalui persamaan 3.19.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100\% \quad (3.19)$$

Keterangan:

TSR = *Tensile Strength Ratio* (%)

ITS_o = Kekuatan Tarik Tidak Langsung Awal (*kPa*)

ITS_n = Kekuatan Tarik Tidak Langsung Rendaman (*kPa*)

3.7. *Stiffness Modulus*

Stiffness merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan renggang pada tegangan tinggi dengan tidak diikuti regangan yang besar atau Kemampuan mempertahankan terhadap deformasi. Material dengan nilai modulus elastisitas yang tinggi berdeformasi lebih kecil terhadap beban jika dibandingkan dengan material dengan modulus elastisitas lebih rendah. Dalam campuran perkerasan terdapat dua kekakuan, yaitu *Stiffness modulus of bitumen* dan *stiffness modulus of mixture*. *Stiffness modulus of bitumen* adalah sifat kekakuan yang dimiliki oleh bitumen atau bahan ikat yang dipengaruhi beberapa faktor, yaitu lama pembebanan oleh roda kendaraan, temperatur permukaan perkerasan, temperatur pada *softening point*, dan *penetration index*. *Stiffness modulus of mixture* merupakan kekakuan campuran perkerasan yang mampu menopang beban roda kendaraan yang dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu *Sbit*, konsentrasi volume agregat padat, konsentrasi volume bitumen, dan konsentrasi rongga dalam campuran agregat dan bitumen.

Adapun cara menentukan *Stiffness modulus of bitumen* dengan menggunakan persamaan *Ullidtz* sebagai berikut.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{-P_{lr}} \times (SP_r - T)^5 \quad (3.20)$$

Rumus ini berlaku apabila:

$$SPr - T = 20^{\circ}C - 60^{\circ}C$$

$$SPr = 98,4 - 26,35 \times \log Pr \quad (3.21)$$

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

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

$$PIr = \text{Recovered penetration index asphalt}$$

$$= \frac{1951,4 - 500 \log Pr - 20 \times SPr}{50 \log Pr - SPr - 120,4} \quad (3.22)$$

Keterangan:

$$SPr = \text{Recovered Spftening Point of Asphalt}$$

$$T = \text{Temperatur aspal}$$

$$Pr = \text{Recovered Penetration pada saat suhu } 25^{\circ}C \\ = 0,65 \times Pi$$

$$Pi = \text{Penetrasi Awal}$$

$$t = \text{Lama pembebanan}$$

Setelah *modulus stiffness of bitumen* dihitung, kemudian dilakukan perhitungan nilai *modulus stiffness of mixture* dengan menggunakan persamaan Nottingham (1984) sebagai berikut.

$$Smix = Sbit \times \left(1 + \frac{257,5 - 2,5 \times VMA}{n \times (VMA - 3)}\right)^5 \quad (3.23)$$

$$n = 0,83 \times \log \left(\frac{4 \times 10^4}{Sbit}\right) \quad (3.24)$$

3.8. Analisis Program KENPAVE

Penelitian ini menggunakan program *KENPAVE* pada bagian *KENLAYER* merupakan program analisis dengan menghitung sistem banyak lapis (*multi layers*) perkerasan lentur. Program ini dapat digunakan untuk menghitung regangan, tegangan, serta lendutan permukaan perkerasan yang diakibatkan beban tertentu. Berikut tampilan layar pada program *KENPAVE* dilihat pada Gambar 3.2.



Gambar 3.2 Tampilan Program *KENPAVE*

3.8.1. Program *KENLAYER*

KENLAYER diaplikasikan pada jenis perkerasan lentur. Penggunaan *KENLAYER* dapat diaplikasikan pada tiap lapis yang berbeda, seperti lapis *linier*, lapis *non linier* atau *viskoelastis*, dan juga empat jenis sumbu roda yaitu sumbu tunggal roda tunggal, sumbu tunggal roda ganda, sumbu tandem dan sumbu tripel. Penjelasan dari menu–menu yang terdapat di dalam *LAYERINP* sebagai berikut.

1. *File*

Menu ini untuk file yang akan diinput. New untuk file baru dan Old untuk file yang sudah ada.

2. *General*

Menu ini memuat informasi umum mengenai perkerasan yang akan dianalisis. Dalam menu general terdapat menu yang harus diinput adalah sebagai berikut.

- a. *Titel* : Judul dari analisis
- b. *MATL* : Tipe dari material.
 - (1) jika seluruh lapis merupakan linier elastis,
 - (2) jika lapisan merupakan non linear elastis,
 - (3) jika lapisan merupakan viskoelastis,
 - (4) jika lapisan merupakan campuran dari ketiga lapisan di atas.
- c. *NDAMA*: Analisis kerusakan (0) jika tidak ada kerusakan analisis (1) terdapat kerusakan analisis, ada hasil print out (2) terdapat kerusakan analisis, ada hasil print out lebih detail.
- d. *DEL*: Akurasi hasil. Standar akurasi 0,001.

- e. NL: Jumlah layer/lapis, maksimum 19 lapisan
- f. NZ: Letak koordinat arah Z yang akan dianalisa.
Jika NDAMA = 1 atau 2, maka NZ = 0 karena program akan menganalisa dikoordinat yang mengalami analisa kerusakan
- g. NSTD: (1) untuk *vertical displacement*, (5) untuk *vertical displacement* dan nilai tegangan (9) untuk *vertical displacement*, nilai tegangan dan nilai regangan.
- h. NBOND: (1) jika antar semua lapis saling berhubungan/terkait (2) jika tiap antar lapisan tidak terikat atau gaya geser diabaikan.
- i. NUNIT: Satuan yang di gunakan (0) satuan English, (1) satuan SI. Informasi tentang satuan English dan SI di sajikan pada Tabel 3.6 sebagai berikut.

Tabel 3.6 Satuan *English* dan *SI*

Satuan	Satuan <i>English</i>	Satuan SI
Panjang	<i>Inch</i>	Cm
Tekanan	Psi	Kpa
Modulus	Psi	Kpa

Sumber: Wikipedia

3. *Zcoord*

Jumlah poin yang terdapat dalam menu ini sama dengan jumlah NZ pada menu general. ZC adalah jarak vertikal atau jarak dalam arah Z yang dimana jarak tersebut yang akan dianalisa oleh program.

4. *Layer*

TH adalah tebal tiap *layer*/lapis dan PR adalah *poisson's ratio* tiap *layer*.

5. *Interface*

Menu *interface* ini berkaitan dengan NBOND yang ada dalam menu general. Jika NBOND = 1, maka menu *interface* akan *default*. Jika NBOND = 2, maka menu *interface* akan keluar.

6. *Moduli*

Jumlah periode dalam menu ini sama dengan jumlah NPY dalam menu *general*. Maksimum periode dalam menu ini adalah 12. E adalah modulus elastisitas tiap layer.

7. *Load*

Jumlah unit yang ada dalam menu ini sama dengan jumlah NLG dalam menu *general*. Untuk kolom load (0) untuk sumbu tunggal pada tunggal tunggal, (1) untuk sumbu tunggal roda ganda (2) untuk sumbu tandem (3) untuk sumbu triple. Kolom CR adalah radius kontak pembebanan. Kolom CP adalah nilai beban. Kolom YW dan XW merupakan jarak antar roda arah y dan arah x. Jika kolom load = 0, maka kolom YW dan XW = 0. Kolom NR dan NPT merupakan titik koordinat tegangan-regangan yang ingin ditinjau. Parameter lain seperti *Nonlinier*, *Viscoelastic*, *Damage*, *Mohr-Coulumb* akan mengikuti nilai dengan sendirinya sesuai dengan input nilai yang diasumsikan.

3.8.2. Analisis Kerusakan

Analisis kerusakan perkerasan jalan yang akan diteliti dalam penelitian ini adalah *fatigue cracking*, *rutting*, dan *permanent deformation*. Kerusakan perkerasan yang disebabkan oleh beban kendaraan. Pada analisis perhitungan dengan metode mekanistik, hasil yang akan diperoleh berupa nilai tegangan dan regangan pada perkerasan lentur. Nilai tegangan dan regangan tersebut digunakan untuk memprediksi kerusakan pada perkerasan jalan lentur.

1. *Fatigue cracking (Nf)*

Kerusakan retak lelah meliputi bentuk perkembangan dari retak di bawah beban yang berulang dan kegagalan ditemukan pada saat permukaan perkerasan tertutup oleh retakan dengan presentase tinggi. Pembebanan ulang yang terjadi terus menerus dapat menyebabkan material menjadi lelah dan dapat menimbulkan *cracking*, walaupun tegangan yang terjadi masih dibawah batas ultimatanya. Bagian material perkerasan, beban berulang berasal dari lintasan beban kendaraan yang terjadi secara terus menerus, dengan intensitas berbeda-beda dan tergantung pada jenis kendaraan yang terjadi secara acak. Menurut *The Asphalt Institute* (1982), retak lelah perkerasan lentur untuk

mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tarik di bawah lapis permukaan dengan Persamaan 3.25.

$$N_f = 0,0796 \times \epsilon t^{-3,921} \times E^{-0,854} \quad (3.25)$$

Keterangan:

N_f = Jumlah nilai beban pengulangan yang diijinkan untuk mengontrol *fatigue Cracking (ESAL)*.

ϵt = *Tensile strain* di lokasi tinjauan kritis yang dihitung berdasarkan respon model struktur atau regangan tarik pada bagian bawah lapis permukaan (cm).

E = Modulus elastisitas pada lapisan permukaan atau lapisan *HMA* (KPa).

2. *Rutting (Nr)*

Retak alur/*rutting* pada permukaan perkerasan merupakan akumulasi dari semua deformasi plastis yang terjadi, baik dari lapisan beraspal, lapisan pondasi, dan lapisan tanah dasar. Kriteria pada retak alur merupakan kriteria kedua yang digunakan pada metode analitis mekanistik, untuk menyatakan keruntuhan struktur perkerasan akibat beban berulang. Agar tidak membahayakan pengendara saat melalui lokasi *rutting* tersebut, Nilai *rutting* maksimum harus dibatasi terutama pada kecepatan tinggi. Deformasi permanen dapat diketahui setiap lapisan dari struktur, membuat retak alur lebih sulit untuk diprediksi dibandingkan retak lelah. Ukuran-ukuran kegagalan yang ada dimaksudkan untuk alur bahwa dapat ditunjukkan kebanyakan pada suatu struktur perkerasan yang lemah. Pada umumnya dinyatakan dengan istilah regangan vertikal yang berada di atas dari lapisan tanah dasar. Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah repetisi beban berdasarkan regangan tekan di bawah lapis pondasi bawah berdasarkan Persamaan 3.26.

$$N_r = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon c^{-4,47} \quad (3.26)$$

Keterangan:

Nr = Jumlah nilai repetisi beban yang dizinkan untuk mengontrol *rutting* (*ESAL*).

ϵ_c = Regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar (cm).

3. *Permanent Deformation (Nd)*

Menurut *The Asphalt Institute* (1982), untuk mengetahui jumlah beban repetisi perkerasan lentur pada kerusakan *permanent deformation* berdasarkan Persamaan 3.27.

$$Nd = 1,365 \times 10^{-9} \times \epsilon_c^{-4,47} \quad (3.27)$$

Keterangan:

Nd = Jumlah nilai repetisi beban yang dizinkan untuk mengontrol *deformasi* (*ESAL*).

ϵ_c = Regangan tekan vertikal diatas lapisan dasar (cm)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1. Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian eksperimental. Penelitian eksperimental merupakan sebuah penelitian yang digunakan untuk mencari akibat dari sesuatu yang dilakukan secara sengaja dengan tujuan untuk mengetahui pengaruh dari suatu tindakan terhadap kelompok tertentu yang kemudian hasilnya dibandingkan dengan kelompok lain yang mendapatkan tindakan berbeda. Pelaksanaan penelitian eksperimen, perlu dipahami bahwa semua hal yang berkaitan dengan setiap komponen eksperimen, baik komponen yang berkaitan dengan jenis-jenis variabel, hakikat eksperimen, karakteristik eksperimen, tujuan eksperimen, syarat-syarat eksperimen, langkah-langkah penelitian eksperimen hingga bentuk desain penelitian eksperimen.

4.2. Lokasi Penelitian

Penelitian ini berlokasi di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Laboratorium Transportasi, Departemen Teknik Sipil dan Lingkungan, Fakultas Teknik, Universitas Gadjah Mada.

4.3. Metode Pengambilan Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini merupakan data primer dan data sekunder. Data primer diperoleh melalui pengujian-pengujian di laboratorium. Data sekunder diperoleh dari sumber lain dari hasil penelitian yang telah dilakukan. Berikut merupakan tahapan yang dilakukan dalam penelitian.

1. Persiapan bahan
2. Pengujian air laut
3. Pemeriksaan *mix design* aspal porus
4. Pengujian karakteristik *marshall*

5. Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*
6. Pengujian permeabilitas
7. Pengujian perendaman *marshall (Immersion Test)*
8. Pengujian kuat tarik (*Indirect Tensile Strength*)
9. Pengujian *Index or Retained Strength*
10. Pengujian *Tensile Strenght Ratio*
11. Pengujian *Cantabro*

4.4. Metode Pengambilan Sampel

Pengambilan sampel dilakukan secara *nonprobability sampling*, yaitu teknik pengambilan sampel yang dilakukan dengan memilih satuan sampel berdasarkan tujuan yaitu rendaman air laut, bahan ikat aspal Pen 60/70 dari PT Pertamina dan aspal Karet PG70 dari PT Bintang Djaja, serta agregat diperoleh dari Clereng, Kulon Progo.

4.5. Langkah-Langkah Penelitian

Material yang digunakan pada penelitian ini terdiri dari agregat halus, agregat kasar dan aspal. Sebelum digunakan untuk pembuatan campuran aspal, material tersebut diuji terlebih dahulu dengan menggunakan metode *AASTHO* dan Bina Marga. Urutan penelitian yang dilakukan di laboratorium terdiri dari beberapa tahap sebagai berikut.

1. Pengujian sifat material bahan perkerasan.
2. Perencanaan campuran.
3. Mencari Kadar Aspal Optimum (KAO).
4. Melakukan pengujian penetrasi dan titik lembek aspal karet.
5. Pembuatan sampel campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal karet dengan berbagai macam kadar variasi yang berbeda pada KAO untuk pengujian *Marshall, Indirect tensile Strength, permeabilitas, rendaman dengan air laut, dan Cantabro.*
6. Melakukan analisis, pembahasan, dan pengambilan kesimpulan dari hasil pengujian.

4.5.1. Pengujian Bahan

Sebelum digunakan pada campuran perkerasan, pengujian bahan dilakukan sebagai berikut.

1. Pengujian Agregat dan *Filler*

Salah satu komponen lapis perkerasan jalan raya adalah agregat. agregat menentukan daya dukung, mutu, kualitas dan keawetan suatu perkerasan. Maka dari itu diperlukan pengujian terhadap. Pengujian agregat yang dilakukan adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis dan penyerapan agregat Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis (*bulk*), berat kering permukaan jenuh (*Saturated Surface Dry = SSD*) dan berat jenis semu (*apparent*), serta penyerapan dari agregat halus.
- b. Pengujian kelekatan agregat terhadap aspal Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal.
- c. Pengujian keausan agregat Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan agregat kasar terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*.
- d. Pengujian *sand equivalent* Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan kadar deb dan lumpur atau bahan yang mempunyai lempung pada tanah atau agregat halus.

2. Pengujian Aspal

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui kualitas aspal adalah sebagai berikut.

- a. Pengujian berat jenis aspal Berat jenis aspal berguna untuk mencari berat jenis campuran aspal dan agregat, dan berguna untuk menentukan *VITM*, *VFWA* dan mempengaruhi stabilitas pada pengujian *Marshall*.
- b. Pengujian penetrasi aspal Pengujian penetrasi bertujuan untuk menentukan penetrasi aspal dengan cara memasukkan jarum ukuran tertentu, beban dan waktu tertentu kedalam aspal pada suhu tertentu.
- c. Pengujian daktalitas Pengujian daktalitas dilakukan untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat

ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu dan kecepatan tarik tertentu.

- d. Pengujian kelarutan dalam *TCE* Pengujian ini bertujuan untuk menentukan jumlah aspal yang larut dalam *TCE*.
 - e. Pengujian titik lembek Pengujian ini bertujuan untuk menunjukkan temperatur aspal mengalami batas perpindahan antara bentuk padat ke cair.
 - f. Pengujian titik nyala dan titik bakar Pengujian ini bertujuan untuk menentukan suhu dimana aspal terlihat menyala singkat di permukaan aspal (titik nyala) dan suhu saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik (titik bakar).
3. Pengujian Air Laut

Pengujian Air laut dilakukan di Laboratorium Kualitas Lingkungan, Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

4.5.2. Peralatan Penelitian

Peralatan yang digunakan dalam penelitian meliputi peralatan untuk persiapan bahan hingga pengujian benda uji sebagai berikut.

1. Peralatan pada pengujian agregat
 - a. Alat uji abrasi agregat (mesin *Los Angeles*)
 - b. Alat uji gradasi agregat/analisa saringan (satu set saringan)
 - c. Alat uji kelekatan agregat terhadap aspal (oven, timbangan dan pencampuran)
 - d. Alat uji penyerapan aspal
 - e. Alat uji berat jenis agregat (piknometer, timbangan dan pemanas)
 - f. Alat uji nilai setara pasir (satu set alat uji *sand equivalent*)
2. Peralatan pada pengujian aspal
 - a. Alat uji penetrasi aspal (penetrometer)
 - b. Alat uji daktilitas aspal (*ductility machine*)
 - c. Alat uji titik lembek aspal (*ring and ball*)
 - d. Alat uji titik nyala dan titik bakar aspal (*cleveland open cup*)

- e. Alat uji kehilangan berat (oven loss on heating)
 - f. Alat uji berat jenis aspal (*piknometer dan timbangan*)
 - g. Alat uji kelarutan dalam TCE (*labu erlenmeyer*).
3. Peralatan pada pengujian *Marshall* dan *Immersion Test*
- a. Alat uji karakteristik *Marshall* yang meliputi alat tekan yang terdiri dari *Proving Ring* berkapasitas 2500 kg dengan ketelitian 12,5 kg.
 - b. Arloji pengukuran stabilitas.
 - c. Arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - d. Kompor pemanas.
 - e. Penumbuk (*compactor*) dengan berat 10 pound (4,536 kg).
 - f. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm.
 - g. Spatula.
 - h. Bak perendaman (*water bath*) dan oven.
4. Peralatan pada pengujian *Indirect Tensile Strength Test* dan *Tensile Strength Ratio*
- a. Alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5 inch.
 - b. Arloji pengukuran stabilitas dan arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
 - c. Kompor pemanas.
 - d. *Compactor* dengan berat 10 pound (4,536 kg).
 - e. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm. 30
 - f. Spatula, Bak perendaman (*water bath*) serta oven.
5. Seperangkat alat uji permeabilitas (*Falling Head Permeability Test*), yang meliputi tabung dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 80 cm, 2 buah statif, klem permeabilitas, *stopwatch*.

4.5.3. Perencanaan Campuran

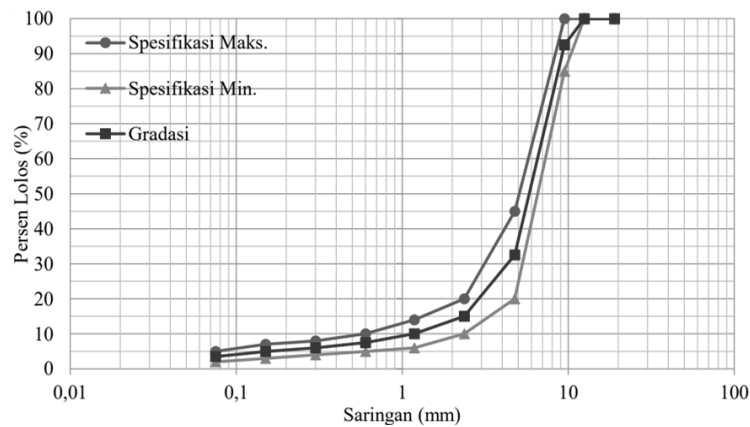
Perencanaan aspal porus dalam penelitian ini berpedoman pada AAPA (2004). Komponen pada bahan campuran terdiri dari agregat kasar, agregat halus, *filler*, dan aspal yang telah melalui proses pengujian sebelum digunakan. Tujuan pengujian adalah untuk mengetahui terpenuhi atau tidaknya sifat fisik material

berdasarkan persyaratan yang telah ditentukan. Setelah pengujian agregat dan aspal selesai, selanjutnya dilakukan penyaringan agregat dengan gradasi yang direncanakan. Gradasi campuran aspal porus dan grafik gradasi rencana rencana campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 4.1 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

NO	Ukuran Ayakan		Spesifikasi Lolos Saringan (%)	
	mm	ASTM	Range	Ideal
1	19,00	3/4 "	100	100
2	12,70	1/2 "	85 - 100	92,5
3	9,53	3/8"	45 - 70	57,5
4	4,76	No.4	10 - 25	17,5
5	2,38	No. 8	7 – 15	11
6	1,19	No. 16	6 – 12	9
7	0,595	No. 30	5 – 10	7,5
8	0,297	No. 50	4 – 8	6
9	0,149	No. 100	3 – 7	5
10	0,074	No. 200	2 – 5	3,5

Sumber: *AAPA* (2004)



Gambar 4.1 Grafik Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus

Kadar aspal yang digunakan sebagai agregat memiliki ukuran maksimum 14 mm berkisar 4,5% - 6,5% (*AAPA*, 2004). Penelitian ini menggunakan kadar

aspal sebesar 4,5%; 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dari berat total campuran yaitu seberat 1200 gram.

Adapun kebutuhan agregat pada tiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.2 sampai dengan Tabel 4.6 berikut.

Tabel 4.2 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 4,5%

Ukuran Saringan		Berat		Presentase		Spesifikasi	
in	mm	Tertahan	\sum Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Max
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100
1/2 "	12,5	85,95	85,95	7,5	92,5	85	100
3/8"	9,5	401,10	487,05	42,5	57,5	45	70
No.4	4,76	458,40	945,45	82,5	17,5	10	25
No. 8	2,36	74,49	1.019,94	89	11	7	15
No. 16	1,18	22,92	1.042,86	91	9	6	12
No. 30	0,6	17,19	1.060,05	92,5	7,5	5	10
No. 50	0,3	17,19	1.077,24	94	6	4	8
No. 100	0,15	11,46	1.088,70	95	5	3	7
No. 200	0,075	17,19	1.105,89	96,5	3,5	2	5
Pan		40,11	1.146				
Jumlah		1.146					

Tabel 4.3 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5%

Ukuran Saringan		Berat		Presentase		Spesifikasi	
in	mm	Tertahan	\sum Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Max
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100
1/2 "	12,5	85,50	85,50	7,5	92,5	85	100
3/8"	9,5	399,00	485	42,5	57,5	45	70
No.4	4,76	456,00	941	82,5	17,5	10	25
No. 8	2,36	74,10	1.015	89	11	7	15
No. 16	1,18	22,80	1.037	91	9	6	12
No. 30	0,6	17,10	1.055	92,5	7,5	5	10
No. 50	0,3	17,10	1.072	94	6	4	8
No. 100	0,15	11,40	1.083	95	5	3	7
No. 200	0,075	17,10	1.100	96,5	3,5	2	5
Pan		39,90	1.140				
Jumlah		1.140					

Tabel 4.4 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Saringan		Berat		Presentase		Spesifikasi	
in	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Max
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100
1/2 "	12,5	85,05	85	7,5	92,5	85	100
3/8"	9,5	396,9	482	42,5	57,5	45	70
No.4	4,76	453,6	936	82,5	17,5	10	25
No. 8	2,36	73,71	1.009	89	11	7	15
No. 16	1,18	22,68	1.032	91	9	6	12
No. 30	0,6	17,01	1.049	92,5	7,5	5	10
No. 50	0,3	17,01	1.066	94	6	4	8
No. 100	0,15	11,34	1.077	95	5	3	7
No. 200	0,075	17,01	1.094	96,5	3,5	2	5
Pan		39,69	1.134				
Jumlah		1.134					

Tabel 4.5 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6%

Ukuran Saringan		Berat		Presentase		Spesifikasi	
in	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Max
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100
1/2 "	12,5	84,60	85	7,5	92,5	85	100
3/8"	9,5	394,80	479	42,5	57,5	45	70
No.4	4,76	451,20	931	82,5	17,5	10	25
No. 8	2,36	73,32	1.004	89	11	7	15
No. 16	1,18	22,56	1.026	91	9	6	12
No. 30	0,6	16,92	1.043	92,5	7,5	5	10
No. 50	0,3	16,92	1.060	94	6	4	8
No. 100	0,15	11,28	1.072	95	5	3	7
No. 200	0,075	16,92	1.089	96,5	3,5	2	5
Pan		39,48	1.128				
Jumlah		1.128					

Tabel 4.6 Kebutuhan Jumlah Agregat dengan Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Saringan		Berat		Presentase		Spesifikasi	
in	mm	Tertahan	Σ Berat Tertahan	Tertahan	Lolos	Min	Max
3/4 "	19	0	-	0	100	100	100
1/2 "	12,5	84,15	84	7,5	92,5	85	100
3/8"	9,5	392,7	477	42,5	57,5	45	70
No.4	4,76	448,8	926	82,5	17,5	10	25
No. 8	2,36	72,93	999	89	11	7	15
No. 16	1,18	22,44	1.021	91	9	6	12
No. 30	0,6	16,83	1.038	92,5	7,5	5	10
No. 50	0,3	16,83	1.055	94	6	4	8
No. 100	0,15	11,22	1.066	95	5	3	7
No. 200	0,075	16,83	1.083	96,5	3,5	2	5
Pan		39,27	1.122				
Jumlah		1.122					

4.5.4. Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji yang dibuat pada tiap pengujian menyesuaikan pada kebutuhan penelitian. Total benda uji yang digunakan adalah sebanyak 168 buah, diantaranya digunakan pada pengujian kadar aspal optimum untuk memperoleh nilai KAO sebanyak 90 buah spesimen dan 126 buah spesimen lainnya untuk pengujian pada kondisi KAO. Seperti pada Tabel 4.7 Jumlah benda uji untuk mencari kadar aspal optimum dan Tabel 4.8 jumlah benda uji untuk pengujian *IRS*, *ITS*, dan *TSR*.

Setelah nilai KAO diperoleh pada tiap campuran dengan variasi bahan ikat, dilanjutkan dengan membuat benda uji untuk dilakukan pengujian *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Immersion Retained Strength (IRS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss (CL)*, dan permeabilitas. Perencanaan benda uji untuk pengujian *marshall*, *ITS*, *Immersion Test*, dan *cantabro* dapat dilihat pada Tabel 4.8.

Tabel 4.7 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	Aspal Porus					
	Pen 60/70			Aspal Karet PG70		
	<i>Marshall</i>	<i>CL</i>	<i>AFD</i>	<i>Marshall</i>	<i>CL</i>	<i>AFD</i>
4,5	3	3	3	3	3	3
5	3	3	3	3	3	3
5.5	3	3	3	3	3	3
6	3	3	3	3	3	3
6,5	3	3	3	3	3	3
Total Benda Uji = 90						

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji pada Kondisi KAO pada Variasi Rendaman Air Laut

Parameter	Aspal Porus							
	Pen 60/70				Aspal Karet PG70			
	0 Jam	3 Jam	6 Jam	24 Jam	0 Jam	3 Jam	6 Jam	24 Jam
<i>Marshall</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
<i>Permea</i>	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
<i>CL</i>	3	3	3	3	3	3	3	3
Jumlah	18	15	15	15	18	15	15	15
Total	126							

4.5.5. Pengujian *Marshall*

Pengujian ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (*stability*) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran beraspal. Langkah-langkah dalam pengujian *Marshall* sebagai berikut.

1. Menimbang benda uji di dalam air.
2. Benda uji dikeringkan dengan kain lap yang lembab sampai kering permukaan jenuh (SSD), setelah itu benda uji ditimbang dalam kondisi SSD.
3. Benda uji direndam dalam bak perendam selama 30 menit sampai pada suhu $60 \pm 1C$.

4. Sebelum melakukan pengujian bersihkan batang penuntun (*guide rod*) dan permukaan dalam dari kepala penekan (*Test Head*). Lumasi batang penuntut sehingga kepala penekan yang atas dapat meluncur bebas, bila dikehendaki kepala penekan di rendam bersama-sama benda uji pada suhu antara 21 sampai 38°C.
5. Benda uji dikeluarkan dari bak perendam (*waterbath*) dan diletakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan selanjutnya pasang segmen atas diatas benda uji dan diletakan keseluruhannya dalam mesin penguji.
6. Pasang arloji kelelehan (*flow meter*) pada penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) di pegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan. Tekan selubung tangkai arloji kelelehan tersebut pada segmen atas dari kepala penekan selama pembebanan berlangsung.
7. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji. Atur kedudukan jarum arloji tekan pada angka nol.
8. Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan tetap sebesar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, atau pada saat pembebanan maksimum tercapai (stabilitas) da pada saat yang bersamaan catat pula angka pada arloji kelelehan (*flow*).

4.5.6. Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian *indirect tensile strength* seperti berikut.

1. Mengukur tinggi benda uji.
2. Setelah diukur tingginya, letakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength*.
3. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
4. Berikan pembebanan kepada benda uji sampai pembebanan maksimum tercapai.

4.5.7. Pengujian Permeabilitas

Langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Melapisi benda uji dengan lilin.
2. Meletakkan benda uji pipa bagian bawah.
3. Mengencangkan klem untuk permeabilitas horizontal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran.
4. Meletakkan pipa dan benda uji yang sudah diklem pada bak air yang sudah terisi penuh dengan air, dan permukaan benda uji bagian atas sama dengan tinggi permukaan air pada bak untuk menjaga tekanan agar tetap konstan.
5. Menjepit tabung dengan statif untuk menjaga posisi tabung tetap tegak.
6. Mengisi tabung dengan air sampai mencapai ketinggian 70 cm (h_1).
7. Mencatat waktu sampai air mencapai ketinggian 20 cm di atas permukaan benda uji (h_2).

4.5.8. Pengujian *Cantabro Loss (CL)*

Langkah- langkah pengujian *cantabro* adalah seperti berikut.

1. Sebelum dilakukan pengujian benda uji di timbang terlebih dahulu.
2. Selanjutnya benda uji dimasukkan kedalam mesin Los Angeles.
3. Kemudian diputar sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola besi.
4. Benda uji dikeluarkan dari mesin dan ditimbang untuk mengetahui berapa berat sampel yang hilang.

4.5.9. Pengujian *Asphalt Flow Down (AFD)*

Prosedur pengujian *Asphalt Flow Down* adalah sebagai berikut.

1. Menimbang berat nampan yang dilapisi aluminium *foil*
2. Selanjutnya dibuat campuran aspal dan setelah tercampur merata dituangkan di atas nampan yang sudah dilapisi aluminium foil, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya.
3. Cetakan yang telah berisi campuran aspal tersebut dimasukkan ke dalam oven dengan suhu $\pm 160^\circ\text{C}$ selama ± 60 menit.

4. Cetakan dikeluarkan dari dalam oven dan campuran aspal tersebut dituangkan secara cepat, kemudian berat cetakan berikut campuran aspal yang melekat pada aluminium *foil* ditimbang dan di catat.

4.5.10. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian dilakukan untuk memperoleh nilai kadar optimum pada campuran aspal porus dengan metode *Australian Asphalt Pavement Association*, 2004. Penentuan KAO dengan metode ini memiliki tiga syarat parameter yaitu *VITM*, *cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butiran) dan *Asphalt Flow Down* (aliran aspal ke bawah).

Contoh cara penentuan KAO metode *Australian Asphalt Pavement Association* adalah sebagai berikut.

Tabel 4.9 Penentuan KAO Menggunakan Metode *Australian Pavement Association*

No	Spesifikasi	Syarat
1	<i>Kadar Rongga Udara (VIM %)</i>	18 – 25
2	<i>Uji Cantabro Loss (%)</i>	< 35
3	<i>Uji Asphalt Flow Down (%)</i>	< 0,3

Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association (2004)*

Tahap penentuan nilai KAO sebagai berikut.

1. Kadar rongga minimum dalam campuran sebesar 18% diset untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (*OAC max*).
2. Nilai *cantabro loss* maksimum sebesar 35% diset untuk mendapatkan kadar aspal minimum (*OAC min*).
3. Kadar aspal sementara diperoleh dari rata-rata nilai maksimum dan minimum.
4. *Plotting* kadar aspal sementara pada grafik *Asphalt Flow Down*.
5. Apabila nilai hasil *plotting* melebihi nilai standar *asphalt flow down* yaitu 0,3%, maka perencanaan *OAC max* dan *OAC min* harus diulang.
6. Kadar aspal optimum diperoleh dengan menjumlahkan kadar aspal sementara dengan nilai *asphalt flow down*.

4.6. Pengumpulan Data Ruas Jalan

Data ruas jalan ditujukan untuk melengkapi proses analisis prediksi tipe kerusakan yang akan terjadi dan prediksi umur pelayanan pada perkerasan. Disimulasikan pada penggunaan jenis perkerasan porus dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Karet PG70. Jalan Semarang – Demak merupakan jalan yang ditingkatkan menjadi Jalan Tol merupakan bagian dari Proyek Strategis Nasional yang diatur dalam Peraturan Presiden Nomor 58 Tahun 2017 tentang perubahan Peraturan Presiden Nomor 3 Tahun 2016 mengenai percepatan pelaksanaan proyek strategis nasional. Dalam rangka mempercepat pembangunan jalan tol Semarang Demak yang terintegrasi dengan pembangunan tanggul laut untuk mengatasi masalah rob di wilayah Kota Semarang. Proses prediksi nilai umur layanan (analisis *KENPAVE*) pada penelitian ini menggunakan data dari Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DIY untuk lokasi Jalan Semarang-Demak tahun 2019.

1. Data Lalu Lintas

Data lalu lintas yang digunakan adalah lalu lintas harian rata-rata (LHR) jalan Semarang - Demak tahun 2019, dengan laju pertumbuhan lalu lintas pertahun sebesar 5% memiliki lebar lajur 3,6 meter dengan 2 lajur 2 arah. Berdasarkan data sekunder Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DIY diperoleh hasil perhitungan lalu lintas berdasarkan golongan kendaraan dapat dilihat pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10 Lalu Lintas Harian Rerata Ruas Jalan Semarang-Demak

No	Jenis kendaraan	LHR 2019 (Unit)
1	Bus Kecil	48
2	Bus Besar	331
3	Truk 2 Sumbu-Ringan	162
4	Truk 2 Sumbu-Sedang	3371
5	Truk 3 Sumbu	2145
6	Truk Semi Trailer	183
7	Truk Trailer	1065

Sumber: Kementerian PUPR Direktorat Jenderal Bina Marga Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional Jawa Tengah – DIY.

2. Data Tebal Perkerasan Eksisting

Adapun tebal perkerasan ruas Jalan Semarang – Demak sebagai berikut:

<i>AC-WC</i>	= 4 cm
<i>AC-BC</i>	= 6 cm
<i>AC-Base</i>	= 24,5 cm
Lapis Pondasi Agregat	= 30 cm

3. Rekapitulasi Prediksi Kendaraan Selama Umur Rencana

Data rekapitulasi prediksi kendaraan umur rencana selama 20 tahun berdasarkan perhitungan terdapat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11 Prediksi Jumlah Kendaraan Selama Umur Rencana

Jenis kendaraan	ESA4 (20-24)	ESA4 (24-40)	ESA5 (20-24)	ESA5 (23-40)
Bus Kecil	0	0	0	0
Bus Besar	202793.9533	937771.3868	202793.9533	937771.3868
Truk 2 S-Ringan	54643.32746	252729.3887	49675.75224	229753.9898
Truk 2 S-Sedang	10943217.57	38139162.3	18995773.89	48627431.93
Truk 3 Sumbu	10772975.84	28516690.1	18918396.6	38831237.58
Truk Semi Trailer	1234296.338	3834078.315	2221733.408	5025751.305
Truk Trailer	11815640.66	18376802.54	22456245.23	23196947.47

Berdasarkan Tabel 4.11 di atas, maka dapat diketahui nilai:

CESA4 = 123.940.236.4 ESAL

CESA5 = 178.552.947.2 ESAL

4.7. Analisis Data

1. Karakteristik *Marshall*

Setelah pengujian *Marshall* dilakukan analisis menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.13.

2. Permeabilitas

Nilai permeabilitas adalah kemampuan media yang porous untuk mengalirkan fluida kemudian dihitung menggunakan Persamaan 3.14.

3. *Cantabro Loss*

Pengujian cantabro dilakukan untuk mengetahui kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan mesin *Los Angeles*. Diperoleh dari Persamaan 3.15.

4. *Asphalt Flow Down (AFD)*

Asphalt Flow Down dilakukan untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadi pemisahan-pemisahan aspal dan juga sebagai parameter untuk menentukan KAO seperti yang disyaratkan *AAPA* (2004) diperoleh dari Persamaan 3.16.

5. Pengujian Durabilitas

Pengujian durabilitas aspal Karet PG70 yang dilakukan pada penelitian ini terdiri dari *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Diperoleh dari persamaan 3.17 sampai 3.19.

6. Analisis Mekanistik dengan *Software KENPAVE*

Software KENPAVE digunakan untuk memprediksi tegangan yang diakibatkan oleh beban lalu lintas dan digunakan sebagai dasar analisis pada *MEPDG (Mechanistic-Empiric Pavement Design Guide)* yaitu metode yang digunakan untuk mengetahui nilai repetisi dan memprediksi kerusakan yang terjadi.

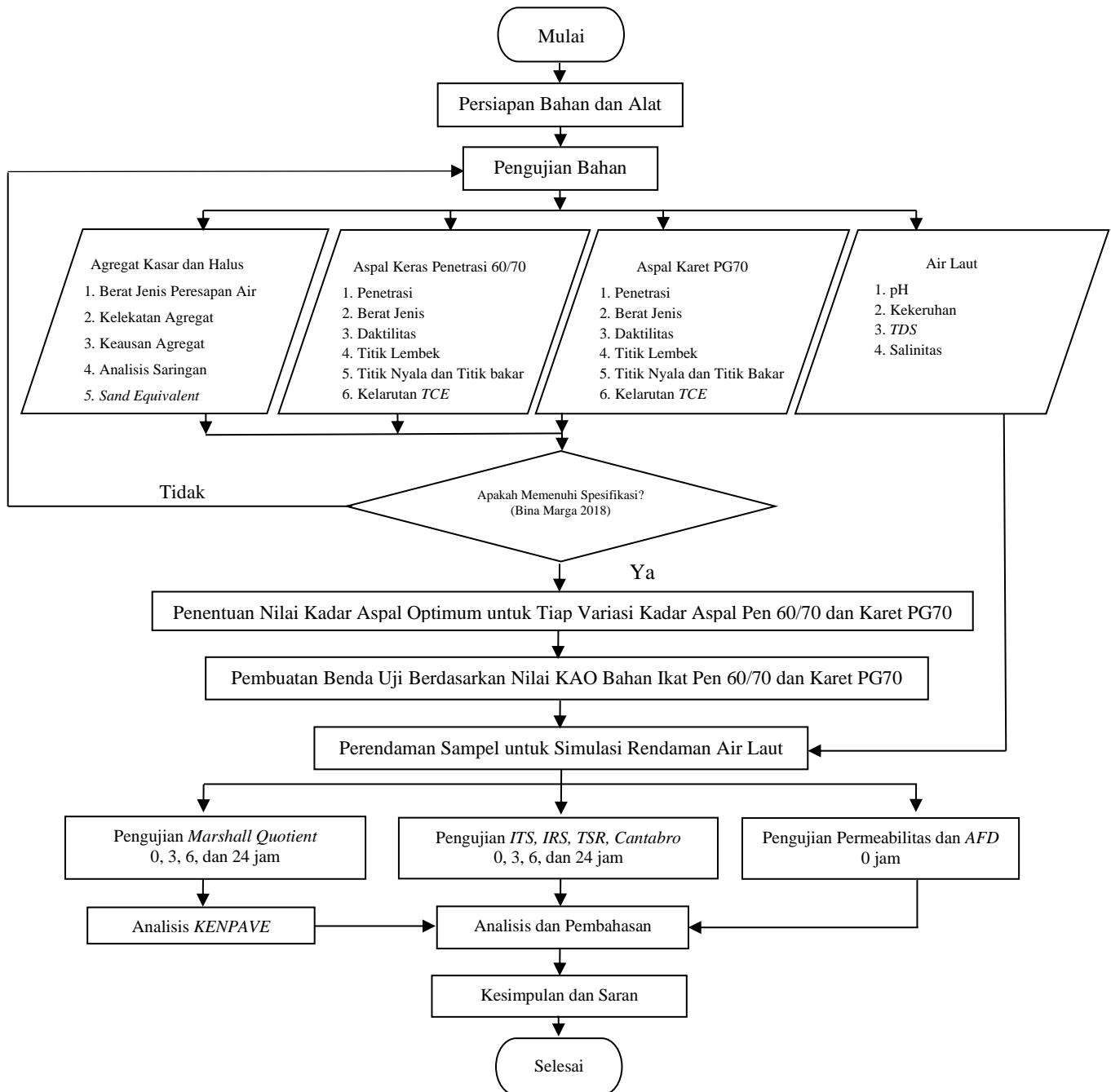
Langkah pengerjaan dengan menggunakan metode mekanistik dengan program *KENPAVE* (Huang, 2004). Sebagai berikut:

- 1) Melakukan permodelan struktur perkerasan dengan program *KENPAVE* dan perkerasan lentur dengan *KENLAYER* untuk beban yang terjadi di lapangan.
- 2) Meng-input informasi umum tentang struktur perkerasan, yaitu judul, file, tipe material, analisa kerusakan, akurasi hasil analisa, jumlah layer Z 53 (kedalaman), tipe respon yang akan dianalisa, jenis ikatan lapisan, satuan yang digunakan.
- 3) Meng-input jumlah *point* yang akan dianalisa dan jarak vertikal.
- 4) Meng-input tebal dan nilai *poission ratio* tiap lapis perkerasan.
- 5) Meng-input ikatan antar lapisan.
- 6) Meng-input jumlah periode yang ditinjau dan nilai modulus elastisitas tiap *layer*.

- 7) Meng-input info beban data lalu lintas, yaitu beban roda, radius kontak pembebanan, nilai beban, jarak antar roda Y dan X dan titik koordinat regangan tegangan yang di tinjau.
- 8) Menentukan hasil output deflaksi dari running program *KENLAYER* digunakan untuk mengetahui nilai repetisi yang menyebabkan kegagalan/kerusakan.

4.7. Bagan Alir Penelitian

Bagan alir penelitian merupakan bagan yang menunjukkan tahapan-tahapan suatu penelitian yang dibuat secara singkat dan jelas. Bagan alir pada penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.2.



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL DAN PEMBAHASAN PENELITIAN

5.1. Hasil Penelitian

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, diperoleh hasil hasil setiap pengujian.

5.1.1. Hasil Pengujian Karakteristik Agregat dan Bahan Ikat Aspal

1. Agregat

Pengujian terhadap karakteristik agregat mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018 dan pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Agregat berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulonprogo. Hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.1 dan Tabel 5.2.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,58	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air	$< 3,0$	1,54	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	> 95	99,5	Memenuhi
4	Kausan dengan mesin <i>Loss Angeles</i> (%)	< 40	26,6	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,80	Memenuhi
2	Penyerapan Agregat Terhadap Air (%)	$< 3,0$	2,35	Memenuhi
3	Nilai Setara Pasir/ <i>Sand Equivalent</i> (%)	≥ 50	85,25	Memenuhi

2. Karakteristik Aspal

Aspal yang digunakan pada pengujian karakteristik aspal adalah aspal Karet PG70 dan Pertamina Pen 60/70, mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.3 dan Tabel 5.4.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Aspal Pen 60/70	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,060	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	62,5	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	348	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	352	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,55	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	48	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Karet PG70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Aspal Karet PG70	Keterangan
1	Berat Jenis	≥ 1	1,052	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	-	25	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 50	60	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 225	311	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 225	317	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,14	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 54	58	Memenuhi

5.1.2. Hasil Pengujian Air Laut

Pengujian air laut meliputi pengujian tingkat keasaman atau kebasaaan (pH), kekeruhan, berat total padatan (TDS), dan salinitas. Data pengujian air laut yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 5.5.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Air Laut

No.	Parameter	Satuan	Hasil Uji
1	pH	-	7,34
2	Kekeruhan	NTU	8,31
3	TDS	mg/L	17.672
4	Salinitas	%	2,67
5	Klorida (Cl)	mg/L	12.240

Air laut diambil dari Pantai Utara Kaliwage, Semarang, Jawa Tengah. Pengujian air laut dilakukan di Laboratorium Kualitas Air dan Lingkungan Jurusan Teknik Lingkungan, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

5.1.3. Hasil Pengujian *Marshall Test* Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian dilakukan untuk memperoleh kadar aspal optimum dari campuran aspal porus. Adapun data yang didapatkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu Parameter *Marshall (VITM)*, *Asphalt Flow Down*, dan *Cantabro Loss*. Berdasarkan hasil pengujian tersebut, parameter yang digunakan untuk menentukan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus dapat dilihat pada Tabel 5.6 sampai Tabel 5.11.

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4,5	553,963	5,6	100,32	17,25	32,63	25,60	1,964
5	563,447	5,2	108,95	18,08	33,56	27,21	1,932
5,5	569,239	5,4	105,74	17,91	35,82	27,91	1,923
6	564,507	5,8	98,76	17,82	37,85	28,67	1,913
6,5	420,491	8,0	53,85	16,49	41,86	28,36	1,932
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25			

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO Aspal Porus Bahan Ikat Karet PG70

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
4.5	547.797	5.3	105.20	19.63	29.34	27.78	1.917
5	600.767	5.2	116.21	18.40	33.18	27.53	1.923
5.5	620.982	4.6	134.66	16.96	37.75	26.97	1.948
6	674.266	5.8	119.04	16.27	40.56	27.37	1.948
6.5	450.942	7.3	52.78	15.89	43.04	27.90	1.944
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25			

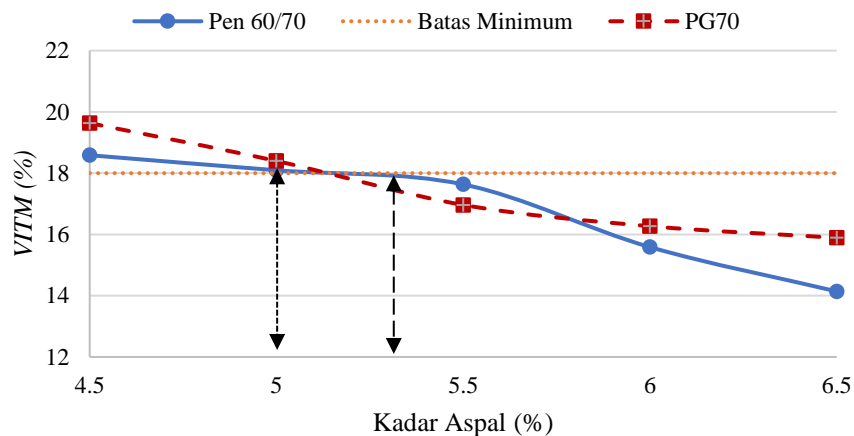
Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Jenis Bahan Ikat	
	Pen 60/70	Karet PG70
4,5	39,64	38,95
5	29,16	36,43
5,5	21,35	25,80
6	15,14	15,45
6,5	17,83	13,68

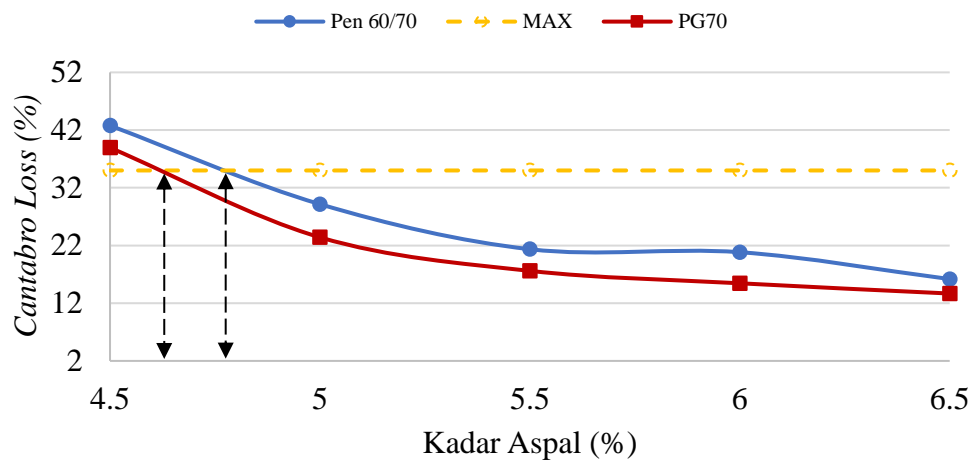
Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Jenis Bahan Ikat	
	Pen 60/70	Karet PG70
4,5	0,24	0,10
5	0,19	0,17
5,5	1,67	0,43
6	1,68	1,40
6,5	4,09	3,54

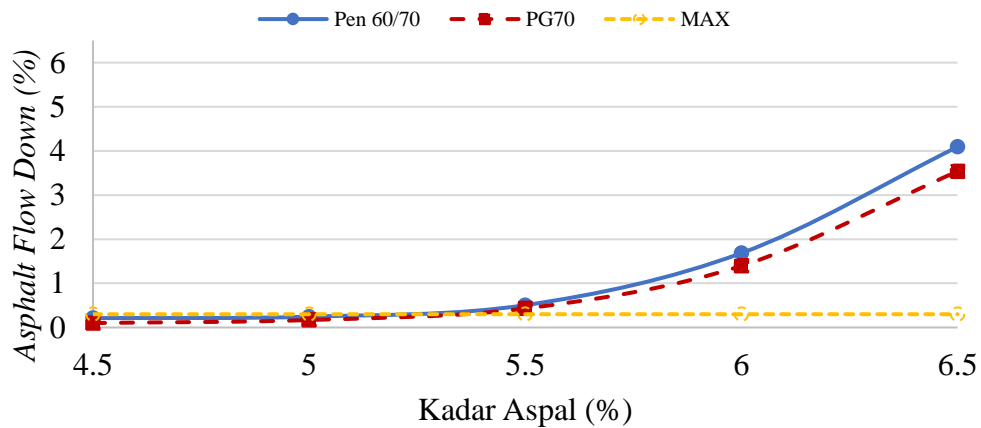
Grafik kadar aspal dengan nilai *VITM*, nilai *Cantabro Loss* dan Nilai *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO dapat dilihat pada Gambar 5.5 sampai Gambar 5.3.



Gambar 5.1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai *VITM*



Gambar 5.2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai CL



Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai AFD

Berdasarkan Gambar 5.1 sampai Gambar 5.3 diperoleh nilai *VITM* minimum sebesar 5,4%, nilai *Cantabro Loss* 4,8%, lalu diperoleh nilai rata-rata dari kedua nilai tersebut sebesar 5,10%. Nilai rata-rata di *plotting* pada grafik *AFD* diperoleh nilai 0,28%, sehingga didapatkan nilai kadar aspal optimum dari penjumlahan nilai rata-rata dan hasil *plotting* yaitu sebesar 5,40% untuk aspal Pen 60/70. Nilai *VITM* minimum sebesar 5%, nilai *Cantabro Loss* 4,7%, lalu diperoleh nilai rata-rata dari kedua nilai tersebut sebesar 4,85%. Nilai rata-rata di *plotting* pada grafik *AFD* diperoleh nilai 0,26%, sehingga didapatkan nilai kadar aspal

optimum dari penjumlahan nilai rata-rata dan hasil *plotting* yaitu sebesar 5,10 % untuk Karet PG70 dari berat total campuran.

Rekapitulasi hasil pembacaan dari ketiga grafik di atas dalam menentukan KAO campuran aspal porus, dapat dilihat pada Tabel 5.10.

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik *VITM*, *CL*, dan *AFD* untuk Menentukan KAO

Karakteristik Pengujian	Satuan (%)	
	Aspal Pen 60/70	Aspal Karet PG70
<i>VITM</i>	5,4	5
<i>Cantabro Loss</i>	4,8	4,7
Rata-rata	5,10	4,85
<i>Aspahlt Flow Down</i>	0,28	0,26
Kadar Aspal Optimum (KAO)	5,40	5,10

$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{\text{Nilai } VIM + \text{Nilai } Cantabro Loss}{2} + \text{Nilai } AFD$$

$$\text{KAO Aspal Porus Pen 60/70} = \frac{5,4 + 4,8}{2} + 0,28 = 5,40 \%$$

$$\text{KAO Aspal Porus Karet PG70} = \frac{5 + 4,7}{2} + 0,26 = 5,10 \%$$

5.1.4. Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus pada Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh rendaman air terhadap campuran aspal porus dengan dua jenis bahan ikat, yang meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, *Permeabilitas*, *CL*, dan *Asphalt Flow Down*. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.11 sampai Tabel 5.18.

**Tabel 5.11 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Campuran Aspal Porus
Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 dengan dan tanpa Variasi Lama Rendaman Air
Laut**

Rendaman Air Laut (Jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0	573,21	3,97	144,52
3	529,21	3,82	139,14
6	489,58	3,58	137,13
24	435,28	3,25	134,23
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400

**Tabel 5.12 Hasil Pengujian Stabilitas Marshall Campuran Aspal Porus
Bahan Ikat Aspal Karet PG70 dengan dan tanpa Variasi Rendaman Air
Laut**

Rendaman Air Laut (Jam)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
0	586,80	4,00	146,70
3	552,34	3,85	138,06
6	495,59	3,55	139,61
24	461,11	3,50	136,73
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian IRS Variasi Rendaman Air Laut

Rendaman Air Laut (Jam)	Index of Retained Strength (%)	
	Aspal Pen 60/70	Aspal Karet PG70
0	93,83	95,19
3	87,37	93,01
6	81,25	88,67
24	78,62	79,89

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian ITS Variasi Rendaman Air Laut

Rendaman Air Laut (Jam)	Indirect Tensile Strength (%)	
	Aspal Pen 60/70	Aspal Karet PG70
0	38,11	50,19
3	35,05	44,19
6	29,15	39,20
24	23,01	33,19

Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian *TSR* Variasi Rendaman Air Laut

Rendaman Air Laut (Jam)	<i>Tensile Strength Ratio (%)</i>	
	Aspal Pen 60/70	Aspal Karet PG70
0	73,86	84,55
3	71,54	82,28
6	68,07	80,69
24	63,32	75,72

Tabel 5.16 Rekapitulasi Hasil Pengujian *CL* Variasi Rendaman Air Laut

Rendaman Air Laut (Jam)	<i>Cantabro Loss (%)</i>	
	Aspal Pen 60/70	Aspal Karet PG70
0	22.21	18.79
3	22.39	18.99
6	23.41	19.56
24	27.24	24.31

Tabel 5.17 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* pada Kondisi KAO

Jenis Aspal	Kadar Aspal (%)	<i>Asphalt Flow Down (%)</i>
Aspal Pen 60/70	5,4	0,28
Aspal Karet PG70	5,1	0,23

Tabel 5.18 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas

Jenis Aspal	Permeabilitas (cm/detik)		
	Tekanan		Keterangan
	Tekanan 1 : 1	Tekanan 2 : 2	
Aspal Pen 60/70	$3,33 \times 10^{-3}$	$2,42 \times 10^{-3}$	Drainase Buruk
Aspal Karet PG70	$2,56 \times 10^{-3}$	$2,07 \times 10^{-3}$	Drainase Buruk

Tabel 5.19 Hasil Analisis Perhitungan *Stiffness Modulus*

Jenis Aspal	Pi (mm)	Temp. Aspal (°C)	Kecepatan (km/jam)	VMA (%)	<i>Stiffness Modulus of Bitumen (Mpa)</i>	<i>Stiffness Modulus of Mixture (Mpa)</i>
Pen 60/70	65,5	25	40	23.259	17.832	1069,667
Karet PG70	25		40	27.531	70.916	2623,351

Tabel 5.20 Rekapitulasi Analisis Perkerasan Lentur Alternatif

Jenis Bahan Ikat	Jenis Kerusakan	Beban Ganda Maksimum (ESAL)	Prediksi Umur Pelayanan (Tahun)
Pen 60/70	<i>Fatigue Cracking</i>	895.715.821	4.6
	<i>Rutting</i>	440.343.473	2.4
	<i>Permanent Deformation</i>	21.721.031	0.1
Karet PG70	<i>Fatigue Cracking</i>	1.059.423.461	5.3
	<i>Rutting</i>	542.679.897	2.9
	<i>Permanent Deformation</i>	31.652.561	0.2

5.1.5. Hasil Analisis Statistik Anova

Hasil analisis anova terdiri dari data-data uji Aspal, karakteristik *Marshall*, *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Tensile Strength Ratio (TSR)*, *Cantabro Loss*, Permeabilitas dan *Asphalt Flow Down*. Pada campuran porus berbagai ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 dengan variasi lama rendaman air laut. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan anova dapat dilihat pada Tabel 5.21 sampai Tabel 5. 23.

Tabel 5.21 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik Anova untuk Sifat Fisik Aspal Karet PG70 terhadap Aspal Pen 60/70

No.	Parameter	Hasil Analisis	Keterangan
1	Berat Jenis	H ₀ diterima	Tidak signifikan
2	Penetrasi	H ₁ diterima	signifikan
3	Daktilitas	H ₁ diterima	signifikan
4	Titik Bakar	H ₁ diterima	signifikan
5	Titik Nyala	H ₁ diterima	signifikan
6	Kelarutan <i>TCE</i>	H ₁ diterima	signifikan
7	Titik Lembek	H ₁ diterima	signifikan

Tabel 5.22 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik Anova untuk Pengaruh Variasi Bahan Ikat Terhadap *Asphalt Flow Down* dan Permeabilitas

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
1	<i>Asphalt Flow Down</i>	H ₁ Diterima	Signifikan
2	Permeabilitas Tekanan 1:1	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan
3	Permeabilitas Tekanan 2:1	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan

Tabel 5.23 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Two Way* Anova untuk Pengaruh Variasi Rendaman Air Laut Terhadap Stabilitas *Marshall*, *IRS*, *ITS*, *TSR*, dan *Cantabro Loss*

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
1	Stabilitas	H ₁ Diterima	Signifikan
2	<i>Flow</i>	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan
3	<i>Marshall Quotient</i>	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan
4	<i>Index of Retained Strength</i>	H ₀ Diterima	Signifikan
5	<i>Indirect Tensile Strength</i>	H ₁ Diterima	Signifikan
6	<i>Tensile Strength Ratio</i>	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan
7	<i>Cantabro Loss</i>	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan
8	Indeks Durabilitas Pertama	H ₁ Diterima	Signifikan
9	Indeks Durabilitas Kedua	H ₀ Diterima	Tidak Signifikan

5.2 Analisis Hasil Penelitian

5.3.1. Karakteristik Agregat dan Bahan Ikat Aspal

1. Agregat Kasar

a. Berat Jenis Agravat

Berat jenis agragat merupakan perbandingan antara berat satuan volume dari suatu materiak terhadap air pada suhu tertentu. Data berat jenis yang diperiksa berupa berat benda uji dalam keadaan basah jenuh (BJ), berat benda dalam air (BA), dan berat benda uji kering oven (BK). Hasil pengujian berat

jenis agregat kasar pada penelitian ini diperoleh nilai sebesar 2,65 yang telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu sebesar $> 2,5$.

b. Kelekatan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui sifat kekekalan agregat terhadap proses kimiawi sebagai akibat dari pengaruh perbedaan iklim dan cuaca, simulasi menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat jenuh untuk memperoleh indeks ketangguhan batu yang akan digunakan atau nilai kekekalan batu terhadap proses pelarutan yang disebabkan perendaman di dalam larutan natrium sulfat. Semakin rendah nilai indeks kekekalan agregat, maka kekekalan atau ketangguhan batu terhadap larutan natrium sulfat semakin tinggi dan sebaliknya. Hasil persentase indeks kekekalan agregat kasar terhadap larutan natrium sulfat adalah sebesar 5,94% dan memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\leq 12\%$.

c. Keausan Agregat dengan Mesin *Los Angeles*

Tujuan dari pengujian ini adalah mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Hasil sebesar 6,26 % untuk 100 putaran dan 25,75% untuk 500 putaran. Nilai tersebut memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $\leq 40\%$.

d. Kelekatan agregat terhadap aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan batuan yang tertutup aspal terhadap luas keseluruhan permukaan. Pada pengujian ini didapatkan hasil sebesar 98%, dan artinya kelekatan arggat terhadap aspal pada penelitian ini telah memenuhi pernyaratan Bina Marga 2018 yaitu bebesar $\geq 95\%$.

2. Agregat Halus

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis merupakan perbandingan antara berat agregat dengan berat volume air. Hasil pengujian berat jenis agregat halus Clereng sebesar 2,80. Hasil tersebut telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar $> 2,5$.

b. *Sand Equivalent*

Nilai *sand equivalent*/nilai setara pasir agregat halus menunjukkan tingkat kebersihan agregat terhadap debu, lumpur atau kotoran lainnya. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng sebesar 85,23%. Nilai *sand equivalent* memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $> 50\%$.

c. Material Lolos Saringan no. 200

Pengujian bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (0.075 mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Jika jumlah kandungan zat ini cukup banyak, mampu mengurangi kekuatan campuran aspal. Hasil pengujian ini memperoleh nilai sebesar 7,17% memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu $< 10\%$.

3. Karakteristik Aspal

a. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal diperoleh dari hasil perbandingan volume aspal dengan volume air. Hasil pengujian berat jenis aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai berat jenis aspal Pen 60/70 sebesar 1,060 dan nilai berat jenis aspal Karet PG70 sebesar 1,052. Nilai berat jenis kedua aspal tersebut menunjukkan hasil tidak signifikan. Berat jenis pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu ≥ 1 .

b. Penetrasi Aspal

Nilai penetrasi aspal menunjukkan tingkat kekerasan pada aspal yang telah diuji. Semakin rendah nilai penetrasi suatu aspal maka semakin keras aspal tersebut, begitu sebaliknya. Hasil pengujian penetrasi aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai penetrasi aspal Pen 60/70 sebesar 62,5 mm dan nilai penetrasi aspal Karet PG70 sebesar 25 mm.

Nilai penetrasi kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang signifikan, karena aspal Karet PG70 memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dan artinya memiliki tingkat kekerasan yang lebih tinggi daripada aspal Pen 60/70. Penetrasi pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 60 - 70 mm pada aspal Pen 60/70.

c. Daktilitas Aspal

Nilai daktilitas aspal menunjukkan tingkat kekenyalan aspal. Nilai daktilitas ini dapat mempengaruhi nilai fleksibilitas campuran, fleksibilitas campuran merupakan kemampuan suatu campuran dalam menahan beban yang akan diterima tanpa mengalami kerusakan. Hasil nilai daktilitas aspal Pen 60/70 sebesar 164 cm atau tidak putus pada saat pengujian dan nilai daktilitas aspal Karet PG70 sebesar 60 cm putus pada saat pengujian. Nilai daktilitas kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang signifikan. Nilai daktilitas pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 100 cm untuk aspal Pen 60/70 dan > 50 untuk aspal Karet PG70.

d. Titik Nyala Aspal

Nilai titik nyala aspal menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikan api. Pengujian dilakukan karena adanya sifat aspal yang *thermoplastik* atau kekentalan aspal yang dapat berubah-ubah sesuai perubahan suhu. Hasil pengujian titik nyala aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai titik nyala aspal Pen 60/70 sebesar 348°C dan aspal Karet PG70 sebesar 311°C . Nilai titik nyala kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang signifikan, karena aspal Karet PG70 memiliki nilai titik nyala yang lebih rendah dan artinya aspal lateks memiliki suhu lebih rendah dari aspal Pen 60/70. Nilai titik nyala pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu sebesar $> 232^{\circ}\text{C}$ untuk aspal Pen 60/70 dan $> 225^{\circ}\text{C}$ untuk aspal Karet PG70.

e. Titik Bakar Aspal

Aspal memiliki sifat *thermoplastic* yaitu kekentalan yang dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur maka semakin lunak atau cair aspal tersebut. Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan. Nilai titik bakar aspal menunjukkan batas temperatur di mana aspal mulai menimbulkan api yang terlihat menyala ± 5 detik pada permukaan aspal. Nilai titik bakar aspal Pen 60/70 sebesar 352°C dan aspal Karet PG70 sebesar 317°C . Nilai titik nyala kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang signifikan, karena aspal Karet

PG70 memiliki titik bakar yang lebih rendah sehingga aspal lateks memiliki suhu lebih rendah pada saat aspal terlihat terbakar singkat pada suatu titik di atas permukaan aspal. Nilai titik nyala pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 yaitu sebesar $> 232^{\circ}\text{C}$ untuk aspal Pen 60/70 dan $> 225^{\circ}\text{C}$ untuk aspal Karet PG70.

f. Kelarutan dalam *Tetrachloro Ethylene (TCE)*

Nilai kelarutan aspal dalam *TCE (Trichloroethylene)* merupakan persentase jumlah aspal yang larut dalam *Trichloroethylene* yang berpengaruh terhadap ikatan aspal dengan batuan. Hasil pengujian kelarutan aspal dalam *TCE* pada penelitian ini menunjukkan nilai kelarutan pada aspal Pen 60/70 sebesar 99,55% dan pada aspal Karet PG70 sebesar 98,14%. Hasil tersebut menunjukkan perbedaan yang tidak signifikan, dan memenuhi persyaratan Bina Marga 2018 spesifikasi AASHTO T44-03 yaitu $> 99\%$ untuk kedua jenis aspal.

g. Titik lembek

Nilai titik lembek aspal merupakan batas temperatur di mana aspal mulai menjadi lunak. Hasil pengujian titik lembek aspal pada penelitian ini menunjukkan nilai titik lembek aspal Pen 60/70 sebesar 48°C dan aspal Karet PG70 sebesar 58°C . Nilai titik lembek kedua aspal tersebut menunjukkan hasil yang berbeda secara tidak signifikan, karena aspal Karet PG70 memiliki nilai titik lembek yang lebih tinggi dan artinya temperatur aspal lateks pada mulai mengalami kelembekan atau mencapai tingkat *viskositas* lebih tinggi dari aspal Pen 60/70. Nilai titik nyala pada kedua aspal telah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 untuk nilai titik lembek yang disyaratkan pada aspal Karet PG70 sebesar > 54 dan pada aspal Pen 60/70 sebesar > 48 .

5.3.2. Karakteristik Air Laut

Pengujian air laut bertujuan untuk mengetahui kandungan mineral yang terdapat di dalam air laut.

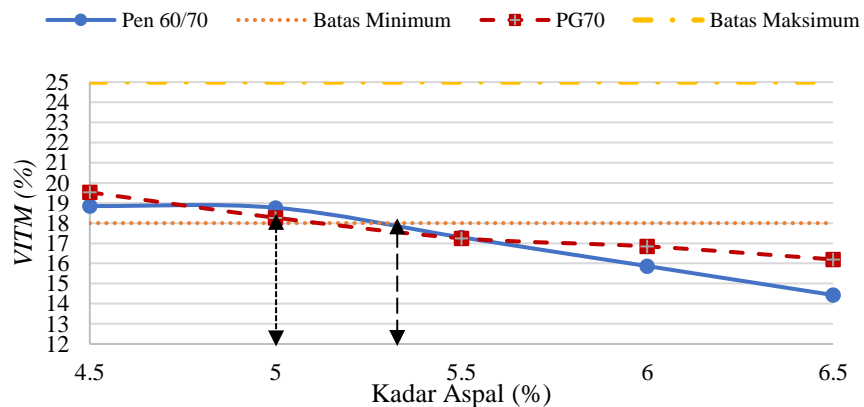
5.3.3. Karakteristik untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum (KAO) campuran Aspal Porus ditentukan dengan melihat tiga parameter, yaitu karakteristik *Marshall* Standar pada Nilai *VITM*, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down*, berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004). Berikut pembahasan dari hasil pengujian *Marshall* Standar, *Cantabro Loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

1. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap *Marshall* Standar

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

Void in the Total Mix (VITM) merupakan persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan. Berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. Persyaratan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) nilai *VIM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%, hal ini memudahkan air lolos melalui rongga campuran sesuai dengan fungsi campuran aspal porus, tetapi berdampak pada keawetan campuran. Berikut adalah grafik hasil perbandingan *VITM* pada campuran Aspal Porus berbahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 pada Gambar 5.4.



Gambar 5.4 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VITM*

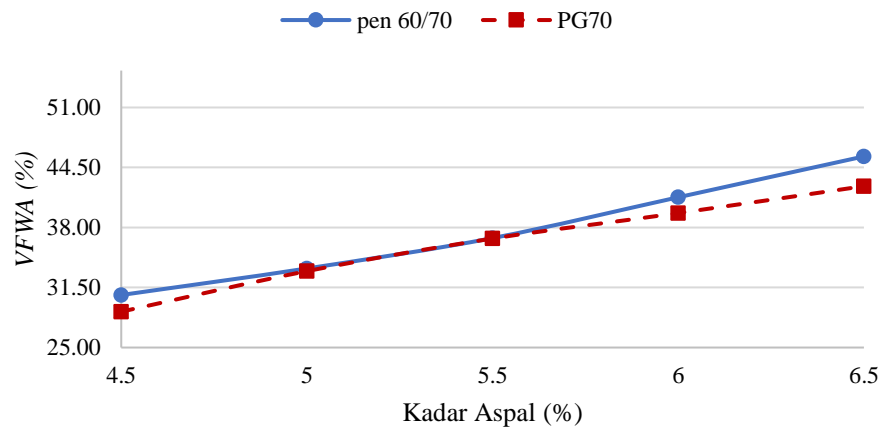
Berdasarkan Gambar 5.4 menunjukkan bahwa semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VITM*. Penurunan nilai *VITM* terjadi disebabkan semakin banyaknya aspal yang

mengisi rongga pada campuran. Semakin rendah nilai *VITM* maka semakin tinggi risiko campuran mengalami *bleeding*. nilai *VITM* sesuai spesifikasi *AAPA 2004* yaitu berkisar antara 18% - 25% pada kadar 5% - 5,25%, sedangkan nilai *KAO* yang didapat adalah 5,4% pada aspal Pen 60/70 dan 5% pada aspal Karet PG70. Campuran porus dengan bahan ikat aspal Karet PG70 lebih tinggi dibanding bahan ikat aspal Pen 60/70 pada kadar aspal yang sama. Hal ini terjadi karena karena aspal Karet PG70 memiliki kekerasan yang lebih tinggi. Semakin besar rongga pada suatu campuran, menyebabkan campuran menjadi lebih porus dan memungkinkan untuk dilalui udara dan air yang menyebabkan durabilitas dari campuran mengalami penurunan.

Hal ini sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Mentari (2023), dimana nilai *VITM* mengalami penurunan disetiap penambahan kadar aspal pada campuran porusnya. Penurunan nilai *VITM* pada campuran AC-WC tiap penambahan kadar aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55 juga terdapat pada penelitian Hafidz dan Fauziah (2020), campuran dengan bahan ikat Starbit E-55 memiliki nilai *VITM* yang lebih besar dibanding bahan Ikat Pen 60/70. Senada dengan penelitian Anggiani dkk. (2020), dimana pada penelitiannya menjelaskan bahwa bahan ikat dengan nilai penetrasi yang rendah akan memperbesar nilai *VITM* campuran. Hal tersebut dikarenakan bahan ikat lebih sulit mengisi rongga.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

VFWA merupakan persentase dari banyaknya rongga dalam suatu campuran yang terisi oleh aspal. Nilai *VFWA* yang terlalu rendah akan menyebabkan campuran bersifat porous dan mudah teroksidasi, menyebabkan ikatan antar agregat menurun dan kinerja campuran menjadi rendah. Sebaliknya, Nilai *VFWA* yang besar menyebabkan campuran menjadi lentur karena rongga campuran cukup terisi oleh aspal. nilai *VFWA* terlihat pada Gambar 5.5.



Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai VFWA

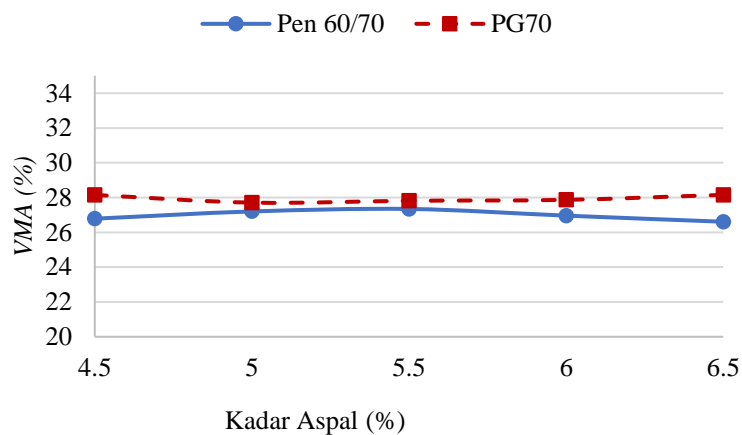
Pada Gambar 5.4 dapat disimpulkan bahwa nilai *Void Filled with Asphalt (VFWA)* akan terus meningkat seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Nilai tertinggi adalah 45,70% pada penggunaan kadar aspal 6,5% dan nilai VFWA terendah adalah 30,69% pada penggunaan kadar aspal 4,5% terhadap campuran aspal porus bahan ikat aspal Pen 60/70. Sedangkan Nilai tertinggi adalah 42,47% pada penggunaan kadar aspal 6,5% dan nilai VFWA terendah adalah 28,88% pada penggunaan kadar aspal 4,5% terhadap campuran aspal porus bahan ikat aspal Karet PG70.

Sejalan dengan penelitian Mentari (2023), dimana nilai VFWA campuran aspal porus mengalami kenaikan yang signifikan yaitu sebesar 33,92% menjadi 47,00% pada kadar aspal 5% sampai 7%. Penelitian oleh M. A. Hadi dkk. (2021), diperoleh hasil VFWA aspal Pen 60/70 lebih tinggi dibanding aspal Starbit E-55. Hal tersebut membuktikan bahwa jenis aspal Pen 60/70 bersifat relatif lebih peka terhadap perubahan suhu sehingga lebih mudah mengisi rongga campuran perkerasan.

c. *Void in Mineral Agregate (VMA)*

VMA adalah persen rongga udara yang ada di antara partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. Nilai VMA akan naik berdasarkan naiknya kadar aspal, dan semakin tinggi nilai VMA maka

kekedapan campuran terhadap air dan udara semakin tinggi, karena semakin banyak rongga dalam campuran yang terisi aspal. Nilai *VMA* digunakan sebagai ruang untuk menampung aspal dan rongga udara yang dibutuhkan dalam campuran agregat aspal. Grafik nilai *Void in Mineral Agregate* (*VMA*) yang didapat pada campuran Aspal Porus berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Karet PG70 dapat dilihat pada Gambar 5.6.



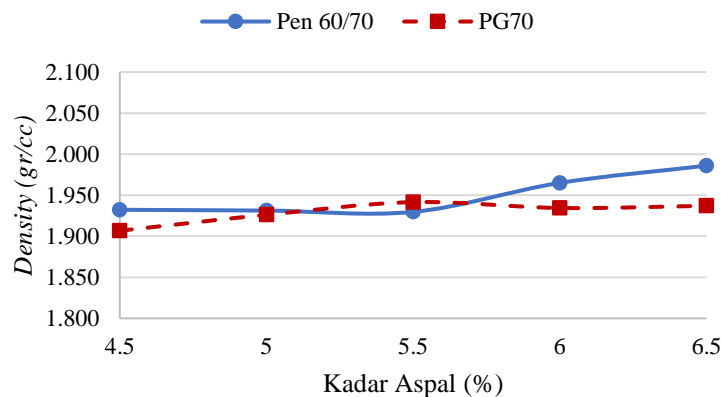
Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat dilihat bahwa nilai *Void in Mineral Agregate* (*VMA*) akan mengalami peningkatan dengan adanya penambahan kadar aspal dan akan mengalami penurunan setelah mencapai batas optimum. Nilai *VMA* tertinggi pada kada aspal 5,5% yaitu sebesar 27,35% pada campuran Aspal Porus berbahan ikat Pertamina Pen 60/70. Sedangkan untuk campuran Aspal Porus bahan ikat aspal Karet PG70 nilai *VMA* tertinggi pada kada aspal 6,5% yaitu sebesar 28,15%. Pada penggunaan kadar aspal yang sama, nilai *VMA* pada campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 lebih tinggi dibandingkan campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Pen 60/70. Tingginya nilai *VMA* pada campuran perkerasan dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 dikarenakan Aspal Karet PG70 memiliki penetrasi yang lebih rendah dan memiliki titik lembek yang tinggi, sehingga lebih sulit dalam mengisi rongga antar butiran agregat dan mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat semakin kecil.

Peningkatan nilai *VMA* sejalan dengan penelitian M. A. Hadi dkk. (2021), dimana *VMA* pada setiap jenis aspal akan mengalami peningkatan seiring adanya penambahan kadar aspal yang digunakan. Nilai *VMA* untuk aspal modifikasi dalam hal ini aspal Starbit E-55 lebih tinggi dibanding penggunaan aspal Pen 60/70 yang dimungkinkan terjadi akibat aspal modifikasi memberikan dampak berupa besarnya *VITM* pada perkerasan sehingga seiring meningkatnya kadar aspal maka nilai *VMA* campuran akan meningkat.

d. Kepadatan (*Density*)

Kepadatan atau *density* merupakan nilai berat volume yang menunjukkan kepadatan suatu campuran agregat aspal. Semakin tinggi kadar aspal maka nilai *density* akan semakin naik sehingga campuran semakin rapat dan padat. Meningkatnya kadar aspal, mengakibatkan jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir pada volume campuran semakin besar. Nilai kepadatan hasil campuran aspal porus berbahan ikat Pertamina Pen 60/70 dan Karet PG70 dapat dilihat pada Gambar 5.7.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.7 dapat diketahui nilai *density* campuran mengalami peningkatan dengan bertambahnya kadar aspal, hal ini dapat terjadi karena aspal yang digunakan memiliki sifat mudah cair. Semakin besar kadar aspal, maka aspal akan tercampur dengan agregat semakin

merata dan rapat, sebaliknya semakin rendah kadar aspal mengakibatkan rongga yang ada akan semakin besar, sehingga kepadatan campuran akan semakin kecil. Campuran porus dengan bahan ikat Karet PG70 mengalami peningkatan yang dominan dimulai dari kadar aspal 4,5% hingga 5,5%. Hal tersebut membuktikan aspal Karet PG70 memberikan dampak kepadatan pada jumlah kadar aspal yang tepat dapat mengisi rongga dan kepadatan meningkat dengan maksimal.

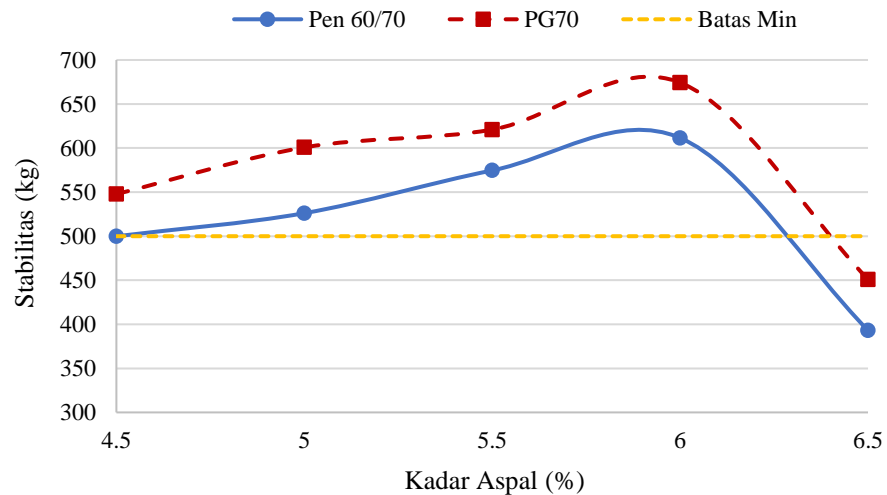
Sejalan dengan penelitian M. D. Hafidz dkk. (2021), nilai *Density* pada campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan aspal modifikasi Starbit E-55 mengalami peningkatan pada tiap kadar aspalnya. Penurunan *Density* juga ditemukan pada penelitian M. A. Hadi dkk. (2021), dimana campuran dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55 pada kedua jenis perkerasan *Superpave* dan *AC-WC* mengalami peningkatan untuk tiap kadar aspal yang digunakan.

e. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas merupakan kemampuan suatu perkerasan mendukung beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk. Stabilitas diperoleh dari gesekan antar partikel, gaya pengunci, dan gaya adhesi yang baik antara butuan dan aspal. Gaya-gaya tersebut dipengaruhi oleh kekerasan batuan, ukuran gradasi, bentuk butiran, kadar aspal, dan tingkat kepadatan campuran.

Berdasarkan Gambar 5.8 Nilai stabilitas campuran aspal porus yang memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu >500 kg yaitu kadar aspal 4,5% - 6% dengan kadar optimum sebesar 569.23 Kg pada aspal Pen 60/70 dan 674,26 Kg dengan kadar yang sama yaitu 6% kemudian kembali mengalami penurunan. Hal ini diakibatkan adanya perubahan fungsi aspal yang sebelumnya berfungsi sebagai pengikat berubah menjadi pelicin akibat penggunaan kadar aspal yang terlalu banyak, stabilitas campuran meningkat hingga mencapai nilai optimum dan mengalami penurunan setelahnya. Perkerasan dengan aspal Karet PG70 sebagai bahan ikat memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dibanding perkerasan yang menggunakan bahan

ikat aspal Pen 60/70. Nilai stabilitas tinggi yang dimiliki PG70 dikarenakan aspal memberikan sifat kekerasan yang lebih pada campuran porus, juga dapat dilihat dari tingginya nilai penetrasi yang dimiliki. Nilai stabilitas dapat dilihat pada Gambar 5.8.



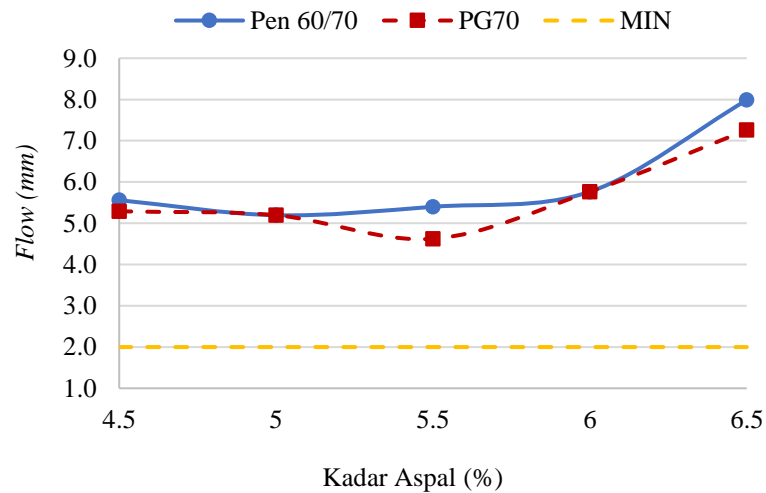
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Stabilitas

Penurunan nilai stabilitas juga terdapat pada penelitian Ramadhan (2022), dimana nilai stabilitas pada campuran porus menggunakan *Gilsonite Additive* akan meningkat hingga mencapai kadar aspal optimum dan menurun setelahnya. Hal yang sama terdapat pada penelitian Mawarni (2019), yang juga mengalami nilai stabilitas yang semula mengalami peningkatan akan turun setelah mencapai batas maksimum. Penelitian oleh Hadi dkk. (2021), yang meneliti campuran Superpave dan AC-WC dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan *Starbit E-55* menyimpulkan bahwa aspal modifikasi *starbit E-55* pada kedua jenis campuran memiliki nilai stabilitas yang lebih tinggi dibanding aspal Pen 60/70.

f. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan merupakan perubahan bentuk suatu campuran aspal yang diakibatkan oleh beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 *inch*. Nilai *flow* yang besar akan menyebabkan kelenturan pada

lapis permukaan campuran akan semakin besar, tingkat leleh pada campuran aspal dipengaruhi oleh banyaknya kadar aspal dan daktilitas. Nilai daktilitas yang rendah akan menyebabkan fleksibilitas pada campuran akan semakin rendah. Grafik nilai perbandingan kelelehan pada campuran Aspal Porus berbahan Pertamina Pen 60/70 dan Karet PG70 dapat dilihat pada Gambar 5.9.



Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai Flow

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat dilihat bahwa nilai *flow* cenderung mengalami peningkatan seiring penambahan kadar aspal, nilai *flow* untuk campuran dengan bahan ikat Aspal Pen 60/70 tertinggi terlihat pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 8 mm, dan campuran dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 tertinggi terlihat pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 7,26. Sehingga nilai *flow* untuk kedua jenis aspal ikat di atas memenuhi persyaratan AAPA 2004 2-6 mm dengan kadar aspal 4,5% sampai dengan kadar 6%.

Peningkatan nilai *flow* disebabkan adanya penambahan kadar aspal yang juga menyebabkan menebalnya lapis aspal yang menyelimuti agregat dan mengakibatkan kelenturan semakin meninggi hingga terjadi deformasi plastis (perubahan bentuk). Penurunan pada beberapa kadar aspal dikarenakan agregat terdistribusi tidak merata dan penurunan temperatur

aspal pada proses pemadatan campuran. Penggunaan bahan ikat aspal Pen 60/70 memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibanding aspal Karet PG70, hal ini disebabkan karena nilai penetrasi Pen 60/70 lebih tinggi dan rendahnya nilai titik lembek. Sehingga berdasarkan penetrasi dan titik lembek tersebut diketahui bahwa aspal Pen 60/70 lebih peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal Karet PG70.

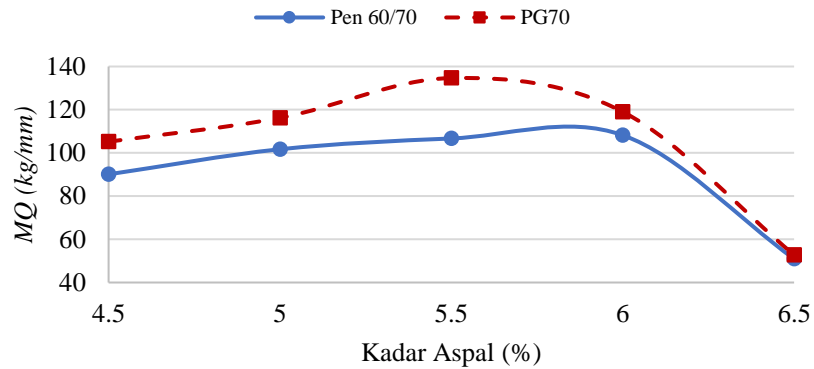
Nilai *flow* yang dominan pada aspal Pen 60/70 juga terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Arkan dan Subarkah (2018). Sejalan dengan penelitian oleh Hadi dkk. (2021), dimana nilai *flow* pada bahan ikat Pen 60/70 dan Starbil E-55 akan mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal yang dilakukan. Penelitian yang dilakukan Mawarni (2019) didapatkan nilai *flow* mengalami penigkatan dan penurunan yang diakibatkan pencampuran antara agregat dan aspal tidak terdistribusi sempurna, serta aspal mengalami penurunan suhu pada saat proses pemadatan terjadi.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

Marshall Quotient (MQ) merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan nilai *flow*. Nilai *MQ* menunjukkan kelenturan (fleksibilitas) dari campuran agregat aspal, semakin besar nilai *MQ* maka campuran tersebut semakin kaku, dan sebaliknya bila nilai *MQ* kecil maka campuran tersebut akan semakin lentur. Grafik perbandingan nilai *MQ* pada campuran aspal porus berbahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70 dan Karet PG70 Gambar 5.10.

Berdasarkan Gambar 5.10, nilai *MQ* cenderung mengalami kenaikan yang signifikan dari 4,5% - 6,5% kadar aspal dan kembali turun pada kadar aspal 6,5% untuk bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70. Dapat dilihat bahwa nilai *MQ* akan menurun setelah mencapai batas optimum yang juga merupakan pengaruh dari nilai stabilitas dan *flow* yang didapat sebelumnya. Distribusi antara agregat dan bahan ikat serta penurunan temperatur saat dilakukan pemadatan campuran menjadi penyebab mengapa nilai *MQ* pada campuran aspal porus pada kedua bahan ikat mengalami naik

turun. Pada penggunaan kadar aspal yang sama, nilai MQ pada campuran Aspal Porus dengan bahan ikat PG70 lebih tinggi dibandingkan campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Pen 60/70. Nilai MQ dapat dilihat pada Gambar 5.8.



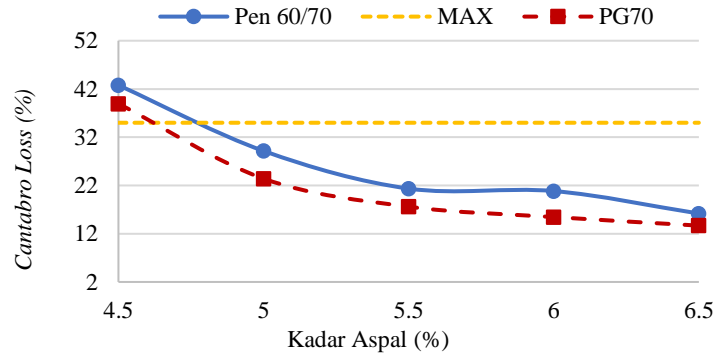
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Nilai MQ

Tingginya nilai MQ pada campuran perkerasan dengan bahan ikat PG70 dikarenakan aspal memiliki nilai penetrasi yang lebih rendah dibandingkan aspal Pen 60/70, sehingga perkerasan lebih kaku. Hal ini juga disebabkan oleh tingginya nilai stabilitas yang didapatkan pada perkerasan dengan menggunakan bahan ikat PG70. Penurunan nilai MQ yang disebabkan oleh semakin besarnya kadar aspal terdapat pada campuran aspal porus pada kadar 5% sampai dengan 7% penelitian yang dilakukan Ramadhan, (2022). Hal serupa terdapat pada penelitian Ramadhan dan Reza (2014), dimana nilai MQ dipengaruhi oleh faktor-faktor seperti tekstur permukaan, gradasi, bentuk agregat, jumlah pemadatan, serta temperatur pada campuran bergradasi porus.

2. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian yang 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. Persyaratan

menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Adapun hasil dapat dilihat pada Gambar 5.11.



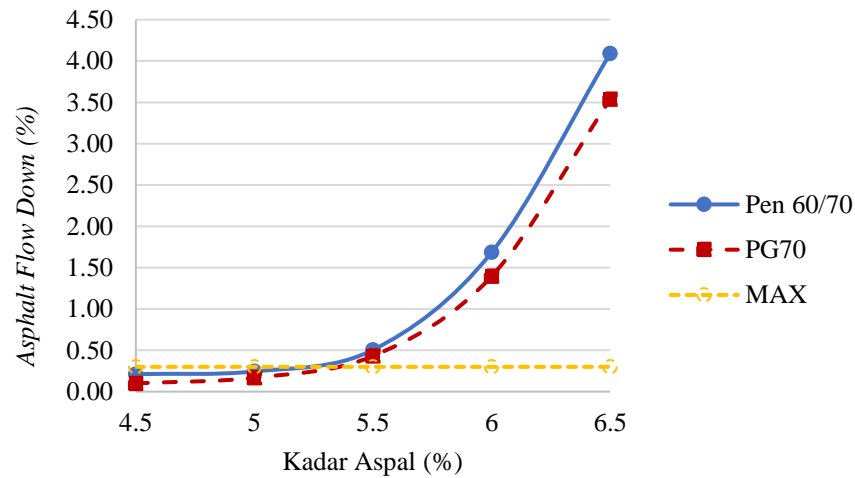
Gambar 5.11 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Cantabro Loss*

Berdasarkan Gambar 5.11 dapat diketahui bahwa *CL* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal yang digunakan. Campuran akan tahan terhadap keausan. Daya ikat campuran antar aspal dan agregat yang baik mengakibatkan meningkatnya kemampuan campuran aspal porus tahan terhadap benturan. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi nilai *CL* sesuai spesifikasi *AAPA* 2004 adalah $< 35\%$, dan untuk KAO yang diperoleh yaitu 4,8 % untuk aspal porus bahan ikat Pen 60/70 dan 4,7% untuk bahan ikat Karet PG70 yang memenuhi persyaratan $< 35\%$. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Marizka (2021) dimana hasil penelitian menunjukkan nilai *CL* semakin menurun seiring bertambahnya penggunaan kadar aspal. Campuran aspal porus dengan nilai *CL* mengalami penurunan juga terdapat pada penelitian yang dilakukan oleh Hafidz dan Fauziah (2020).

3. Analisis Pengaruh Kadar Aspal Terhadap Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian *Asphalt Flow Down* adalah parameter untuk mengetahui banyak aspal yang efektif untuk menyelimuti agregat di dalam campuran, sehingga campuran memiliki durabilitas yang baik. Bertujuan untuk mengetahui kadar aspal maksimum tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya pemisahan aspal. Sesuai spesifikasi *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) besarnya nilai

Asphalt Flow Down yaitu lebih kecil dari 0,3%. Hasil penelitian dapat dilihat pada Gambar 5.12.



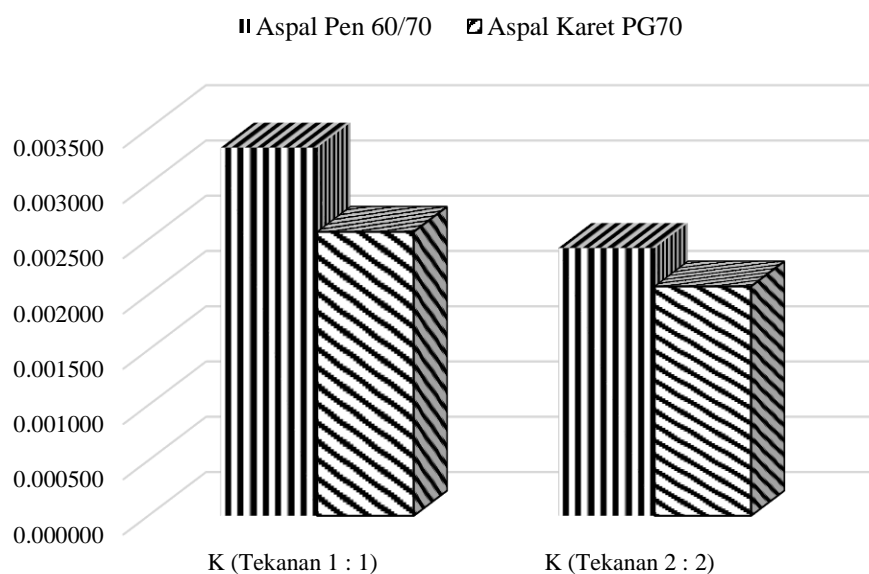
Gambar 5.12 Grafik Hubungan Kadar Aspal dengan *Asphalt Flow Down*

Berdasarkan Gambar 5.12 nilai *Asphalt Flow Down* mengalami peningkatan signifikan seiring penambahan kadar aspal. Berdasarkan spesifikasi AAPA 2004 yaitu $< 0,3\%$ hasil pengujian nilai *AFD* yang memenuhi batas maksimum adalah kurang dari 5,5 % untuk kedua jenis bahan ikat. Meningkatnya persentase nilai *AFD* menunjukkan tingkat pemisahan antara aspal dan agregat. Hal tersebut menunjukkan aspal yang menyelimuti agregat pada campuran aspal porus semakin tebal dan akan meleleh terpisah dari campuran.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Ramadhan dan Reza (2014), dimana nilai *Asphalt Flow Down* pada campuran aspal porus mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar aspal. Peningkatan jumlah persentase *Asphalt Flow Down* menunjukkan campuran tidak tercampur secara homogen sehingga pemisahan antara agregat dan aspal terjadi, hal tersebut mengakibatkan aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal dan aspal yang melekat pada permukaan terluar akan terpisah dari campuran. Peningkatan nilai *AFD* pada aspal porus juga terdapat pada penelitian Hafidz dan Fauziah (2020).

5.3.4. Karakteristik Permeabilitas pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70

Pengujian permeabilitas bertujuan untuk mengetahui seberapa kedap suatu campuran beton aspal atau tingkat kerapatan suatu perkerasan untuk dapat ditembus oleh air. Pada pengujian permeabilitas diberikan 2 jenis tekanan, yaitu pengujian dengan tekanan 1:1 atau tekanan sebesar 1 kg/cm² dan tekanan 2:2 atau sebesar 2 kg/cm². Nilai koefisien pada campuran Aspal Porus dengan bahan Pen 60/70 dan PG70 dapat dilihat pada Gambar 5.13.



Gambar 5.13 Grafik Hubungan Permeabilitas pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat dilihat bahwa campuran Aspal Porus pada kedua jenis aspal sama-sama bersifat drainase buruk, serta dapat disimpulkan bahwa nilai koefisien permeabilitas pada tekanan 1:1 dan tekanan 2:2 campuran Aspal Porus dengan bahan Pen 60/70 dan PG70 tidak memiliki perbedaan yang signifikan, namun dapat diperhatikan bahwa nilai permeabilitas pada campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Karet PG70 lebih kecil. Hal ini disebabkan karena nilai KAO aspal Karet PG70 sebesar 5,10% lebih kecil dibanding aspal Pen 60/70 sebesar 5,4%. Berdasarkan nilai KAO yang lebih kecil, maka *VITM* menjadi besar

dan nilai *VFWA* kecil, yang menyebabkan agregat terlindung dari infiltrasi air. Dapat diketahui bahwa campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Karet PG70 memiliki karakteristik lebih mudah ditembus air dibandingkan dengan campuran aspal porus berbahan ikat Pen 60/70. Semakin buruk drainase aspal porus, maka akan semakin baik pula aspal porus dalam meloloskan air.

Pengujian oleh Fauziah dan Yusuf (2018) yang meneliti mengenai kinerja *Stone Matrix Asphalt* yang menggunakan aspal Pen 60/70 dan Starbit E-55 memperoleh nilai koefisien stabilitas pada bahan ikat aspal Pen 60/70 lebih kecil dibanding aspal modifikasi Starbit E-55. Kasus serupa dimana nilai besar kecilnya nilai KAO mempengaruhi nilai stabilitas yang dihasilkan pada campuran dengan dua jenis bahan ikat yang berbeda. Pengujian Hadi dan Fauziah (2019), menyimpulkan bahwa nilai permeabilitas pada campuran *Superpave* dan *AC-WC* dengan dua jenis bahan ikat yaitu Pen 60/70 dan Starbit E-55 masuk kategori drainase buruk relatif ke air.

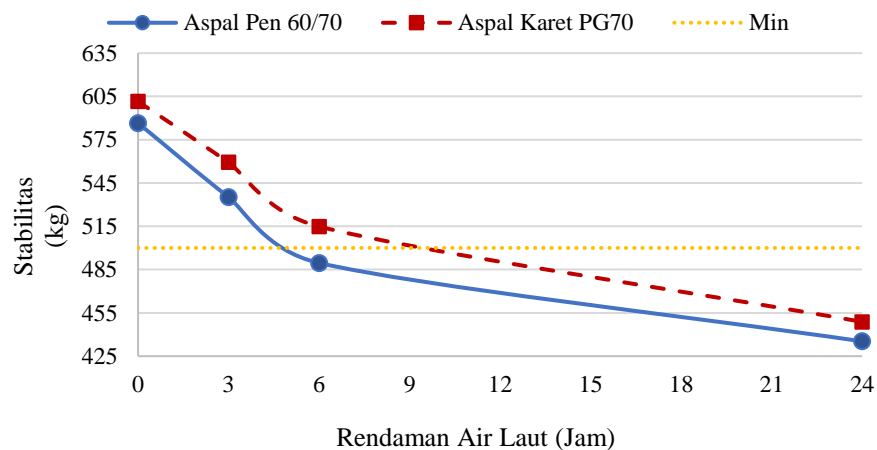
5.3.5. Karakteristik Aspal pada Kadar Aspal Optimum dengan Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut

1. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Karakteristik Marshall pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Karet PG70
 - a. Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas (*Stability*) merupakan kemampuan perkerasan dalam mendukung beban lalu lintas yang diterimanya tanpa mengalami deformasi. Nilai stabilitas bergantung dari kemampuan campuran dalam mengadakan kuncian (*interlocking*) dan gaya gesek (*friction*). Sebelum pengujian stabilitas dilakukan, pada penelitian ini diberikan gangguan terhadap perkerasan berupa rendaman air laut dengan variasi durasi 0, 3, 6, dan 24 jam. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan, diperoleh grafik hubungan nilai stabilitas terhadap variasi durasi rendaman air laut pada Gambar 5.14.

Pada Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai stabilitas campuran porus dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan Karet PG70 yang memenuhi spesifikasi >500 kg adalah pada rendaman 0 jam dan 3 jam. Nilai stabilitas mengalami

penurunan dengan durasi rendaman yang semakin lama. Hal ini menunjukkan bahwa ada pengaruh penurunan ikatan antara agregat dan aspal yang disebabkan karena air laut yang masuk ke dalam rongga campuran mengandung berbagai macam senyawa kimia. Berdasarkan grafik di atas dapat dilihat bahwa penggunaan aspal karet pada campuran memiliki kinerja yang lebih baik dalam menahan beban dalam kondisi terendam air laut. Nilai stabilitas campuran aspal porus menggunakan bahan bahan ikat Karet PG70 lebih besar dari campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70. Hal ini disebabkan oleh sifat aspal karet yang lebih kaku dari aspal Pen 60/70, ditunjukkan dari nilai penetrasi aspal karet yang lebih kecil dari aspal Pen 60/70.



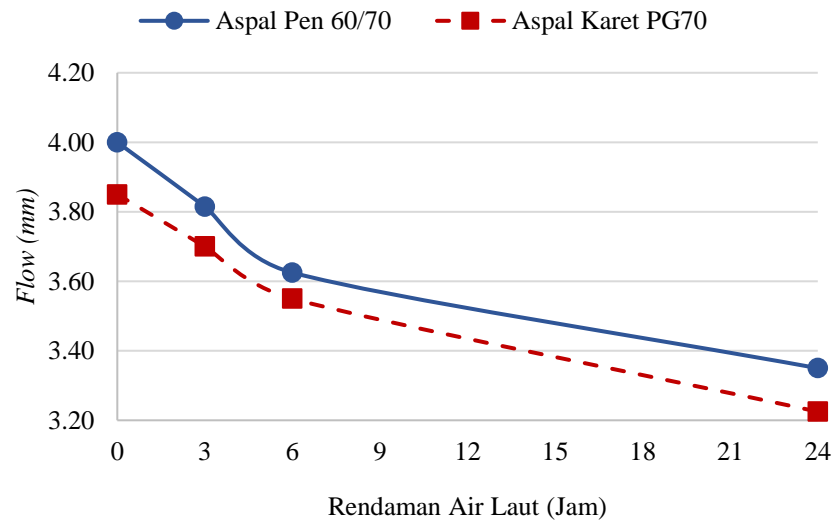
Gambar 5.14 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai Stabilitas pada Campuran Aspal Porus

Penelitian yang dilakukan oleh Mawarni (2019) yang meneliti tentang campuran aspal porus menggunakan bahan tambah ban karet, juga menyebutkan bahwa penambahan ban karet dalam campuran menyebabkan nilai stabilitas mengalami penurunan. Penelitian oleh Fauziah dan Yusuf (2018), yang meneliti tentang kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E55 akibat lama rendaman air laut, nilai stabilitas mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi rendaman. Hal ini terjadi karena air laut dapat mengurangi kemampuan aspal dalam mengikat

agregat. Nilai stabilitas campuran Aspal porus menggunakan bahan tambahan karet yang direndam di dalam air laut mengalami penurunan sesuai dengan hasil penelitian yang dilakukan.

b. *Flow*

Nilai *Flow* campuran aspal porus bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 terhadap rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 5.15.



Gambar 5.15 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *Flow* pada Campuran Aspal Porus

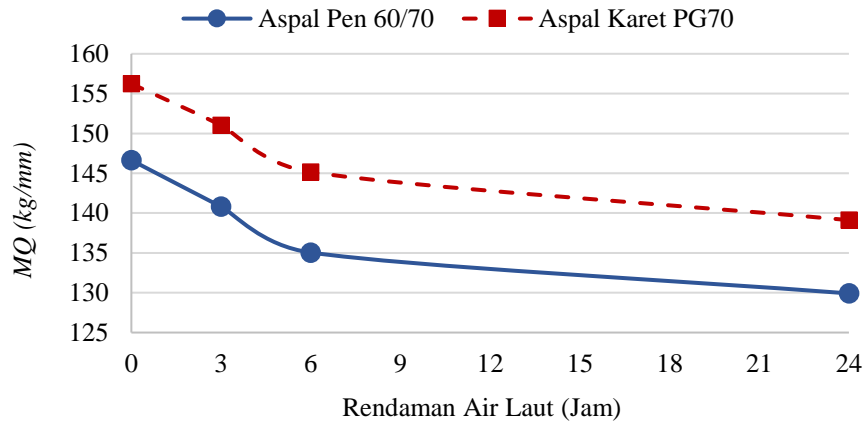
Berdasarkan Gambar 5.15, dapat dilihat bahwa pada campuran aspal porus dengan kedua jenis bahan ikat telah memenuhi spesifikasi yaitu berkisar antara 2-6 mm serta mengalami penurunan akibat rendaman air laut. Grafik campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 memiliki nilai *flow* yang lebih tinggi dibandingkan PG70. Hal ini dikarenakan Aspal Pen 60/70 memiliki nilai titik leleh yang lebih rendah, sehingga aspal Pen 60/70 lebih peka terhadap perubahan suhu yang terjadi.

Penelitian oleh Siwi (2019), yang meneliti tentang campuran aspal porus berbahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal karet dengan variasi rendaman air laut juga mengalami penurunan nilai *flow*. Hal yang sama terdapat pada penelitian (Yusuf, 2017) yang meneliti tentang kinerja campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Starbit E-55 akibat lama rendaman air laut,

nilai *flow* mengalami penurunan seiring dengan bertambahnya durasi rendaman air laut.

c. *Marshall Quotient (MQ)*

Nilai *Marshall Quotient* terhadap rendaman air laut dapat dilihat pada Gambar 5.16.



Gambar 5.16 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *MQ* pada Campuran Aspal Porus

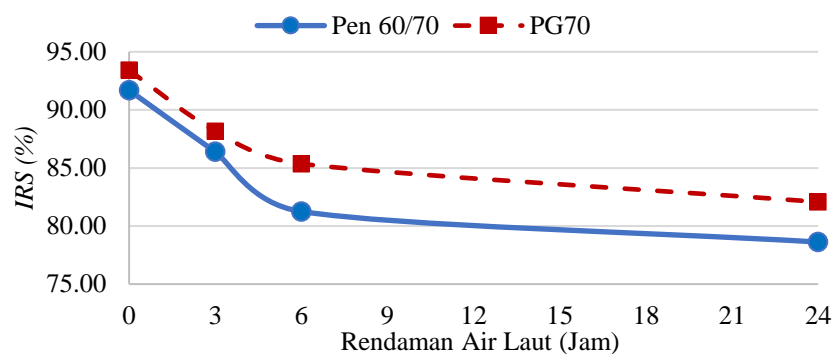
Pada Gambar 5.16 dapat dilihat bahwa nilai *MQ* yang memenuhi persyaratan yaitu >400 (kg/mm) pada semua durasi rendaman air laut, nilai *MQ* mengalami penurunan yang diperoleh dari perbandingan nilai stabilitas dan nilai *flow* yang menurun akibat rendaman air laut. Penurunan nilai *MQ* pada campuran aspal porus menunjukkan bahwa semakin lama campuran tersebut di rendam air laut, maka fleksibilitas campuran dalam menerima beban akan semakin meningkat. Campuran aspal porus yang menggunakan aspal Karet PG70 memiliki nilai *MQ* yang lebih tinggi dari campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70, hal ini karena aspal Karet PG70 memiliki sifat yang lebih kaku dari aspal Pen 60/70.

Penurunan nilai *MQ* terdapat penelitian oleh Fauziah dan Yusuf (2018), dimana campuran *Stone Matriks Asphalt* dengan dua jenis bahan ikat yang berbeda akan mengalami penurunan nilai *MQ* seiring bertambahnya durasi perendaman menggunakan air laut. Hal yang sama terdapat pada penelitian Hadi (2019), yang meneliti tentang campuran *Superpave* dengan bahan ikat

Starbit E-55 dan Pen 60/70 dengan variasi lama rendaman air payau mendapatkan nilai MQ pada penelitiannya mengalami penurunan. Penelitian oleh (Mawarni, 2019), nilai MQ mengalami penurunan akibat rendaman air laut pada campuran aspal porous yang menggunakan aspal karet dan aspal Pen 60/70.

2. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap IRS pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan PG70

Grafik nilai IRS dapat dilihat pada Gambar 5.17.



Gambar 5.17 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai IRS pada Campuran Aspal Porus

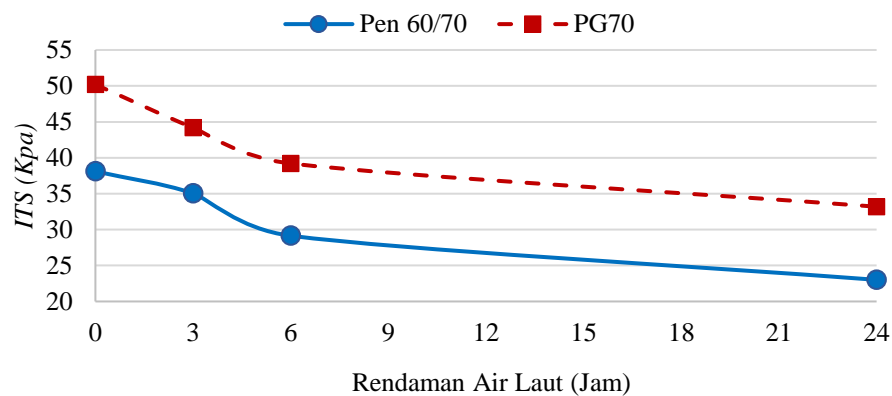
Berdasarkan Grafik 5.17 dapat dilihat bahwa nilai IRS mengalami penurunan seiring bertambahnya durasi rendaman air laut, hal ini dipengaruhi oleh penurunan nilai stabilitas yang disebabkan banyaknya air yang masuk kedalam campuran sehingga menyebabkan campuran menjadi lemah dalam menerima beban. Grafik di atas menunjukkan bahwa campuran yang menggunakan aspal Karet PG70 memiliki nilai IRS yang lebih tinggi yang artinya lebih baik dalam mempertahankan penurunan nilai *Index of Retained Strength* pada campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70. Hal ini karena aspal Karet PG70 yang memiliki nilai penetrasi lebih rendah dibanding Pen 60/70, sehingga campuran bersifat lebih kaku dan kurang peka terhadap temperatur tinggi.

Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fauziah dan Handaka (2017), pada pengaruh rendaman air hujan terhadap campuran *Split Mastic Asphalt*

dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70. Hasil yang sama juga didapatkan pada penelitian oleh Hadi (2019), pengaruh durasi rendaman air payau terhadap nilai *Index of Retained Strength* pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat Starbit E-55 dan Pen 60/70 mengakibatkan penurunan walaupun tidak signifikan. Penelitian lain oleh Fauziah dan Yusuf (2018), *IRS* pada campuran *Stone Matriks Asphalt* dengan bahan ikat Starbit E-55 cenderung lebih tinggi dibanding dengan bahan ikat Pen 60/70 pada variasi rendaman air laut.

3. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap *ITS* pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan PG70

Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* untuk mengetahui seberapa besar nilai gaya tarik tidak langsung pada campuran beraspal yang diakibatkan oleh beban lalu lintas. Nilai *Indirect Tensile Strength* dapat dilihat pada Gambar 5.18.



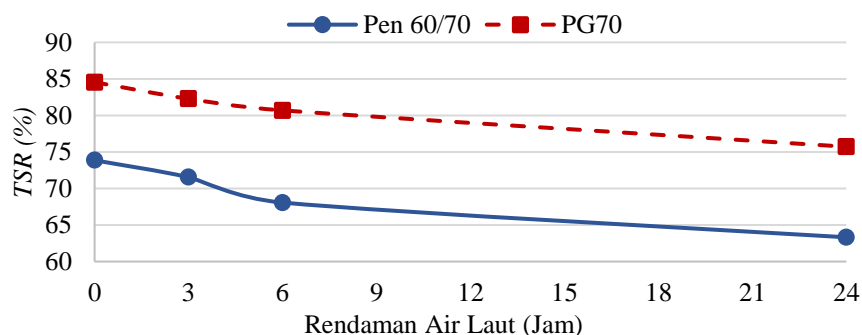
Gambar 5.18 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *ITS* pada Campuran Aspal Porus

Pada Gambar 5.18, dapat dilihat bahwa nilai *ITS* pada campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 mengalami penurunan secara signifikan terhadap pengaruh rendaman air laut. Hal ini diakibatkan air laut menyebabkan turunnya tingkat kerekatan antara aspal dengan agregat. Menurunnya kerekatan yang diakibatkan oleh air laut ini akan mengurangi kohesivitas dari campuran, sehingga kekuatan campuran akan menurun seiring dengan bertambahnya durasi perendaman seperti perkerasan yang melunak serta kemungkinan mengalami keretakan yang tinggi.

Hasil penelitian ini sejalan dengan yang dilakukan oleh Mawarni (2019), pada pengaruh rendaman air laut terhadap campuran aspal Porus, bahwa nilai *ITS* akan semakin menurun akibat pengaruh lama rendaman. Penurunan *ITS* juga terdapat pada penelitian Hadi (2019), pada campuran *Superpave* dengan bahan ikat *Starbit E-55* dan *Pen 60/70* mengalami penurunan secara signifikan terhadap pengaruh rendaman air payau. Penelitian yang dilakukan oleh Banafsaj dan Fauziah (2018), *ITS* campuran *SMA* dengan *filler* abu sekam padi pada perendaman air laut mengalami penurunan dan menunjukkan bahwa durasi rendaman air laut berpengaruh signifikan terhadap nilai *ITS*.

4. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap *TSR* pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Ikat *Pen 60/70* dan Karet *PG70*

Tensile Strength Ratio merupakan perbandingan antara nilai *ITS* standar dengan nilai *ITS* rendaman dan dinyatakan dalam persen (%). Pengujian dilakukan untuk mengetahui potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) akibat pengaruh air dengan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) pada campuran aspal. Pada Gambar 5.19, dapat dilihat bahwa nilai *TSR* pada campuran aspal porus dengan bahan ikat *Pen 60/70* dan Karet *PG70* mengalami penurunan secara signifikan terhadap pengaruh rendaman air laut. Persentasi nilai *TSR* campuran aspal porus dengan bahan ikat *PG70* lebih besar dibandingkan campuran aspal porus dengan bahan ikat *Pen 60/70*, artinya lebih baik dalam mempertahankan penurunan nilai *Tensile Strength Ratio* dibanding campuran yang menggunakan aspal *Pen 60/70* sebagai bahan ikat. Nilai *Tensile Strength Ratio* dapat dilihat pada Gambar 5.19.

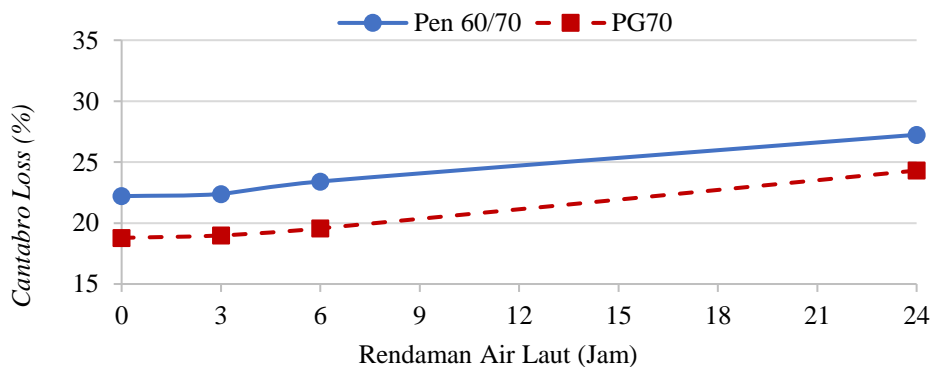


Gambar 5.19 Grafik Hubungan antara Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *TSR* pada Campuran Aspal Porus

AAPA (2004) untuk campuran aspal porus tidak mensyaratkan nilai *TSR* karena bersifat non struktural, namun menurut *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai untuk *TSR* sebesar >80% untuk campuran struktural, sehingga nilai *TSR* sebesar >80% tidak bisa menjadi acuan untuk campuran aspal porus dengan spesifikasi lebih rendah berdasarkan metode *AAPA 2004*. Sejalan dengan penelitian Radzi dkk., (2020), dimana nilai *TSR* campuran aspal porus > 70% masih dapat diterima, karena kadar rongga yang besar sebagai fungsi drainase yang dimiliki campuran aspal porus. Hasil pengujian campuran aspal porus penambahan kadar *Gilsonite* 2% dan 3% didapat nilai *TSR* >70% menunjukkan campuran aspal porus memiliki ketahanan temperatur dan terhadap rendaman air.

5. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Nilai *Cantabro Loss* pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70

Berdasarkan pada Gambar 5.20 dapat diketahui bahwa persentasi nilai *CL* campuran aspal porus dengan bahan ikat PG70 lebih kecil dibandingkan campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70, yang artinya campuran aspal porus dengan bahan ikat Karet PG70 memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap abrasi setelah diberikan perendaman air laut. Campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 mengalami kenaikan yang tidak signifikan namun sama-sama mengalami kenaikan nilai *CL* akibat adanya lama variasi durasi rendaman yang dilakukan. Hal ini menunjukkan bahwa bertambahnya durasi perendaman air laut membuat campuran aspal porus dengan kedua jenis bahan ikat semakin tidak tahan terhadap benturan. Nilai *CL* dapat dilihat pada Gambar 5.20.



Gambar 5.20 Grafik Hubungan antara Variasi Durasi Rendaman Air Laut dan Nilai *Cantabro* pada Campuran Aspal Porus

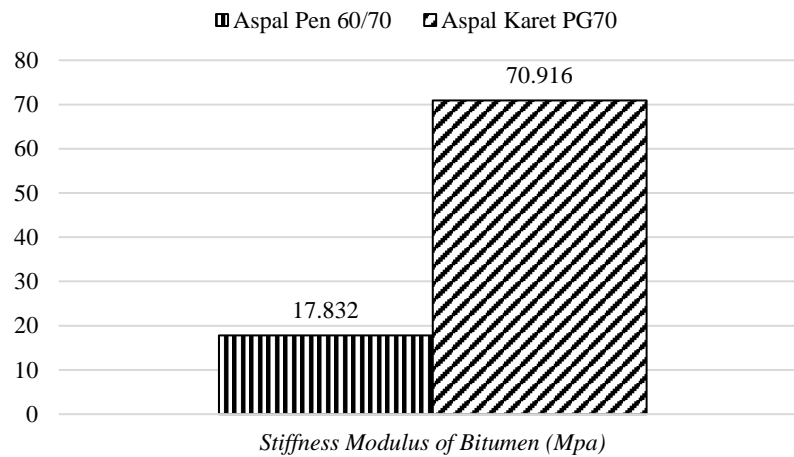
Sejalan dengan penelitian Mawarni (2019), nilai *CL* pada campuran aspal porus dengan bahan ikat Aspal Pen 60/70 dan aspal karet cenderung mengalami penungkatan seiring bertambahnya durasi perendaman dengan air laut. Pengujian *CL* dengan variasi rendaman air laut juga dilakukan oleh Banafsaj dan Fauziah (2018), nilai *CL* pada campuran *SMA filler* abu sekam padi dengan durasi perendaman air laut yang sama mengalami kenaikan. Kenaikan terjadi dikarenakan ikatan antar aspal dan agregat berkurang sehingga jumlah rongga dalam campuran akan bertambah. Udara dan air akan mudah memasuki campuran, mengakibatkan terjadinya oksidasi yang menjadi penyebab aspal mengelupas dari permukaan agregat sehingga campuran menjadi mudah aus ketika terjadi pembebanan lalu lintas.

5.3.6. Karakteristik *Stiffness Modulus Bitumen dan Stiffness Modulus Mixture*

Analisan perhitungan ini bertujuan untuk dapat mengetahui kekakuan dari bitumen dan kekakuan campuran yang digunakan dalam penelitian.

1. *Stiffness Modulus of Bitumen* Pertamina pen 60/70 dan Karet PG70

Modulus kekakuan aspal adalah perbandingan antara tegangan yang diberikan dengan regangan yang dihasilkan pada waktu pembebanan tertentu (Van der poel, 1954). Modulus kekakuan aspal (*Sbit*) selain dipengaruhi oleh perubahan temperatur dan waktu pembebanan yang diterima oleh aspal, juga bergantung kepada jenis aspal yang digunakan maupun jenis modifikasi yang dilakukan baik untuk perbaikan sifat reologi maupun sifat mekanistik aspal. Modifikasi tersebut diharapkan dapat turut serta memperbaiki Nilai Modulus (*SMix*) dari suatu campuran beraspal yang menggunakan aspal yang telah dimodifikasi baik dengan cara emulsifikasi, pembusaan, penambahan bahan kimia, penambahan serat, penambahan aspal alam, dan lainnya. Adapun hasil perhitungan kekakuan bitumen aspal Pertamina pen 60/70 dan aspal Karet PG70 dapat dilihat pada Gambar 5.21.



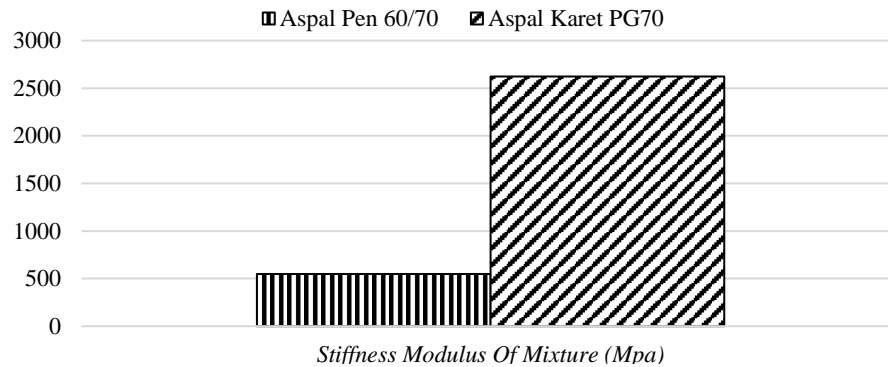
Gambar 5.21 Perbandingan Nilai *Stiffness Modulus of Bitumen* pada Variasi Bahan Ikat

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui bahwa *stiffness modulus of bitumen* aspal Karet PG70 lebih besar dibandingkan *stiffness modulus of bitumen* aspal Pertamina pen 60/70. Hal ini terjadi karena aspal Karet PG70 memiliki ketahanan yang lebih baik terhadap temperatur, yang dibuktikan dengan pengujian titik lembek dan perhitungan indeks penetrasi (IP). Sehingga dapat diketahui aspal Karet PG70 lebih baik dan lebih tahan terhadap perubahan suhu, lama pembebanan, dan perubahan kecepatan kendaraan yang dapat mempengaruhi perubahan distribusi beban. Karena menurut penelitian Nottingham (1984) kekakuan bitumen sangat mempengaruhi kekakuan campuran.

2. *Stiffness Modulus of Mixture* Pertamina Pen 60/70 dan Karet PG70

Modulus kekakuan campuran beraspal juga tergantung kepada temperatur dan waktu pembebanan. Model matematis untuk memperkirakan modulus campuran beraspal (*SMix*) pada awalnya adalah untuk campuran yang menggunakan aspal minyak. Diantaranya adalah metode yang diperkenalkan oleh Bonnaure, dkk (1977), metode *Asphalt Institute* (1982) dan *metode Nottingham* (Brown, et. al. 1984). Pada penelitin ini digunakan persamaan matematis Nottingham (1984). Menurut persamaan ini, kekuan campuran dipengaruhi oleh kekakuan aspal dan nilai *VMA* dari hasil pengujian *Marshall*. Persamaan tersebut hanya berlaku bila nilai *VMA* campuran beraspal antara 12% - 30% dan nilai *VIM*

minimum sebesar 3%. Adapun grafik hasil perhitungan kekakuan campuran aspal porus dengan dapat dilihat pada Gambar 5.22.

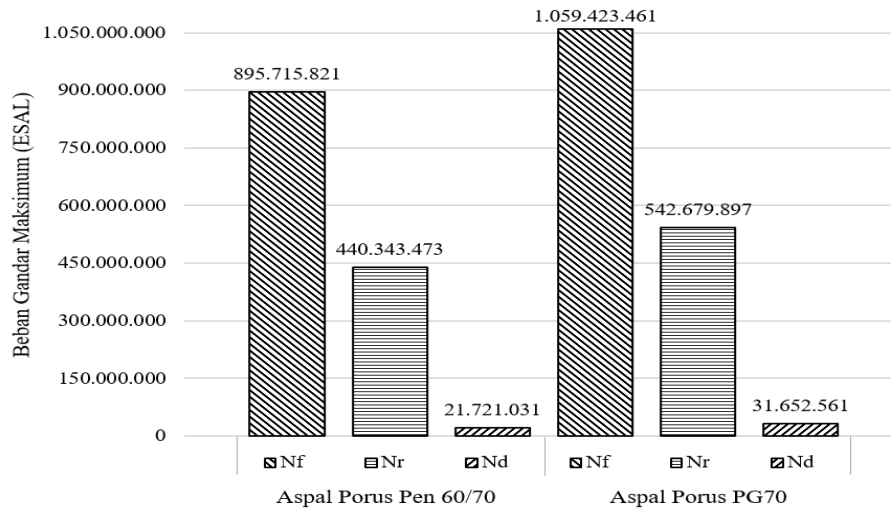


Gambar 5.22 Perbandingan Nilai *Stiffness Modulus of Mixture* pada Variasi Bahan Ikat

Dari Gambar 5.22 dapat diketahui kekakuan campuran aspal porus dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 lebih besar dibandingkan dengan bahan ikat aspal Pen 60/70. Hal ini disebabkan oleh nilai *VMA* yang dimiliki aspal porus dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 lebih kecil, sehingga kekakuan campuran menjadi lebih besar. Hal ini juga menunjukkan bahwa aspal porus dengan bahan ikat Aspal Karet PG70 memiliki ketahanan campuran yang lebih baik terhadap distribusi beban kendaraan. Adapun faktor lain yang dapat mempengaruhi nilai kekakuan campuran, menurut Hadi dkk. (2021), tingginya nilai *Sbit* pada penggunaan aspal modifikasi dipengaruhi oleh dua faktor, yaitu rendahnya nilai penetrasi dan tingginya nilai titik lembek yang dimiliki.

5.3.7. Perbandingan Nilai Umur Pelayanan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70

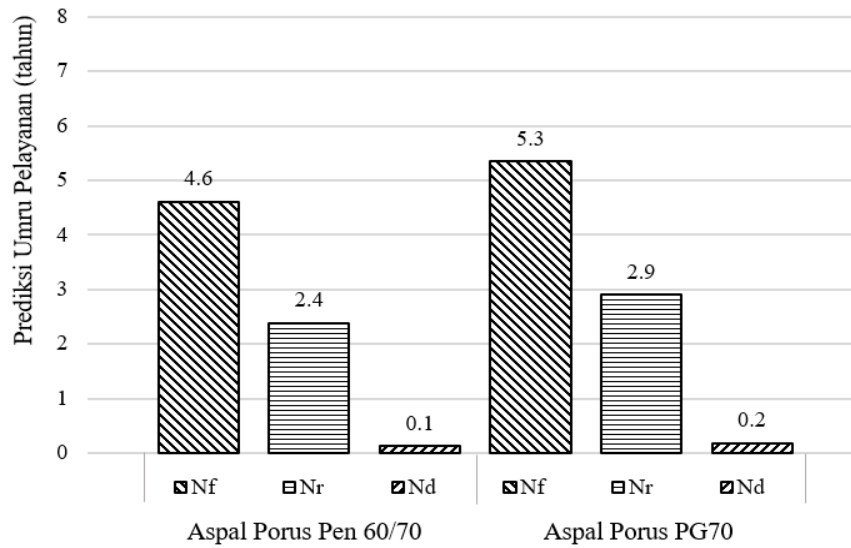
Perbandingan pengaruh jenis gradasi campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan PG70 terhadap nilai umur pelayanan dapat dilihat pada Gambar 5.23 sampai Gambar 5.24.



Gambar 5.23 Grafik Perbandingan Nilai Beban Gandar Maks. Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70

Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa perkerasan campuran porus berbahan ikat aspal Karet PG70 mampu mengakomodasi beban repitisi sebesar 1.059.423.461 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 542.679.897 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 31.652.561 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd). Adapun yang berbahan ikat Pen 60/70 memiliki kemampuan untuk mengakomodasi beban repitisi sebesar 895.715.821 ESAL sampai terjadinya kerusakan *fatigue cracking* (Nf), 440.343.473 ESAL sampai terjadinya kerusakan *rutting* (Nr), dan 21.721.031 ESAL sampai terjadinya kerusakan *permanent deformation* (Nd).

Berdasarkan hasil perbandingan nilai beban gandar maksimum diatas, dapat lihat bahwa campuran perkerasan baik itu yang menggunakan bahan ikat aspal Karet PG70 maupun Pen 60/70 akan sama-sama mengalami kerusakan awal berupa *permanent deformation*. Hasil ini selaras dengan hasil prediksi kerusakan perkerasan yang dilakukan oleh Hafidz dan Fauziah (2020), pada penelitiannya mengenai campuran bergradasi porus menyebutkan bahwa, kerusakan yang akan terjadi lebih awal adalah kerusakan *deformation*, kemudian *rutting*, lalu *fatigue cracking* pada seluruh campuran.



Gambar 5.24 Grafik Perbandingan Prediksi Umur Pelayanan Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70

Gambar 5.24 menunjukkan bahwa prediksi nilai sisa pada campuran porus untuk kedua jenis aspalnya tidak terlalu berbeda secara signifikan. Campuran porus yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 sudah akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 0.1 tahun atau 1 bulan, sedangkan campuran porus yang menggunakan bahan ikat aspal Karet PG70 akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 0.2 tahun atau 2 bulan, sehingga perbedaan nilai prediksi umur sisa pada kedua jenis aspal hanya beselisih 30 hari kalender. Kemampuan aspal modifikasi sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Hadi dkk. (2021), peneliti melakukan prediksi terhadap penerapan campuran aspal Starbit E55 dan Pen 60/70 untuk lokasi Ruas Jalan Kretek - Parangtritis. Pada hasil penelitian disimpulkan bahwa perkerasan dengan bahan ikat *Starbit E-55* relatif memiliki kemampuan dalam mempertahankan kinerja perkerasan terhadap risiko kerusakan awal yang telah diprediksi, yaitu berupa kerusakan *permanent deformation* yang lebih baik dibandingkan dengan perkerasan berbahan ikat Pen 60/70.

Secara keseluruhan, campuran perkerasan yang menggunakan jenis gradasi porus baik itu dengan penggunaan bahan ikat Karet PG70 maupun Pen 60/70 tidak memenuhi umur pelayanan rencana jalan Semarang-Demak yaitu sebesar 20 tahun atau dapat dikatakan bahwa jenis gradasi tersebut tidak mampu menahan beban kendaraan sampai umur pelayanan yang direncanakan yakni selama 20 tahun. Namun berdasarkan prediksi nilai umur sisa tersebut dapat disimpulkan bahwa campuran perkerasan yang menggunakan tipe gradasi porus disetiap jenis bahan ikatnya, dan perkerasan yang menggunakan tipe bahan ikat aspal PG70 disetiap jenis gradasinya memiliki keunggulan berupa performa masa layanan yang lebih baik terhadap pengaruh beban kendaraan yang melintasinya.

5.3.8. Pengaruh Durasi Rendaman Air Laut Terhadap Keseluruhan Karakteristik pada Campuran Aspal Porus dengan Bahan Pen 60/70 dan Karet PG70

Keseluruhan penelitian yang telah dilakukan dapat diambil kesimpulan dari berbagai macam hasil yang diperoleh. Lama rendaman air laut selama 0 sampai 24 jam telah menyebabkan kecenderungan penurunan kinerja campuran aspal porus. Hasil pengujian di rangkum dalam Tabel 5.25.

Tabel 5.24 Rangkuman Penelitian

No.	Parameter Kinerja	Bahan Ikat Aspal	Spes.	Durasi Rendaman (Jam)				Keterangan
				0	3	6	24	
1	<i>Stab. Marshall</i>	Pen 60/70	>500 (kg)	√	√	x	x	Campuran aspal porus pada kedua bahan ikat memenuhi spesifikasi stabilitas pada rendaman air laut selama 0 dan 3 jam. Campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 memiliki nilai stabilitas yang relatif lebih baik pada semua variasi lama perendaman dibanding dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70.
		Karet PG70		√	√	x	x	
2	<i>Flow</i>	Pen 60/70	2-6 (mm)	√	√	√	√	Campuran aspal porus pada kedua jenis bahan ikat memenuhi spesifikasi nilai <i>flow</i> pada semua variasi rendaman air laut. Campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 memiliki nilai <i>flow</i> yang relatif lebih baik pada variasi lama perendaman 0,3, dan 24 jam dibanding dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang lebih tinggi pada rendaman 6 jam.
		Karet PG70		√	√	√	√	
3	<i>MQ</i>	Pen 60/70	<400 (kg/mm)	√	√	√	√	Campuran aspal porus pada kedua jenis bahan ikat memenuhi spesifikasi nilai <i>Marshall Quotient</i> pada semua variasi rendaman air laut. Campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 memiliki nilai <i>MQ</i> yang relatif lebih baik pada variasi lama perendaman 0,6, dan 24 jam dibanding dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang lebih tinggi pada perendaman 3 jam.
		Karet PG70		√	√	√	√	
4	<i>IRS</i>	Pen 60/70	≥ 90%	√	x	x	x	Campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 memiliki nilai <i>IRS</i> yang relatif lebih baik dan memenuhi spesifikasi pada rendaman 0 dan 3 jam dibanding dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 yang memenuhi spesifikasi pada rendaman 0 jam.
		Karet PG70		√	√	x	x	
5	<i>ITS</i>	Pen 60/70	*	x				Nilai <i>Indirect Tensile Strength</i> pada campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 relatif lebih baik dibanding dengan bahan ikat Pen 60/70 pada variasi rendaman air laut.
		Karet PG70		√				

Lanjutan Tabel 5.24. Rangkuman Penelitian

No.	Parameter Kinerja	Bahan Ikat Aspal	Spes.	Durasi Rendaman (Jam)				Keterangan
				0	3	6	24	
6	TSR	Pen 60/70	*	x				Nilai <i>Tensile Strenght Ratio</i> pada campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 relatif lebih baik dibanding dengan bahan ikat Pen 60/70 pada variasi rendaman air laut.
		Karet PG70		√				
7	CL	Pen 60/70	<35%	√	√	√	√	Campuran aspal porus pada kedua jenis bahan ikat memenuhi spesifikasi nilai <i>Cantabro Loss</i> pada semua variasi rendaman air laut. Campuran dengan bahan ikat aspal karet PG70 memiliki nilai <i>CL</i> yang relatif lebih tinggi dibanding dengan campuran dengan bahan ikat aspal Pen 60/70.
		Karet PG70		√	√	√	√	
8	Permeabilitas	Pen 60/70	*	x				Campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 lebih kedap air dibandingkan dengan campuran berbahan ikat aspal Pen 60/70.
		Karet PG70		√				
9	AFD	Pen 60/70	<0,30%	x				Nilai <i>AFD</i> pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal karet PG70 bernilai lebih kecil yang artinya lebih baik dibandingkan bahan ikat aspal Pen 60/70.
		Karet PG70		√				

Keterangan

- √ : Kinerja campuran lebih baik
- x : Kinerja campuran lebih buruk
- * : Tidak memiliki spesifikasi

BAB VI

Kesimpulan dan Saran

6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan hasil analisis data perbandingan karakteristik campuran Aspal Porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 akibat pengaruh rendaman air laut, maka dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Berdasarkan pengujian *Marshall Standard*, penggunaan aspal Karet PG70 pada campuran aspal porus memiliki kinerja yang lebih baik dari penggunaan aspal pertamina pen 60/70. Penggunaan aspal Karet PG70 memiliki nilai *VITM* yang lebih besar 0,4% dibandingkan penggunaan aspal pen 60/70. Nilai stabilitas campuran menggunakan aspal Karet PG70 lebih besar 11% pada pada campuran aspal porus, dibandingkan penggunaan aspal pen 60/70. Aspal Karet PG70 dapat meningkatkan rongga udara campuran, tanpa mengurangi nilai stabilitas campuran. Pengaruh lama rendaman air laut terhadap karakteristik *Marshall*, yaitu terjadi penurunan nilai stabilitas, *flow* dan *MQ* pada campuran aspal porus dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 seiring dengan bertambahnya durasi rendaman air laut. Semakin lama campuran aspal porus direndam air laut menyebabkan menurunnya kemampuan campuran untuk menerima beban.
2. Nilai permeabilitas dari campuran aspal porus menggunakan aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 menunjukkan hasil indikator drainase sedang - menuju buruk. Campuran menggunakan aspal Karet PG70 memiliki kedekatan yang lebih tinggi dari campuran yang menggunakan aspal Pen 60/70.
3. Campuran aspal porus menggunakan bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 memiliki nilai *Indirect of Retained Strength* cenderung menurun seiring bertambahnya durasi rendaman air laut. Dapat disimpulkan bahwa campuran dengan bahan ikat aspal Karet PG70 memiliki kemampuan yang lebih baik dari aspal pen 60/70.
4. Hasil pengujian *Indirect Tensile Strength* akibat rendaman air laut menunjukkan adanya penurunan nilai *ITS* pada campuran aspal porus dengan

bahan ikat aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70. Hal ini dikarenakan semakin lama durasi perendaman maka menyebabkan aspal melunak dan ikatan antara aspal dan agregat berkurang sehingga mudah retak. Hasil perbandingan rendaman air laut pada aspal Pen 60/70 dan aspal Karet PG70 selama 0 sampai 24 jam menunjukkan campuran aspal Karet PG70 lebih baik dalam menahan kuat tarik tidak langsung. Hal ini dikarenakan aspal Karet PG70 memiliki sifat yang lebih kaku, sehingga ikatan antar agregat akan lebih kuat dalam menerima beban secara vertikal.

5. Perbedaan yang signifikan tidak ditemukan pada perbandingan nilai *TSR* antara dua jenis bahan ikat. Namun nilai *TSR* pada campuran aspal porus bahan ikat aspal Karet PG70 lebih tinggi dibandingkan aspal Pen 60/70 disetiap durasi rendaman air laut.
6. Nilai *CL* pada kedua jenis campuran dengan dua jenis bahan ikat tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Dilihat dari parameter ketahanan terhadap benturan, campuran perkerasan bergradasi porus yang menggunakan bahan ikat Karet PG70 lebih baik dibandingkan campuran dengan bahan ikat Pen 60/70.
7. Sensitivitas akan kerusakan pada jenis campuran porus untuk kedua jenis aspal tidak terlalu berbeda secara signifikan. Kerusakan yang paling cepat terjadi adalah *permanent deformation*, dan paling lambat adalah *fatigue cracking*. Campuran porus yang menggunakan bahan ikat Pen 60/70 sudah akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 0.1 tahun atau 1 bulan, sedangkan campuran porus yang menggunakan bahan ikat Karet PG70 akan mengalami kerusakan *permanent deformation* pada umur 0.2 tahun atau 2 bulan, sehingga perbedaan nilai prediksi umur sisa pada kedua jenis aspal hanya beselisih 30 hari kalender. Sehingga aspal porus dengan kedua jenis bahan ikat tidak mampu mencapai umur rencana 20 tahun.

6.2. Saran

Merujuk pada hasil penelitian studi komparasi karakteristik campuran dan prediksi umur pelayanan perkerasan aspal porus dengan bahan ikat Aspal Peb 60/70

dan Aspal Karet PG70 akibat pengaruh durasi rendaman air laut, maka penulis memberikan saran sebagai berikut.

1. Jalan dengan daerah yang mengalami banjir 0 sampai 24 jam dapat menggunakan campuran yang menggunakan bahan ikat aspal Karet PG70 karena memiliki stabilitas yang lebih tinggi dan lebih tahan terhadap benturan.
2. Variasi penggunaan aspal lain sebagai pembanding tambahan pada karakteristik campuran aspal porus terhadap ketahanan dalam perendaman air laut.
3. Perlu penelitian dan pembahasannya lebih lanjut terhadap kandungan kimia dan reaksi kimia yang terdapat pada air laut yang membuat kinerja campuran aspal porus berbahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 mengalami penurunan serta perubahan fisik yang terjadi.
4. Campuran aspal porus dengan bahan ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 diperlukan analisis mekanistik dengan LHR yang berasal dari daerah lain namun memiliki permasalahan genangan air laut yang sama.

DAFTAR PUSTAKA

- Akzo Nobel. 2011. *Product Datasheet Asphalt Applications*. Netherlands.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National asphalt specification*. AAPA. Melbourne.
- Australian Asphalt Pavement Association. 2004. *National Asphalt Specification*. Australia.
- Anggiani, D., Puspito, I., dan Meutia, W. 2019. Analisis Kinerja Aspal Pen 60/70 dan Aspal Polimer JAP-57 dalam Capuran Aspal Porus. *Jurnal Infrastruktur*.3(1): 19-24. Jakarta.
- Arkan, N., dan Subarkah. 2018. Pemanfaatan limbah gerabah kasongan sebagai pengganti bahan pengisi pada campuran lapisan ac-wc. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Banafsaj, H. H., dan Fauziah, M. 2018. Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* 12,5 mm dengan *Filler* Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Laut. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Cheng, Y. Chai, C. Liang, C. dan Chen, Y. 2019. *Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions*. *Journal of MDPI Materials*. Basel, Switzerland.
- Djakfar, L., Zaika, Y. dan Bowoputro, H. 2013. Pengaruh Penambahan Aditif Terhadap Kinerja Campuran Beraspal Porus. *Jurnal Transportasi* Vol. 16. Lampung.
- Djumari, dan Sarwono, D. 2009. Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material Lokal Dengan Metode Pemampatan Kering. *Jurnal Media Teknik Sipil* Vol. IX ISSN 1412-0976. Malang.
- Fauziah, M., dan Handaka, A. 2017. 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., dan Wijayati, F. S. 2016. Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat Halus Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknisia*, Vol. XXI, No. 2, 261-273. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Fauziah, M., dan Yusuf, N. A. 2018. Kinerja Campuran *Stone Matrix Asphalt* dengan Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70 dan *Starbit E-55* Akibat Lama Rendaman Air Laut. *Konferensi Nasional Sipil 12*. ISBN: 978-60286-1-7.
- Hadi, Muhamad Abdul. 2019. Perbandingan Karakteristik Campuran *Superpave* Antara Yang Menggunakan Bahan Ikat *Starbit E-55* Dengan Pen 60/70 Pada Berbagai Variasi Durasi Rendaman Air Payau. *Prosiding Civil Engineering and Environmental Symposium*. Semarang, Indonesia.
- Hafidz, M., dan Fauziah, M. 2020. *Pengaruh Penggunaan Bahan Anti Stripping Wetfix Be Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus*. 2009, 1–10. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Harmadhana, S. 2016. Kajian Karakteristik Laboratorium Aspal Porus dengan Menggunakan *Crumb Rubber* sebagai Bahan Tambah. Tugas Akhir. Universitas Sumatera Utara. Medan.
- Marizka, E. 2021. Studi Kinerja Campuran Aspal Porus Dengan Penambahan Bahan *Additive Rediset LQ-1106*. Tugas Akhir. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mawarni, O. S. T. 2019. Pengaruh Rendaman Air Laut Terhadap Karakteristik Aspal Porus dengan Dan Tanpa Penambahan Limbah Karet. *Jurnal Tugas Akhir*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Mentari. 2023. Pengaruh Bahan Additive Karet Alam Terhadap Durabilitas Aspal Porus Dengan Metode Pencampuran Bertahap Dibandingkan Dengan Pencampuran Konvensional. *Tesis*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Muaya, G. S., H.Kaseke, O., dan R.E.Manoppo, M. 2015. Pengaruh Terendamnya Perkerasan Aspal oleh Air Laut yang Ditinjau Terhadap Karakteristik Marshall. *Jurnal Sipil Statik Vol.3 No.8 Agustus 2015 (562-570) ISSN: 2337-6732*, 3(8), 562–570. Universitas Sebelas Maret. Surakarta.

- Noris, G. N. 2017. Analisa Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi ke Dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil* Vol. 01 No. 01. Surabaya.
- Nurchaya, A. 2015. Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy. *Tesis*. Bandung.
- Pemerintah, P. 2006. UU No.38 Tentang Jalan
- Prabowo, A. H. 2003. Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap Kinerja *Laston (HRS-WC)* Berdasarkan Uji *Marshall* dan Uji Durabilitas Modifikasi. *Tesis*. Universitas Dionegoro. Semarang.
- Prastanto, H., Cifriadi, A., dan Ramadhan, A. 2015. Karakteristik Dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi Dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet*, Vol 33 (1), 75-82.
- Pratama, B. A., dan Fauziah, M. 2018. Perbandingan Kinerja Campuran *Hot Rolled Asphalt (Hra)* Dengan Bahan Ikat Aspal Pen 60/70 Dan Aspal *Retona Blend 55* Dengan Variasi Durasi Rendaman Air Laut. *Jurnal Teknisia*, 22(1). Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Radzi, N. A. M., Masri, K. A., Ramadhansyah, P. J., Jasni, N. E., Arshad, A. K., Ahmad, J., Mashros, N., dan Yaacob, H. 2020. *Stability and Resilient Modulus of Porous Asphalt Incorporating Steel Fiber*. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 712(1). Universiti Teknologi Malaysia. Malaysia.
- Ramadhan, M. A. 2022. Kajian Kinerja Aspal Porus Dengan Menggunakan *Gilsonite Additive*. Universitas Islam Indonesia. Yogyakarta.
- Ramadhan, N., dan Reza, R. 2014. Pengaruh Penambahan *Additive Gilsonite HMA Modifier Grade* Terhadap Kinerja Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil*, 1-12. Universitas Brawijaya.
- Risdian, R. 2021. Perbandingan Aspal Alam Dan Aspal Karet Pada Lapisan Perkerasan Jalan *Ac - Bc* Penetrasi 60 / 70 Terhadap Nilai *Marshall*. Fakultas Teknik Universitas Medan Area Medan. *Jurnal Teknik Universitas Medan*. Medan.
- Sukirman, S. 2003. *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Granit, Yayasan Obor.

Indonesia.

Tesalonika, N. 2020. Analisa Campuran Aspal Porus Menggunakan Material Dari Kakaskasen Kecamatan Tomohon Utara Kota Tomohon. *Jurnal Sipil Statik*, 8(3), 345–352. Universitas Sam Ratulangi. Manado.

Utami, R., Novia, A., Mahfuzah, S. N., dan Zahra, A. A. 2021. Sensitivitas Aspal Modifikasi Terhadap Temperatur. *Potensi : Jurnal Sipil Politeknik*, 23(1), 26–32. Politeknik Negeri Bandung. Bandung.

LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	24,73	23,72
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	47,41	47,41
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	22,68	23,69
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	26,89	26,04
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	2,16	2,32
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,57	47,50
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	20,68	21,46
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2,00	2,23
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,080	1,040
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,060	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

31-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Karet PG70

Material : Aspal Karet PG70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	24,06	23,89
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	46,83	47,14
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	22,77	23,25
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	26,00	25,78
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	1,94	1,89
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	46,90	47,26
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	20,90	21,48
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	1,87	1,77
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,058	1,067
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,052	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

21-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Pen 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai Pemanasan	25	13.00 WIB	
	Selesai Pemanasan	50	13.20 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai Pemanasan	50	13.40 WIB	
	Selesai	25	14.50 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5	15.00 WIB	
	Selesai	49	15.30 WIB	

Hasil Pengamatan

No.	Suhu yang Diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	1	2
1	5 °C	0	0		
2	10 °C	138	139		
3	15 °C	209	210		
4	20 °C	310	310		
5	25 °C	373	374		
6	30 °C	443	443		
7	35 °C	516	515		
8	40 °C	612	613		
9	45 °C	680	681		
10	50 °C	762	763	47	49

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Karet PG70

Material : Aspal Karet PG70
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai Pemanasan	25	13.00 WIB	
	Selesai Pemanasan	50	13.20 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai Pemanasan	50	13.40 WIB	
	Selesai	25	14.50 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	5	15.00 WIB	
	Selesai	49	15.30 WIB	

Hasil Pengamatan

No.	Suhu yang Diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	1	2
1	5 °C	0	0		
2	10 °C	93	92		
3	15 °C	312	310		
4	20 °C	465	465		
5	25 °C	577	575		
6	30 °C	717	715		
7	35 °C	869	868		
8	40 °C	1016	1013		
9	45 °C	1138	1136		
10	50 °C	1149	1150	57,9	58

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 5 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	25	09.00 WIB	
	Selesai	130	09.30 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai Pemanasan	25	09.30 WIB	
	Selesai	25	10.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	25	10.00 WIB	
	Selesai	25	10.15 WIB	

Hasil Pengamatan

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	62	61		
2	70	64.5		
3	62	65		
4	63.5	70		
5	67	70		
Rata"	64.9	66.1		

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 6 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Penetrasi Aspal Karet PG70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu	Keterangan
1	Pemanasan Benda Uji			
	Mulai	27	10.00 WIB	
	Selesai	130	10.30 WIB	
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang			
	Mulai Pemanasan	130	10.30 WIB	
	Selesai	27	11.00 WIB	
3	Diperiksa			
	Mulai	27	13.00 WIB	
	Selesai	27	13.20 WIB	

Hasil Pengamatan

No.	Benda Uji		Sket Pengujian	
	1 (mm)	2 (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	25	27		
2	26	25		
3	25	24		
4	24	26		
5	25	23		
Rata"	25	25		

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

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



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Titik Nyala & Bakar Aspal Pen 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	14.00 WIB
	Selesai	130	14.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai Pemanasan	130	14..15 WIB
	Selesai	27	14..45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	14..45 WIB
	Selesai	300	15.15 WIB

Hasil Pengamatan

No.	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji	348	352

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Nyala & Bakar Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Titik Nyala & Bakar Aspal Karet PG70

Material : Aspal Karet PG70
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2023

No.	Urutan Pemeriksaan	Suhu	Waktu
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27	14.00 WIB
	Selesai	150	14.15 WIB
2	Didiamkan Pada Suhu Ruang		
	Mulai Pemanasan	150	14..15 WIB
	Selesai	27	14..45 WIB
3	Diperiksa		
	Mulai	27	14..45 WIB
	Selesai	330	15.15 WIB

Hasil Pengamatan

No.	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1	Benda Uji	311	317

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

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



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Kelarutan Aspal Pen 60/70 dalam CCL4/TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Penimbangan	Mulai	10:30	27
2	Pelarutan	Mulai	10:40	27
3	Penyaringan	Mulai	10:43	27
		Selesai	10:55	27
4	Di Oven	Mulai	10:55	110
5	Penimbangan	Mulai	11:16	27

Hasil Pengamatan

No.	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Meyer Kosong	63.57	63.59
2	Berat Erlen Meyer Kosong + Asp	65.02	65.44
3	Berat Aspal (2-1)	1.45	1.85
4	Berat Kertas Saring Bersih	0.58	0.57
5	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral	0.59	0.57
6	Berat Mineral (5-4)	0.01	0.00
7	Prosentasi Mineral) (6/3x100%)	0.69	0.00
8	Aspal yang Larut (100%-7)	99.20	100.00
9	Rata-Rata Aspal yang Larut (%)	99.55	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

21-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 10 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Karet PG70 dalam CCL4/TCE



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

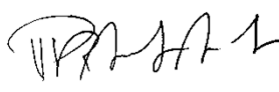
Pemeriksaan Kelarutan Aspal Karet PG70 dalam CCL4/TCE


Material : Aspal Karet PG70
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1	Penimbangan	Mulai	10:30	27
2	Pelarutan	Mulai	10:40	27
3	Penyaringan	Mulai	10:43	27
		Selesai	10:55	27
4	Di Oven	Mulai	10:55	110
5	Penimbangan	Mulai	11:16	27

Hasil Pengamatan

No.	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Erlen Meyer Kosong	63.62	54.41
2	Berat Erlen Meyer Kosong + Asp	64.78	55.57
3	Berat Aspal (2-1)	1.16	1.16
4	Berat Kertas Saring Bersih	0.56	0.58
5	Berat Kertas Saring Bersih + Mineral	0.57	0.59
6	Berat Mineral (5-4)	0.01	0.01
7	Prosentasi Mineral) (6/3x100%)	0.86	0.086
8	Aspal yang Larut (100%-7)	99.14	99.14
9	Rata-Rata Aspal yang Larut (%)	99.14	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

31-08-23
Prayogo Afang Prayitno, S. T., M. Sc.
NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 11 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Pemeriksaan Daktilitas Aspal Pen 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Suhu
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanas ± 135 °C
2	Mendinginkan Benda Uji	Diamkan pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang ± 27 °C
3	Perendaman Benda Uji	Direndam dalam Waterbath dengan Suhu 25 °C	60 Menit	Suhu Waterbath ± 25 °C
4	Pemeriksaan	Pengujian pada Suhu 25 °C	20 Menit	Suhu Alat ± 25 °C

Hasil Pemeriksaan

No.	Benda Uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	164	Tidak Putus
2	Sampel 2	164	Tidak Putus

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 12 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Daktilitas Aspal Karet PG70

Material : Aspal Karet PG70
Sumber : PT Bintang Djaja, Cilacap
Tahun Uji : 2023

No.	Pemeriksaan	Keterangan	Waktu	Suhu
1	Persiapan Benda Uji	Aspal Dipanaskan	15 Menit	Suhu Pemanas $\pm 135\text{ }^{\circ}\text{C}$
2	Mendinginkan Benda Uji	Diamkan pada Suhu Ruang	60 Menit	Suhu Ruang $\pm 27\text{ }^{\circ}\text{C}$
3	Perendaman Benda Uji	Direndam dalam Waterbath dengan Suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$	60 Menit	Suhu Waterbath $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$
4	Pemeriksaan	Pengujian pada Suhu $25\text{ }^{\circ}\text{C}$	20 Menit	Suhu Alat $\pm 25\text{ }^{\circ}\text{C}$

Hasil Pemeriksaan

No.	Benda Uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1	Sampel 1	60	Putus
2	Sampel 2	60	Putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 13 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulon Progo
Tahun Uji : 2023

No.	Keterangan	Benda Uji (gram)	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1657.47	1660.58
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1005.98	1007.86
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1595.70	1596.57
5	Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$	2.45	2.45
6	Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$	2.54	2.54
7	Berat Jenos (Semu) = $BK/(BK-BA)$	2.71	2.71
8	Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$	3.87	4.01
	Berat Cawan	329.45	336.70
	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2.58	2.58
	Berat Jenis Efektif Rata2	2.58	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 14 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulon Progo
Tahun Uji : 2023

No.	Keterangan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	501.86	501.06
2	Berat Vicnometer + Air (B)	692.34	668.42
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	1015.27	988.03
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	494.55	492.57
5	Berat Jenis (Bulk) = $(BK / ((B+500) - BT))$	2.79	2.73
6	Berat Jenis (SSD) = $(500 / ((B+500) - BT))$	2.82	2.77
7	Berat Jenos (Semu) = $(BK / ((B+BK) - BT))$	2.88	2.85
8	Penyerapan Air = $(500 - BK) / BK \times 100\%$	1.10	1.51
	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2.84	2.79
	Berat Jenis Efektif Rata2	2.80	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 15 Pemeriksaan *Sand Equivalent*



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Pemeriksaan *Sand Equivalent*

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulon Progo
Tahun Uji : 2023

No.	Keterangan	Benda Uji		
		1	2	
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (\pm 10 menit)	Mulai	11:26	11:26
		Selesai	11:56	11:56
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di gojok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂)	Mulai	11:37	11:37
		Selesai	11:40	11:40
3	Clay Reading (Pembacaan Lumpur) Inchi		3.9	4.07
4	Sand Reading (Pembacaan Pasir)		3.2	3.6
5	Sand Equivalent ($4/3 \times 100\%$)		0.821	0.885
6	Rata-rata		85,25 %	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

31-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 16 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70



LABORATORIUM JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA


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


SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : 07 Februari 2023
Tipe Campuran : Aspal Porus Pen 60/70

Dikerjakan oleh : Rahmawati, S.T.
Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., P.hd.

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFVA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
4.5 A4	7,650	4,712	4,5	1181,98	1239,42	628,14	611,28	1,9336	2,3732	8,2254	73,250	18,524	26,750	30,749	18,524	48	709,959921	0,75625	536,907	4,680	114,724
4.5 A5	7,780	4,712	4,5	1186,44	1239,95	623,91	616,04	1,9259	2,3732	8,1926	72,959	18,849	27,041	30,296	18,849	47	695,16909	0,74	514,425	5,900	87,191
4.5 A6	7,837	4,712	4,5	1185,84	1239,23	627,48	611,75	1,9384	2,3732	8,2459	73,433	18,321	26,567	31,038	18,321	45	665,587426	0,729375	485,463	5,220	93,001
								1,9322					26,8043	30,6673	18,5850		680,3783		499,9440	5,5600	90,0956
5 A4	8,010	5,263	5	1180,46	1241,65	631,44	610,21	1,9345	2,3579	9,1436	72,901	17,956	27,099	33,741	17,956	49	724,750753	0,70125	508,231	5,450	93,253
5 A5	7,803	5,263	5	1170,36	1239,71	632,68	607,03	1,9280	2,3579	9,1128	72,656	18,232	27,344	33,326	18,232	50	739,541585	0,735625	544,025	4,940	110,127
5 A6	7,663	5,263	5	1183,39	1238,49	631,97	606,52	1,9511	2,3579	9,2220	73,526	17,252	26,474	34,834	17,252	48	709,959921	0,754583333	535,724	6,600	81,170
								1,9313					27,2219	33,5334	18,0937		732,1462		526,1284	5,1950	101,6900
5.5 A4	7,783	5,820	5,5	1177,55	1230,33	619,64	610,69	1,9282	2,3427	10,0252	72,281	17,693	27,719	36,168	17,693	52	769,123248	0,739375	568,671	5,100	111,504
5.5 A5	7,967	5,820	5,5	1176,99	1237,7	620,7	617	1,9076	2,3427	9,9180	71,508	18,574	28,492	34,810	18,574	53	783,91408	0,706666667	553,966	4,150	133,486
5.5 A6	7,850	5,820	5,5	1179,89	1229,98	618,98	611	1,9311	2,3427	10,0401	72,388	17,572	27,612	36,361	17,572	54	798,704912	0,726875	580,559	5,700	101,852
								1,9297					27,6652	36,2646	17,6326		783,9141		574,6146	5,400	106,6782
6 A4	7,957	6,383	6	1179,49	1236,23	628,14	608,09	1,9397	2,3278	11,0015	72,325	16,673	27,675	39,753	16,673	58	857,868238	0,706875	606,406	6,550	92,581
6 A5	7,967	6,383	6	1177,78	1229,67	637,91	591,76	1,9903	2,3278	11,2887	74,213	14,498	25,787	43,777	14,498	59	872,65907	0,706666667	616,679	4,980	123,831
6 A6	7,827	6,383	6	1170,04	1232,18	634,48	597,7	1,9576	2,3278	11,1030	72,993	15,904	27,007	41,112	15,904	62	917,031565	0,73125	670,579	4,180	160,426
								1,9650					26,7307	41,7650	15,5856		865,2637		611,5423	5,765	108,2061
6.5 A4	7,650	6,952	6,5	1162,72	1217,38	627,44	589,94	1,9709	2,3130	12,1103	73,100	14,790	26,900	45,019	14,790	36	532,469941	0,75625	402,680	6,620	60,828
6.5 A5	7,730	6,952	6,5	1171,07	1224,32	631,68	592,64	1,9760	2,3130	12,1417	73,289	14,569	26,711	45,456	14,569	28	414,143288	0,74625	309,054	7,900	39,121
6.5 A6	7,773	6,952	6,5	1178,36	1219,95	631,07	588,88	2,0010	2,3130	12,2953	74,216	13,489	25,784	47,686	13,489	35	517,679109	0,740833333	383,514	9,350	41,018
								1,9860					26,3422	46,3523	14,1394		525,0745		393,0972	7,9850	50,9227

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 17 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Karet PG70



LABORATORIUM JALAN RAYA
 JURUSAN TEKNIK SIPIL
 FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
 UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

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

SIFAT CAMPURAN ASPAL DENGAN METODE MARSHALL

Tanggal Pengujian : Maret 2023
 Tipe Campuran : Aspal Porus PG-70

Dikerjakan oleh : Rahmawati
 Diperiksa oleh : Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.d.

SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
4,5 B4	8,030	4,712	4,5	1185,21	1242,97	622,14	620,83	1,9091	2,3721	8,1614	72,321	19,518	27,679	29,485	19,518	50	739,541585	0,75625	559,278	4,68	119,504
4,5 B5	8,020	4,712	4,5	1191,5	1249,81	623,91	625,9	1,9037	2,3721	8,1383	72,115	19,746	27,885	29,186	19,746	49	724,750753	0,74	536,316	5,9	90,901
4,5 B6	8,133	4,712	4,5	1193,51	1248,83	628,48	620,35	1,9239	2,3721	8,2249	72,883	18,892	27,117	30,332	18,892	57	843,077407	0,729375	614,920	5,22	117,801
								1,9165					27,7820	29,3355	19,6322		732,1462		547,7969	5,2900	105,2024
5 B4	7,703	5,263	5	1182,12	1239,04	623,44	615,6	1,9203	2,3566	9,1214	72,364	18,515	27,636	33,006	18,515	55	813,495743	0,70125	570,464	5,45	104,672
5 B5	7,843	5,263	5	1182,32	1241,61	627,68	613,93	1,9258	2,3566	9,1478	72,573	18,279	27,427	33,353	18,279	58	857,868238	0,735625	631,069	4,94	127,747
5 B6	7,777	5,263	5	1184,57	1246,62	626,07	620,55	1,9089	2,3566	9,0674	71,935	18,997	28,065	32,309	18,997	57	843,077407	0,754583333	636,172	6,6	96,390
								1,9230					27,5315	33,1795	18,3969		835,6820		600,7666	5,1950	116,2095
5,5 B4	7,880	5,820	5,5	1184,25	1235,69	627,21	608,48	1,9462	2,3413	10,1693	72,957	16,874	27,043	37,604	16,874	61	902,240734	0,739375	667,094	5,1	130,803
5,5 B5	7,793	5,820	5,5	1186,1	1237,5	626,77	610,73	1,9421	2,3413	10,1476	72,801	17,051	27,199	37,309	17,051	55	813,495743	0,706666667	574,870	4,15	138,523
5,5 B6	8,057	5,820	5,5	1179,52	1233,57	628,77	604,8	1,9503	2,3413	10,1903	73,107	16,702	26,893	37,892	16,702	52	769,123248	0,726875	559,056	5,7	98,080
								1,9483					26,9680	37,7480	16,9626		857,8682		620,9823	4,6250	134,6629
6 B4	7,717	6,383	6	1178,86	1227,88	622,54	605,34	1,9474	2,3263	11,1006	72,615	16,284	27,385	40,535	16,284	65	961,40406	0,706875	679,592	6,55	103,755
6 B5	7,950	6,383	6	1182,71	1226,32	619,24	607,08	1,9482	2,3263	11,1049	72,643	16,252	27,357	40,593	16,252	64	946,613229	0,706666667	668,940	4,98	134,325
6 B6	8,050	6,383	6	1181,52	1225,85	620,57	605,28	1,9520	2,3263	11,1267	72,786	16,087	27,214	40,886	16,087	62	917,031565	0,73125	670,579	4,18	160,426
								1,9478					27,3708	40,5641	16,2681		954,0086		674,2663	5,7650	119,0399
6,5 B4	7,790	6,952	6,5	1174,37	1217,37	616,2	601,17	1,9535	2,3114	12,0629	72,453	15,484	27,547	43,790	15,484	41	606,4241	0,75625	458,608	6,62	69,276
6,5 B5	7,963	6,952	6,5	1171,2	1219,14	616,6	602,54	1,9438	2,3114	12,0030	72,093	15,904	27,907	43,010	15,904	42	621,214931	0,74625	463,582	7,9	58,681
6,5 B6	7,760	6,952	6,5	1171,62	1214,21	611,65	602,56	1,9444	2,3114	12,0069	72,116	15,877	27,884	43,061	15,877	40	591,633268	0,740833333	438,302	9,35	46,877
								1,9441					27,8954	43,0356	15,8904		606,4241		450,9416	7,2600	52,7792

Mengetahui,
 Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
 Peneliti

 Rahmawati
 NIM: 21914033

Lampiran 18 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

AFD mencari KAO

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Kadar Aspal (%)		Weight (g)			Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Asphalt Flow Down Rata-rata (%)
		m1	m2	m3				
4,5	1	345,74	1521,46	349,32	3,58	1175,72	0,30	0,21
	2	618,25	1807,78	622,37	4,12	1189,53	0,35	
	3	354,14	1524,82	355,54	1,4	1170,68	0,12	
5	1	334,4	1502,97	336,67	2,27	1168,57	0,19	0,24
	2	339,03	1499,58	342,45	3,42	1160,55	0,29	
	3	257,78	1445,05	278,32	20,54	1187,27	1,73	
5,5	1	341,11	1503,1	342,57	1,46	1161,99	0,13	0,51
	2	334,02	1493,65	335,04	1,02	1159,63	0,09	
	3	339,14	1510,62	354,4	15,26	1171,48	1,30	
6	1	276	1433,75	304,02	28,02	1157,75	2,42	1,68
	2	345,08	1506,7	356,1	11,02	1161,62	0,95	
	3	275,12	1431,3	294,02	18,9	1156,18	1,63	
6,5	1	338,1	1486,1	380	41,9	1148	3,65	4,09
	2	333,02	1485,84	385,26	52,24	1152,82	4,53	
	3	333,74	1480,7	369,5	35,76	1146,96	3,12	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 19 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

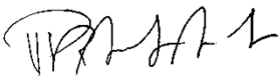
**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**


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

AFD mencari KAO

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Kadar Aspal (%)		Weight (g)			Berat Aspal Meleleh (m3-m1) (g)	Berat Total Sampel (m2-m1) (g)	Nilai Asphalt Flow Down (%)	Asphalt Flow Down Rata-rata (%)
		m1	m2	m3				
4,5	1	334,85	1516,1	343,2	8,35	1181,25	0,71	0,10
	2	334,44	1516,8	334,96	0,52	1182,36	0,04	
	3	333,43	1505,8	335,26	1,83	1172,37	0,16	
5	1	336,23	1446,7	339,8	3,57	1110,47	0,32	0,17
	2	338,75	1506,62	338,94	0,19	1167,87	0,02	
	3	338,48	1502,32	350,95	12,47	1163,84	1,07	
5,5	1	339,48	1496,92	340,6	1,12	1157,44	0,10	0,43
	2	344,38	1516,3	348,65	4,27	1171,92	0,36	
	3	333,44	1494,6	343,1	9,66	1161,16	0,83	
6	1	338,72	1508,24	356,36	17,64	1169,52	1,51	1,40
	2	334,13	1505,8	349,15	15,02	1171,67	1,28	
	3	275,6	1448,75	289,45	13,85	1173,15	1,18	
6,5	1	284,45	1424,9	349	64,55	1140,45	5,66	3,54
	2	339,48	1494,6	355,8	16,32	1155,12	1,41	
	3	339,57	1505,52	359,32	19,75	1165,95	1,69	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 20 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus Bahan Ikat Aspal Pertamina Pen 60/70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

CL mencari KAO

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Kadar Aspal (%)		Berat Benda Uji		Berat Sebelum diabrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
4,5	A1	1175,67	654,27	521,4	44,35	42,78
	A2	1188,61	698,73	489,88	41,21	
	A3	1187,63	662,37	525,26	44,23	
5	A1	1166,35	717,12	449,23	38,52	39,09
	A2	1147,61	704,07	443,54	38,65	
	A3	1184,47	716,23	468,24	39,53	
5,5	A1	1167,66	790,71	376,95	32,28	32,73
	A2	1169,11	781,28	387,83	33,17	
	A3	1168,4	846,76	321,64	27,53	
6	A1	1172,94	958,62	214,32	18,27	20,84
	A2	1168,34	944,83	223,51	19,13	
	A3	1180,24	914,16	266,08	22,54	
6,5	A1	1170,82	845,66	325,16	27,77	16,18
	A2	1170,25	976,72	193,53	16,54	
	A3	1168,8	983,79	185,01	15,83	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 21 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk KAO Pada Campuran Aspal Porus
Bahan Ikat Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

CL mencari KAO

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Kadar Aspal (%)		Berat Benda Uji		Berat Sebelum diabrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
		Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
4,5	B1	1178,44	715,42	463,02	39,29	38,95
	B2	1168,82	717,64	451,18	38,60	
	B3	1174,23	749,71	424,52	36,15	
5	B1	1182,65	612,28	570,37	48,23	36,43
	B2	1181,15	723,29	457,86	38,76	
	B3	1180,1	777,75	402,35	34,09	
5,5	B1	1163,32	886,21	277,11	23,82	25,80
	B2	1179,1	851,47	327,63	27,79	
	B3	1193,31	860,97	332,34	27,85	
6	B1	1182,56	1054,2	128,36	10,85	15,45
	B2	1177,6	997,17	180,43	15,32	
	B3	1179,51	995,73	183,78	15,58	
6,5	B1	1170,7	888,66	866,49	74,01	13,68
	B2	1170,6	1022,93	147,67	12,61	
	B3	1170,29	997,78	172,51	14,74	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 22 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut

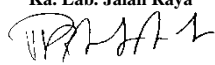


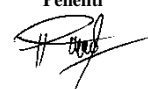
**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPEL	Tinggi	A	B	H	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)		Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0	A1	7.73	5.71	5.4	2.39	51.5	761.73	0.7463	568.44	3.9	145.75
	A2	7.77	5.71	5.4	2.39	54	798.70	0.7408	591.71	4	147.93
	A3	7.77	5.71	5.4	2.39	53	783.91	0.7417	581.40	4	145.35
									586.56	4.00	146.64
3	A1	7.75	5.71	5.4	2.39	46.7	690.73	0.74	513.44	3.5	146.70
	A2	7.98	5.71	5.4	2.39	50	739.54	0.71	521.68	4	130.42
	A3	7.76	5.71	5.4	2.39	50	739.54	0.74	548.80	3.63	151.18
									535.24	3.82	140.80
6	A1	7.80	5.71	5.4	2.39	44	650.80	0.74	479.15	3.6	133.10
	A2	7.79	5.71	5.4	2.39	45.8	677.42	0.74	500.02	3.65	136.99
	A3	7.96	5.71	5.4	2.39	45.5	672.98	0.71	476.14	3.26	146.05
									489.58	3.63	135.04
24	A1	7.85	5.71	5.4	2.39	38	562.05	0.73	408.54	2.55	160.21
	A2	8.02	5.71	5.4	2.39	40	591.63	0.70	414.14	3.2	129.42
	A3	7.86	5.71	5.4	2.39	42.6	630.09	0.72	456.42	3.5	130.41
									435.28	3.35	129.91

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 23 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* Pada Aspal Porus PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut

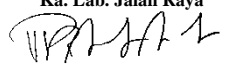



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPLER	Tinggi	A	B	H	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)		Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0	B1	7.84	5.37	5.1	2.40	53	783.91	0.73	570.79	4.0	142.70
	B2	7.81	5.37	5.1	2.40	55	813.50	0.73	597.41	3.8	157.21
	B3	7.81	5.37	5.1	2.40	55.7	823.85	0.74	605.53	3.9	155.26
									601.47	3.9	156.24
3	B1	8.00	5.37	5.1	2.40	52	769.12	0.70	540.63	3.9	138.62
	B2	7.76	5.37	5.1	2.40	54	798.70	0.74	593.54	3.8	156.19
	B3	7.94	5.37	5.1	2.40	50	739.54	0.71	525.07	3.6	145.85
									559.31	3.70	151.02
6	B1	7.83	5.37	5.1	2.40	46	680.38	0.73	497.53	3.7	134.47
	B2	7.74	5.37	5.1	2.40	49	724.75	0.74	539.64	3.5	154.18
	B3	7.74	5.37	5.1	2.40	44.5	658.19	0.74	490.08	3.6	136.13
									514.86	3.55	145.16
24	B1	7.96	5.37	5.1	2.40	41.7	616.78	0.71	436.63	3.3	132.31
	B2	8.10	5.37	5.1	2.40	42.4	627.13	0.69	432.72	3.15	137.37
	B3	7.87	5.37	5.1	2.40	43.5	643.40	0.72	464.86	3.3	140.87
									448.79	3.23	139.12

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Pravogo Afang Pravitno, S. T., M. Sc.
NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 24 Hasil Pengujian *Immersion* Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut

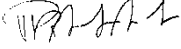



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPSEL	Tinggi	A	B	H	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)		Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0 Jam	A1	7.81	5.71	5.4	2.39	50	739.54	0.7338	542.64	3.5	155.04
	A2	7.69	5.71	5.4	2.39	48	709.96	0.7508	533.06	3.5	152.30
	A3	7.81	5.71	5.4	2.39	47.5	702.56	0.7344	515.95	3.5	147.41
									537.85	3.50	153.67
3	A1	7.59	5.71	5.4	2.39	41	606.42	0.76	463.16	3.4	136.22
	A2	7.83	5.71	5.4	2.39	42.4	627.13	0.73	457.81	3.4	134.65
	A3	7.69	5.71	5.4	2.39	42	621.21	0.75	466.95	3.6	129.71
									462.38	3.50	132.18
6	A1	7.86	5.71	5.4	2.39	36.5	539.87	0.72	388.37	3.4	114.23
	A2	7.76	5.71	5.4	2.39	34.2	505.85	0.74	375.80	3.5	107.37
	A3	7.53	5.71	5.4	2.39	37	547.26	0.77	419.79	3.3	127.21
									397.80	3.40	117.29
24	A1	7.74	5.71	5.4	2.39	30.1	445.20	0.74	331.31	2.8	118.32
	A2	7.75	5.71	5.4	2.39	31	458.52	0.74	338.73	3.3	102.65
	A3	7.75	5.71	5.4	2.39	31.5	465.91	0.74	345.74	3.0	115.25
									342.24	3.15	108.95

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 25 Hasil Pengujian *Immersion* Pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut

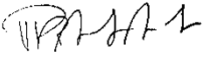


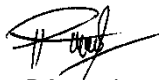
**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPEL	Tinggi	A	B	H	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)		Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
0 Jam	B1	7.80	5.37	5.1	2.40	51.6	763.21	0.7369	562.39	4	140.60
	B2	7.77	5.37	5.1	2.40	50.5	746.94	0.7417	553.98	3.5	158.28
	B3	7.80	5.37	5.1	2.40	51.5	761.73	0.7369	561.30	4	140.32
									561.84	3.75	149.30
3	B1	7.73	5.37	5.1	2.40	45.5	672.98	0.75	502.49	3.5	143.57
	B2	7.87	5.37	5.1	2.40	47.5	702.56	0.72	507.60	3.5	145.03
	B3	7.78	5.37	5.1	2.40	44.2	653.75	0.74	483.78	3.5	138.22
									493.14	3.50	140.90
6	B1	7.8	5.37	5.1	2.40	40	591.63	0.74	437.81	3.1	141.23
	B2	7.78	5.37	5.1	2.40	36.3	536.91	0.73	392.95	3.2	122.80
	B3	7.64	5.37	5.1	2.40	38.9	575.36	0.77	441.11	3.4	129.74
									439.46	3.25	135.48
24	B1	7.95	5.37	5.1	2.40	31	458.52	0.72	328.41	3.0	109.47
	B2	7.88	5.37	5.1	2.40	32.7	483.66	0.72	350.35	3.0	116.78
	B3	7.75	5.37	5.1	2.40	35.3	522.12	0.74	386.37	3.0	128.79
									368.36	3.00	122.79

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 26 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut



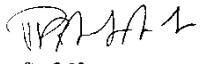
**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**


**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikut : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPSEL	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	ITS (Kpa)	ITS RATA -RATA (Kpa)
		1	2	3						
0	A1	7.79	7.82	7.81	7.81	10.15	4.3	46.74	36.85	38.11
	A2	7.81	7.79	7.71	7.77	10.19	4.5	49.33	38.93	
	A3	7.88	7.74	7.79	7.80	10.17	4.5	48.95	38.54	
3	A1	7.84	7.82	7.79	7.82	10.19	4	43.36	34.02	35.05
	A2	7.65	7.79	7.81	7.75	10.15	4.5	49.49	39.31	
	A3	8.07	7.98	7.98	8.01	10.17	4	41.48	31.82	
6	A1	7.7	7.71	7.81	7.74	10.14	3.5	38.56	30.70	29.15
	A2	7.69	7.64	7.67	7.67	10.15	3	33.46	26.86	
	A3	7.77	7.85	7.8	7.81	10.19	3.5	38.04	29.88	
24	A1	7.74	7.75	7.88	7.79	10.16	3	32.74	25.85	23.01
	A2	7.99	7.8	7.88	7.89	10.14	2.7	28.72	22.43	
	A3	7.81	7.97	7.87	7.88	10.18	2.5	26.64	20.74	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 27 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* Pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut

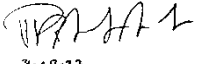



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (Jam)	SAMPEL	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	ITS (Kpa)	ITS RATA -RATA (Kpa)
		1	2	3						
0	B1	7.92	7.84	7.83	7.86	10.19	6	64.27	50.12	50.19
	B2	7.96	8.02	7.84	7.94	10.21	5.5	57.74	44.51	
	B3	7.89	7.84	7.83	7.85	10.20	6	64.44	50.26	
3	B1	7.83	7.79	7.76	7.79	10.21	5	54.53	42.82	44.19
	B2	7.92	7.76	7.96	7.88	10.21	5.5	58.66	45.56	
	B3	7.85	7.84	7.89	7.86	10.16	5	53.60	41.94	
6	B1	8.02	7.96	7.96	7.98	10.19	5	52.13	40.05	39.20
	B2	7.83	7.82	7.84	7.83	10.20	4.5	48.62	38.04	
	B3	7.88	7.77	7.79	7.81	10.18	4.5	48.83	38.36	
24	B1	7.84	7.81	7.88	7.84	10.17	4	43.07	33.74	33.19
	B2	7.97	7.96	7.94	7.96	10.21	4	41.87	32.21	
	B3	7.9	7.92	7.95	7.92	10.19	4	42.18	32.64	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

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

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 28 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut

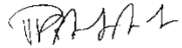



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

RENDAMAN AIR LAUT (JAM)	SAMPSEL	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa)	ITS RATA-RATA (Kpa)	TSR (%)
		1	2	3							
0	A1	7.89	7.88	7.89	7.89	10.17	3.2	34.07	26.54	28.15	73.86
	A2	7.86	7.79	7.81	7.82	10.18	3.4	36.83	28.91		
	A3	7.86	7.79	7.81	7.82	10.15	3.4	36.83	28.99		
3	A1	7.75	7.72	7.75	7.74	10.15	2.7	29.74	23.66	25.07	71.54
	A2	7.89	7.88	7.89	7.89	10.17	3	31.94	24.88		
	A3	7.67	7.71	7.65	7.68	10.19	3	33.40	26.68		
6	A1	7.79	7.84	7.81	7.81	10.18	2.5	27.13	21.31	19.84	68.07
	A2	7.86	7.75	7.79	7.80	10.16	2.4	26.13	20.60		
	A3	7.72	7.69	7.74	7.72	10.17	2	22.12	17.61		
24	A1	7.6	7.72	7.75	7.69	10.19	2	22.22	17.72	14.57	63.32
	A2	7.95	7.87	7.81	7.88	10.20	1.5	16.01	12.45		
	A3	7.75	7.81	7.34	7.63	10.17	1.5	16.82	13.54		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Pravogo Afang Pravitno, S. T., M. Sc.
NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 29 Hasil Pengujian *Tensile Strength Ratio* pada Aspal Porus PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut

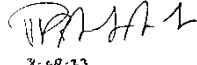



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

RENDAMAN AIR LAUT (JAM)	SAMPel	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa)	ITS RATA-RATA (Kpa)	TSR (%)
		1	2	3							
0	B1	7.89	7.77	7.79	7.82	10.17	5.1	55.29	43.46	42.43	84.55
	B2	7.89	7.72	7.91	7.84	10.18	5	53.88	42.18		
	B3	7.88	7.87	7.89	7.88	10.15	5	53.33	41.66		
3	B1	7.79	7.87	7.55	7.74	10.18	4	44.09	34.98	36.36	82.28
	B2	7.75	7.72	7.77	7.75	10.17	4.5	49.52	39.27		
	B3	7.89	7.88	7.91	7.89	10.15	4.2	44.64	34.81		
6	B1	7.87	8.02	8.01	7.97	10.17	4	41.80	32.24	31.63	80.69
	B2	7.95	7.93	7.92	7.93	10.19	4	42.07	32.52		
	B3	7.79	7.79	7.8	7.79	10.15	3.5	38.17	30.15		
24	B1	7.55	7.62	7.67	7.61	10.18	3	33.75	27.21	25.13	75.72
	B2	7.84	7.85	7.76	7.82	10.14	2.8	30.35	23.93		
	B3	7.95	7.97	7.95	7.96	10.17	3	31.40	24.25		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Pravogo Afang Pravitno, S. T., M. Sc.
NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,
Peneliti

Rahmawati
NIM: 21914033

Lampiran 30 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Aspal Porus Pen 60/70 pada Variasi Rendaman Air Laut



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Pen 60/70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (jam)	Berat Benda Uji		Berat Sebelum diabrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1192.41	867.23	325.18	27.27	22.21
	1176.23	974.55	201.68	17.15	
	1180.96	967.33	213.63	18.09	
3	1183.22	894.52	288.7	24.40	22.39
	1174.55	900.26	274.29	23.35	
	1178.11	949.36	228.75	19.42	
6	1164.94	932.52	232.42	19.95	23.41
	1164.65	829.26	335.39	28.80	
	1169.62	918.36	251.26	21.48	
24	1174.24	892.52	281.72	23.99	27.24
	1166.65	789.26	377.39	32.35	
	1177.33	878.36	298.97	25.39	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

31-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 31 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* pada Aspal Porus Karet PG70 pada Variasi Rendaman Air Laut



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikat : Aspal Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Rendaman Air Laut (jam)	Berat Benda Uji		Berat Sebelum diabrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
0	1194.88	938.23	256.65	21.48	18.79
	1167.87	952.14	215.73	18.47	
	1193.21	997.44	195.77	16.41	
3	1187.45	982.52	204.93	17.26	18.99
	1165.65	921.26	244.39	20.97	
	1179.32	958.36	220.96	18.74	
6	1185.94	962.52	223.42	18.84	19.56
	1165.65	919.26	246.39	21.14	
	1179.00	958.36	220.64	18.71	
24	1185.94	897.52	288.42	24.32	24.31
	1165.65	896.26	269.39	23.11	
	1179.00	878.36	300.64	25.50	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

21-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 32 Hasil Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porus Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

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

Tipe Campuran : Aspal Porus
Bahan Ikut : Aspal Pen 60/70 & Karet PG70
Tahun Uji : 2023

Jenis Aspal	Sampel	K (Tekanan 1 : 1)	K (Tekanan 2 : 2)	Kategori
Aspal Pen 60/70	A1	0.003330	0.002422	Drainase Buruk
	A2	0.002443	0.001791	
	A3	0.003004	0.002253	
Rata-rata		0.003330	0.002422	
Aspal Karet PG70	B1	0.002814	0.002227	Drainase Buruk
	B2	0.002568	0.002074	
	B3	0.002993	0.002694	
Rata-rata		0.002568	0.002074	

Mengetahui,

Ka. Lab. Jalan Raya

3-08-23

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

NIK: 20 511 1303

Yogyakarta,

Peneliti

Rahmawati

NIM: 21914033

Lampiran 33 Pengujian Permeabilitas pada Aspal Porus Pen 60/70 dan Aspal Karet PG70



LABORATORIUM TRANSPORTASI

DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL & LINGKUNGAN FAKULTAS TEKNIK UGM
Jl. Grafika No. 2 Kampus Universitas Gadjah Mada Yogyakarta 55281 telp. 0274-545675



PENGUJIAN PERMEABILITAS

No.	Benda Uji	Kode	Tekanan	
			1 : 1	2 : 2
			Waktu (menit/detik)	Waktu (menit/detik)
1.	A1	0	16"	11"
2.	A2		22"	15"
3.	A3		18"	12"
4.	B1	4	19"	12"
5.	B2		21"	13"
6.	B3		18"	10"

Yogyakarta, 3 Juli 2023

diperiksa oleh

Sani Primawista, A.Md

Lampiran 35 Analisis Anova Karakteristik Aspal

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Berat Jenis	Between Groups	.000	1	.000	2.951	.228
	Within Groups	.000	2	.000		
	Total	.000	3			
Penetrasi	Between Groups	1425.063	1	1425.063	4560.200	.000
	Within Groups	.625	2	.313		
	Total	1425.688	3			
Daktilitas	Between Groups	10816.000	1	10816.000	.	.
	Within Groups	.000	2	.000		
	Total	10816.000	3			
Titik Nyala	Between Groups	1369.000	1	1369.000	2738.000	.000
	Within Groups	1.000	2	.500		
	Total	1370.000	3			
Titik Bakar	Between Groups	64.000	1	64.000	128.000	.008
	Within Groups	1.000	2	.500		
	Total	65.000	3			
Kelarutan TCE	Between Groups	.160	1	.160	3200.000	.000
	Within Groups	.000	2	.000		
	Total	.160	3			
Titik Lembek	Between Groups	85.563	1	85.563	47.207	.021
	Within Groups	3.625	2	1.813		
	Total	89.188	3			

Lampiran 36 Analisis Anova Permeabilitas Aspal

ANOVA

		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Permeabilitas	Between Groups	.000	1	.000	.218	.665
Tekanan 1	Within Groups	.000	4	.000		
	Total	.000	5			
Permeabilitas	Between Groups	.000	1	.000	.442	.543
Tekanan 2	Within Groups	.000	4	.000		
	Total	.000	5			

Lampiran 37 Analisis *Two Way Anova* Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut

Dependent Variable: Stabilitas

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	2119157.477 ^a	7	302736.782	461.149	.000
Intercept	9175951.657	1	9175951.657	13977.424	.000
Jenis_Aspal	213053.468	1	213053.468	324.537	.000
Rendaman_Air_Laut	1136694.054	3	378898.018	577.163	.000
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	769409.956	3	256469.985	390.672	.000
Error	10503.740	16	656.484		
Total	11305612.874	24			
Corrected Total	2129661.217	23			

a. R Squared = .995 (Adjusted R Squared = .993)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: ITS

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	918.660 ^a	7	131.237	131.237	.000
Intercept	182619.320	1	182619.320	182619.320	.000
Jenis_Aspal	92.257	1	92.257	92.257	.000
Rendaman_Air_Laut	783.118	3	261.039	261.039	.000
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	43.285	3	14.428	14.428	.000
Error	16.000	16	1.000		
Total	183553.980	24			
Corrected Total	934.660	23			

a. R Squared = .983 (Adjusted R Squared = .975)

Lampiran 38 Analisis *Two Way Anova* Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut (Lanjutan)

Dependent Variable: TSR

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1123.805 ^a	7	160.544	160.544	.000
Intercept	135008.550	1	135008.550	135008.550	.000
Jenis_Aspal	808.509	1	808.509	808.509	.000
Rendaman_Air_Laut	310.420	3	103.473	103.473	.000
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	4.876	3	1.625	1.625	.223
Error	16.000	16	1.000		
Total	136148.355	24			
Corrected Total	1139.805	23			

a. R Squared = .986 (Adjusted R Squared = .980)

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: Cantabro

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	184.853 ^a	7	26.408	2.251	.085
Intercept	11554.043	1	11554.043	984.769	.000
Jenis_Aspal	56.090	1	56.090	4.781	.044
Rendaman_Air_Laut	126.107	3	42.036	3.583	.037
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	2.656	3	.885	.075	.972
Error	187.724	16	11.733		
Total	11926.619	24			
Corrected Total	372.576	23			

a. R Squared = .496 (Adjusted R Squared = .276)

Lampiran 39 Analisis Two Way Anova Karakteristik Aspal Porus Bahan Ikat Pen 60/70 dan Karet PG70 dengan Variasi Rendaman Air Laut (Lanjutan)

Dependent Variable: IDP

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	1.007 ^a	7	.144	1435.534	.000
Intercept	8.647	1	8.647	86292.240	.000
Jenis_Aspal	.087	1	.087	869.404	.000
Rendaman_Air_Laut	.907	3	.302	3018.587	.000
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	.012	3	.004	41.190	.000
Error	.002	16	.000		
Total	9.656	24			
Corrected Total	1.009	23			

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

Tests of Between-Subjects Effects

Dependent Variable: IDK

Source	Type III Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Corrected Model	132.792 ^a	7	18.970	37.937	.000
Intercept	1148.194	1	1148.194	2296.159	.000
Jenis_Aspal	10.992	1	10.992	21.981	.000
Rendaman_Air_Laut	120.234	3	40.078	80.148	.000
Jenis_Aspal * Rendaman_Air_Laut	1.566	3	.522	1.044	.400
Error	8.001	16	.500		
Total	1288.987	24			
Corrected Total	140.793	23			

a. R Squared = .943 (Adjusted R Squared = .918)

Lampiran 40 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

1. Aspal Bitumen



2. Timbangan Digital



3. Piknometer



Lampiran 41 Gambar Alat Pemeriksaan Penetrasi Aspal

1. Termometer



4. Alat Penetrasi



2. Stopwatch



5. Cawan Berisi Aspal



3. Senter



Lampiran 42 Gambar Alat Pemeriksaan Daktilitas Aspal

1. Mesin Uji Daktilitas



2. Termometer



Lampiran 43 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar Aspal

1. Alat pengujian titik nyala dan titik bakar aspal



2. Termometer



Lampiran 44 Gambar Alat Pemeriksaan Kelarutan Aspal dalam TCE

1. Aspal / Bitumen



2. Bekker Glass



3. Larutan TCE



4. Kertas Saring



5. Timbangan Digital



6. Pengaduk



7. Oven



8. Pompa Hisap



Lampiran 45 Gambar Alat Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

1. Cincin Kuningan



2. Bejana Gelas



3. Termometer



4. StopWatch



5. Alat Pemanas



Lampiran 46 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

1. Timbangan + Keranjang kawat



2. Oven



3. Kain Lap



Lampiran 47 Gambar Alat Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

1. *Cone* dan Penumbuk



2. Piknometer



3. Oven



4. Timbangan



Lampiran 48 Gambar Alat Pemeriksaan Kelekatan Agregat terhadap Aspal

1. Termometer



2. Bekker Glass



3. Oven



Lampiran 49 Gambar Alat Pemeriksaan Keausan Agregat

1. Mesin *Los Angeles*



2. Bola Baja



3. Timbangan



4. Oven

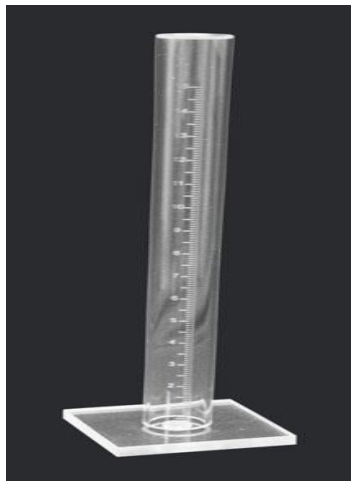


Lampiran 50 Gambar Alat Pemeriksaan *Sand Equivalent*

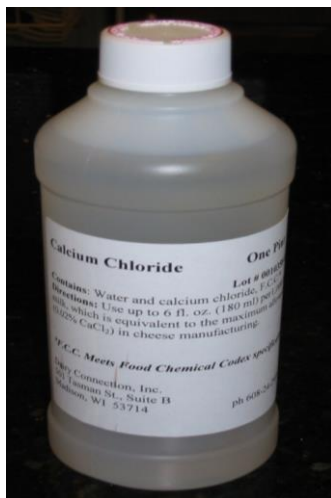
1. 1 Set Alat Pengujian



2. Silinder Ukur



3. Larutan CaCl_2



Lampiran 51 Gambar Alat Analisis Saringan

1. Saringan



2. Cetok dan Wadah



3. Kuas



4. Alat Penguncang saringan



5. Timbangan



Lampiran 52 Gambar Alat Pembuatan Sampel

1. Satu set Alat Penumbuk



2. Wajan dan Pengaduk



3. Mold



4. Ejector (Hydraulic Pump)



5. Sarung Tangan



Lampiran 53 Gambar Alat Pengujian *Marshall* dan *Immersion*

1. Alat Pengujian *Marshall* dan *Immersion*



2. Timbangan + keranjang



3. *Water Bath* dan Sarung Tangan



4. Kain Lap



Lampiran 54 Gambar Alat Pengujian ITS

1. Alat *Waterbath*



2. Alat Uji *Marshall*



3. Timbangan



Lampiran 55 Gambar Alat Pengujian Permeabilitas

1. Alat Uji Permeabilitas



2. Paraffin

