

TESIS

**STUDI KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN
PENAMBAHAN BAHAN *ADDITIVE REDISSET LQ-1106***



Disusun oleh:

EZA MARIZKA

1891 4037

KONSENTRASI PERENCANAAN DAN TEKNIK TRANSPORTASI

PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

YOGYAKARTA

2021

TESIS

STUDI KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN PENAMBAHAN BAHAN *ADDITIVE REDISET LQ-1106*



Diperiksa dan disetujui oleh:

MIFTAHUL FAUZIAH, S.T., M.T., Ph.D.
Dosen Pembimbing I

Tanggal: 26-04-2021

Ir. SUBARKAH, M.T.
Dosen Pembimbing II

Tanggal: 26 - 04 - 2021

TESIS

**STUDI KINERJA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN
PENAMBAHAN BAHAN ADDITIVE REDISSET LQ-1106**



Telah diuji di depan Dewan Penguji

Pada tanggal 24 April 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat untuk diterima

Susunan Dewan Penguji

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II

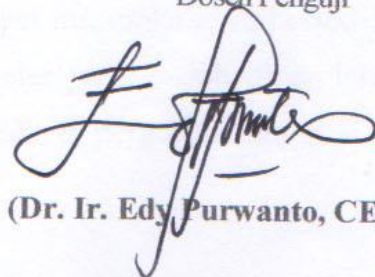
Dosen Penguji



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



(Ir. Subarkah, M.T.)



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

Yogyakarta, 27 MAY 2021
Universitas Islam Indonesia

Program Studi Teknik Sipil, Program Magister
Ketua Program,



(Ir. Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D.)

PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN

Dengan ini saya menyatakan bahwa:

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

Yogyakarta, 24 April 2021

Yang membuat pernyataan,



EZA MARIZKA

NIM : 1891 4037

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah puji syukur penyusun panjatkan kehadirat Allah SWT, karena dengan rahmat dan hidayahnya penulis dapat menyelesaikan Tesis dengan judul Studi Kinerja Campuran Aspal Porus dengan Penambahan *Additive Rediset LQ-1106*. Laporan Tesis ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Perencanaan Teknik Transportasi (S-2) di Program Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

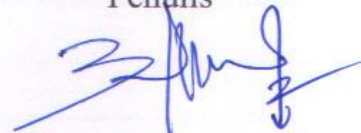
Dalam penyusunan Tesis ini banyak hambatan yang dihadapi oleh penulis, namun berkat doa, dukungan, saran, serta dorongan semangat dari berbagai pihak, alhamdulillah penulis dapat menyelesaikan Tesis ini. Berkaitan dengan ini, penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ibu Miftahul Fauziah, S.T., M.T., Ph.D. dan Bapak Ir. Subarkah, M.T. selaku Dosen Pembimbing I dan II, yang telah memberikan bimbingan, pengarahan dan dukungan demi terselesaikannya penyusunan tesis ini,
2. Bapak Dr. Ir. Edy Purwanto, CES., DEA. selaku Dosen Penguji Tesis, yang selalu memberikan banyak masukan, kritik maupun saran, dan memberikan evaluasi agar lebih baik di kemudian hari,
3. Ibu Fitri Nugraheni, S.T., M.T., Ph.D. selaku Ketua Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, dan
4. Seluruh pihak yang telah mendukung terselesaikannya Tesis ini.

Penulis berharap agar Tesis ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 24 April 2021

Penulis



Eza Marizka
(1891 4037)

DAFTAR ISI

Halaman Judul	i
Halaman Persetujuan	ii
Halaman Pengesahan	iii
PERNYATAAN KEASLIAN PENELITIAN	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH	xv
ABSTRAK	xviii
ABSTRACT	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	4
1.5 Batasan Masalah	4
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Kinerja Campuran Aspal Porus	5
2.2 Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Aditif.....	5
2.3 Penambahan <i>Additive Rediset LQ-1106</i> pada Campuran Aspal	7
2.4 Durabilitas Campuran Aspal	8
2.5 Deformasi Permanen.....	10
2.6 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i>	11
BAB III LANDASAN TEORI	14
3.1 Bahan Penyusun Aspal Porus	14
3.1.1 Agregat	14
3.1.2 Aspal.....	16

3.1.3 Bahan Tambah <i>Additive Rediset LQ-1106</i>	17
3.2 Kriteria Perencanaan Campuran Aspal Porus	18
3.3 <i>Stiffness Modulus Bitumen</i>	19
3.4 Pengujian <i>Marshall</i>	20
3.4.1 Stabilitas (<i>Stability</i>)	20
3.4.2 Kelelahan (<i>Flow</i>)	20
3.4.3 <i>Marshall Question (MQ)</i>	21
3.4.4 Pengujian <i>Void in the Total Mix (VIM)</i>	21
3.5 Pengujian <i>Cantabro Loss (CL)</i>	21
3.6 Pengujian <i>Asphalt Flow Down (AFD)</i>	22
3.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	22
3.8 Pengujian Durabilitas	23
3.8.1 Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	23
3.8.2 <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> ..	24
3.8.3 Pengujian <i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i>	26
BAB IV METODE PENELITIAN	28
4.1 Metode Penelitian	28
4.2 Lokasi Penelitian	28
4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian	28
4.3.1 Bahan Penelitian	28
4.3.2 Peralatan Penelitian	28
4.4 Tahapan Penelitian	30
4.4.1 Pengujian Bahan	30
4.4.2 Perancangan Campuran Benda Uji	30
4.4.3 Pembuatan Benda Uji	36
4.4.4 Pengujian Benda Uji	37
4.5 Analisis Statistik	40
4.6 Bagan Alir Penelitian	41
BAB V HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	42
5.1 Hasil Penelitian	42
5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal	42
5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat	43

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum	44
5.1.4 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i> pada KAO.....	47
5.1.5 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik <i>Anova</i> untuk Pengaruh Penggunaan <i>Rediset LQ-1106</i> pada Campuran Aspal Porus.....	49
5.2 Pembahasan.....	49
5.2.1 Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i>	49
5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar	54
5.2.3 Karakteristik Agregat Halus	56
5.2.4 Karakteristik <i>Marshall</i> Standar, <i>Cantabro Loss</i> dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Mencari Kadar Aspal Optimum.....	58
5.2.5 Karakteristik <i>Marshall</i> Standar Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i> pada KAO	66
5.2.6 Karakteristik Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i> pada KAO .	74
5.2.7 Karakteristik <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i> pada KAO.....	78
5.2.8 Karakteristik <i>Wheel Tracking</i> Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i> pada KAO	81
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	86
6.1 Kesimpulan	86
6.2 Saran	87
DAFTAR PUSTAKA	88
LAMPIRAN	

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (<i>ITS</i>)	25
Gambar 3.2 Hubungan Waktu dan Deformasi	27
Gambar 4.1 Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus	31
Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian.....	41
Gambar 5.1 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>VIM</i> .	45
Gambar 5.2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Cantabro Loss</i>	46
Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai <i>Asphalt Flow Down</i>	46
Gambar 5.4 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VIM</i>	58
Gambar 5.5 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VFMA</i>	59
Gambar 5.6 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan <i>VMA</i>	60
Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Density</i>	61
Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas	62
Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Flow</i>	63
Gambar 5.10 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>MQ</i>	63
Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Cantabro Loss</i>	64
Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal dengan <i>Asphalt Flow Down</i>	65
Gambar 5.13 Hasil Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>VIM</i>	66
Gambar 5.14 Hasil Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>VFMA</i>	67
Gambar 5.15 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>VMA</i>	68
Gambar 5.16 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>Density</i>	69
Gambar 5.17 Hasil Penambahan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Stabilitas.	70
Gambar 5.18 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>Flow</i>	72
Gambar 5.19 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>MQ</i>	73
Gambar 5.20 Perbandingan Hasil Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>IRS</i>	74
Gambar 5.21 Hasil Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>IDP</i>	76
Gambar 5.22 Hasil Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>IDK</i>	77
Gambar 5.23 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>ITS</i>	78

Gambar 5.24 Hubungan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai <i>TSR</i>	79
Gambar 5.25 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai Stabilitas Dinamis.....	81
Gambar 5.26 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Nilai Kecepatan Deformasi	82
Gambar 5.27 Hubungan Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus	83
Gambar 5.28 Hubungan Penambahan <i>Rediset LQ-1106</i> dengan Jumlah Lintasan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus.....	83
Gambar 5.29 Perbandingan Stabilitas <i>Marshall</i> dengan Stabilitas Dinamis..	85



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah <i>Rediset LQ-1106</i>	11
Tabel 3.1 Spesifikasi Agregat Kasar	15
Tabel 3.2 Spesifikasi Agregat Halus	16
Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus.....	16
Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras.....	17
Tabel 3.5 Kriteria <i>Rediset LQ-1106</i>	18
Tabel 3.6 Spesifikasi Aspal Porus	19
Tabel 3.7 Spesifikasi Penentuan KAO	23
Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus	31
Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%	32
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%	33
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%	33
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%	34
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%	34
Tabel 4.7 Variasi Campuran Aspal Porus dengan <i>additive Rediset LQ-1106</i> . ..	35
Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum	35
Tabel 4.9 Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian <i>Immersion Test (IRS), ITS</i> serta <i>TSR</i> dan <i>Wheel Tracking</i>	36
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70.....	42
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> 1% ...	42
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> 2% ...	43
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> 3% ...	43
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar	43
Tabel 5.6 Hasil Pengujian Agregat Halus	44
Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Menentukan KAO. ..	44
Tabel 5.8 Hasil Pengujian <i>Cantabro Loss</i> untuk Menentukan KAO	45
Tabel 5.9 Hasil Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Menentukan KAO.....	45
Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik <i>VIM</i> , <i>Cantabro Loss</i> , dan <i>Asphalt Flow Down</i> untuk Menentukan KAO	46

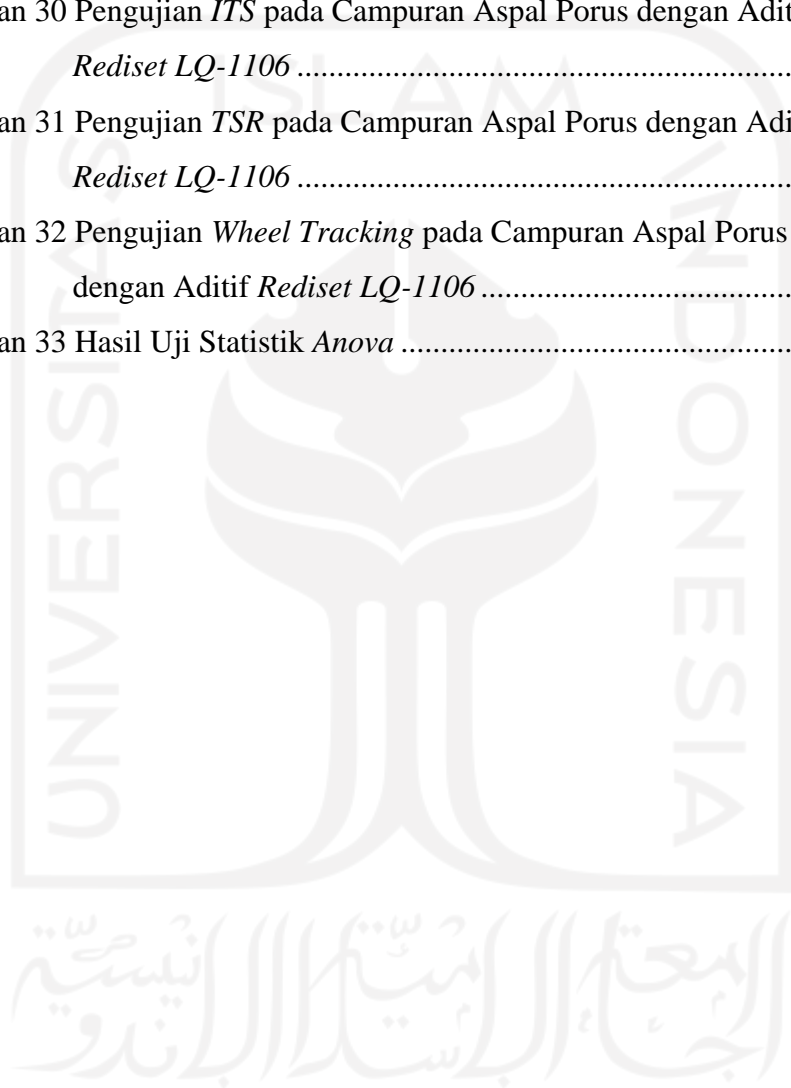
Tabel 5.11 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Standar.....	47
Tabel 5.12 Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall (Immersion Test)</i>	47
Tabel 5.13 Hasil Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i> dan <i>Tensile Strength Ratio (TSR)</i>	48
Tabel 5.14 Hasil Pengujian <i>Wheel Tracking Machine (WTM)</i>	48
Tabel 5.15 Hasil Pengujian Deformasi Campuran Aspal Porus.....	48
Tabel 5.16 Hasil Uji Statistik <i>Anova</i>	49
Tabel 5.17 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi	53
Tabel 5.18 Hasil Perhitungan <i>Stiffness Modulus Bitumen (S_{bit})</i>	54



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal.....	94
Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi	95
Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal.....	98
Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi	99
Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas	102
Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi	103
Lampiran 7 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal.....	104
Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Modifikasi	105
Lampiran 9 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE.....	108
Lampiran 10 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE Aspal	109
Lampiran 11 Pemeriksaan Penetrasi Aspal.....	112
Lampiran 12 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi	113
Lampiran 13 Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat ..	116
Lampiran 14 Kelekatan Agregat Terhadap Aspal.....	117
Lampiran 15 Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i>	118
Lampiran 16 Butiran Kasar Agregat Kasar.....	119
Lampiran 17 Partikel Pipih dan Lonjong.....	120
Lampiran 18 Berat Jenis Agregat Kasar	121
Lampiran 19 Material Lolos Saringan 200	122
Lampiran 20 Berat Jenis Agregat Halus	123
Lampiran 21 Nilai Setara Pasir	124
Lampiran 22 Material Lolos Saringan No. 200	125
Lampiran 23 Gumpalan Lempung dan Gumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat.....	126
Lampiran 24 Pengujian <i>Marshall</i> dalam Mencari KAO pada Campuran Aspal Porus	127
Lampiran 25 Pengujian <i>Cantabro Loss</i> dalam Mencari KAO pada Campuran Aspal Porus	128
Lampiran 26 Pengujian <i>Asphalt Flow Down</i> dalam Mencari KAO pada Campuran Aspal Porus	129

Lampiran 27 Pengujian <i>Marshall</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	130
Lampiran 28 Pengujian <i>Immersion Test</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	131
Lampiran 29 Pengujian <i>IRS</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	132
Lampiran 30 Pengujian <i>ITS</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	133
Lampiran 31 Pengujian <i>TSR</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	134
Lampiran 32 Pengujian <i>Wheel Tracking</i> pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif <i>Rediset LQ-1106</i>	135
Lampiran 33 Hasil Uji Statistik <i>Anova</i>	139



DAFTAR NOTASI DAN ISTILAH

Notasi:

- a : persentase aspal terhadap batuan (%)
- b : persentase aspal terhadap campuran (%)
- c : berat kering sebelum direndam
- d : berat basah jenuh (*SSD*)
- e : berat di dalam air
- f : volume benda uji (cc)
- g : berat isi sampel (gr/cc)
- h : berat jenis maksimum teoritis campuran
- i : persen aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis aspal (%)
- j : persentase hasil pengurangan 100 dengan persentase aspal terhadap campuran dikalikan berat isi benda uji dibagi berat jenis agregat (%)
- k : jumlah kandungan rongga (%)
- l : rongga terhadap agregat (*VMA*) (%)
- m : rongga terisi aspal (*VFWA*) (%)
- n : rongga dalam campuran (*VITM*) (%)
- o : nilai pembacaan arloji stabilitas
- p : nilai pembacaan arloji stabilitas dikalikan dengan kalibrasi *proving ring*
- q : stabilitas (kg)
- r : *flow* (mm)
- s : tebal benda uji (cm)
- P maks : beban puncak (kg)
- h : tinggi sampel (cm)
- K : koefisien permeabilitas (cm/dtk)
- V : volume rembesan (cm³)
- γ_{Air} : berat jenis air (kg/cm³)
- L : panjang atau tinggi sampel (cm)

- T : lama waktu rembesan (dtk)
 P : tekanan air (kg/cm²)
 A : luas penampang sampel (cm²)
 L : persentase kehilangan berat (%)

Istilah:

- Agregat : sekumpulan butiran batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, yang berasal dari alam atau buatan.
- Agregat Halus : bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm) dan tertahan saringan No.200 (0,075 mm).
- Agregat Kasar : agregat yang tertahan saringan No.4 (4,75 mm).
- Aspal : material berwarna hitam atau coklat tua, pada temperatur berbentuk padat sampai agak padat.
- Bleeding* : naiknya aspal ke permukaan.
- Bahan Pengisi / *Filler* : butiran yang lolos saringan No. 200 (0,075 mm).
- Density* : nilai yang menunjukkan besarnya kepadatan suatu campuran yang telah dipadatkan.
- Gradasi Agregat : distribusi ukuran butiran agregat atau pengelompokkan agregat dengan ukuran yang berbeda.
- Marshall Test* : menentukan ketahanan (stabilitas) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari suatu campuran aspal.
- Stabilitas : kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.
- Durabilitas : kemampuan lapisan perkerasan menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu ataupun keausan akibat gesekan kendaraan.
- Fleksibilitas : kemampuan lapisan untuk dapat mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas berulang tanpa timbulnya retak dan perubahan volume.

<i>Workability</i>	: kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan.
<i>Flow</i>	: besarnya deformasi yang terjadi pada lapis keras akibat beban yang diterima.
<i>VMA</i>	: rongga udara antar butiran agregat dalam campuran aspal beton.
<i>VIM</i>	: persentase antara rongga udara dengan volume total campuran setelah dipadatkan.
<i>VFWA</i>	: persentase rongga dalam campuran yang terisi aspal.
<i>Marshall Quotient</i>	: perbandingan antara stabilitas dengan nilai <i>Flow</i> .
<i>Immersion Test</i>	: pengujian campuran aspal yang bertujuan untuk mengetahui perubahan karakteristik dari campuran akibat dari perubahan air, suhu, dan cuaca.
<i>Index of Retained Strength</i>	: persentase nilai stabilitas campuran yang direndam selama 24 jam dibandingkan dengan stabilitas campuran 0,5 jam.
<i>Indirect Tensile Strength</i>	: pengujian untuk mengetahui kemampuan material dalam menerima gaya tarik.
<i>Tensile Strength Ratio</i>	: persentase nilai kuat tarik tidak langsung campuran yang direndam selama 24 jam dibandingkan dengan kuat tarik tidak langsung campuran normal.
<i>Wheel Tracking</i>	: pengujian untuk mengetahui deformasi permanen yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan, di laboratorium disimulasikan dengan beban roda yang bergerak maju mundur melintas di atas benda uji.

ABSTRAK

Aspal porus adalah campuran aspal yang telah digunakan sebagai salah satu teknologi perkerasan lentur yang memiliki porositas yang tinggi, sehingga dapat mengalirkan air melalui pori-pori sebagai sistem drainase. Namun, kadar rongga yang tinggi pada campuran aspal porus mengakibatkan kekuatan dan ketahanan lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal lainnya. Oleh sebab itu, pada penelitian ini penulis menggunakan aditif *Rediset LQ-1106* sebagai solusi dalam mengatasi kelemahan tersebut. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah terhadap kinerja campuran aspal porus.

Penelitian ini memiliki empat tahapan, yang pertama melakukan pengujian sifat material terhadap agregat, aspal pen 60/70, dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah *Rediset LQ-1106*. Kedua, menentukan kadar aspal optimum pada campuran aspal porus berdasarkan metode AAPA (2004). Ketiga, melakukan pengujian *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio* dan *Wheel Tracking* dengan variasi kadar aditif *Rediset LQ-1106* 0%; 1%; 2%; dan 3% terhadap kadar aspal optimum. Keempat melakukan analisis, pembahasan dan kesimpulan terhadap hasil penelitian yang telah dilakukan.

Berdasarkan hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dengan peningkatan tertinggi pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% yaitu sebesar 18,62%, namun pada pengujian perendaman *Marshall* (*immersion test*) nilai *IRS* menunjukkan peningkatan yang tidak signifikan pada kadar 1% sebesar 0,22% dan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Nilai *ITS* mengalami kenaikan pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan 2% yaitu sebesar 20,14% dan 2,93% akan tetapi menurun pada kadar 3%, sedangkan nilai *TSR* meningkat secara tidak signifikan pada kadar 1% sebesar 3,09%, kemudian mengalami penurunan pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3%. Hasil pengujian *Wheel Tracking* juga menunjukkan campuran aspal porus dengan penambahan aditif *Rediset LQ-1106* mengalami peningkatan nilai stabilitas dinamis dan penurunan kecepatan deformasi, penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan penurunan kecepatan deformasi paling besar yaitu 35,88% dan 56,25%.

Kata-kata Kunci: Aspal Porus, *Marshall*, *Indirect Tensile Strength*, *Rediset LQ-1106*, dan *Wheel Tracking*

ABSTRACT

Porous asphalt is a kind of asphalt mixture that has been used as a flexible pavement technology which has high porosity, so that it flows water through the pores as a drainage system. However, the high ratio of voids in the porous asphalt results in lower strength and durability compared to other asphalt mixtures. To overcome this problem, the author used Rediset LQ-1106 additive as a solution. The purpose of this research is to determine the effect of Rediset LQ-1106 as an added additive to the performance of porous asphalt mixture

This research has four stages, the first is testing the material's properties of aggregates, asphalt pen 60/70, and asphalt pen 60/70 with Rediset LQ-1106 be as additive. Second, determine the optimum asphalt content of asphalt porous mixture based on the AAPA method (2004). Third is testing Marshall, Immersion, Indirect Tensile Strength, Tensile Strength Ratio and Wheel Tracking with variations in the contents of Rediset LQ-1106 additive 0%; 1%; 2%; and 3% of the optimum asphalt content. The fourth is to conduct analysis, discussion and conclusions by the results of research that has been done.

The result of this study shows that the addition of Rediset LQ-1106 additive increased the Marshall stability value. The highest stability value is the addition of 1% Rediset LQ-1106 content which is 18.62%. However, in the immersion test IRS value at 1% content showed an insignificant increase 0.22% and continue to decrease with the increasing of Rediset LQ-1106 contents. The ITS value increased in the addition of 1% and 2% Rediset LQ-1106 contents namely 20.14% and 2.93% but decreased at 3% content, while the TSR value increased insignificantly at the 1% content 3.09%, then experienced a decrease in the addition of contents of Rediset LQ-1106 2% and 3%. The results of the Wheel Tracking test also showed that the porous asphalt mixture with the addition of Rediset LQ-1106 additive experienced an increase in the value of dynamic stability and rate of deformation, the highest dynamic stability and rate of deformation value is the addition of 1% Rediset LQ-1106 content which is 35.88% and 56.25%.

Keywords: Asphalt Porous, Marshall, Indirect Tensile Strength, Rediset LQ-1106, and Wheel Tracking

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Jalan raya merupakan prasarana transportasi untuk menghubungkan suatu daerah dengan daerah lain. Pada saat ruas jalan mengalami kerusakan, maka akan berdampak cukup besar pada arus lalu lintas. Kerusakan jalan dapat dianalisis untuk diketahui penyebab terjadi kerusakannya, sehingga bisa ditemukan penyelesaiannya. Spesifikasi umum Bina Marga Tahun 2018 telah mensyaratkan tentang kualitas bahan campuran beraspal, dimana kualitas bahan akan berpengaruh terhadap mutu campuran beraspal. Rendahnya mutu bahan merupakan salah satu penyebab kerusakan jalan. Hal tersebut ditambah dengan meningkatnya volume lalu lintas, baik dalam hal jumlah dan beban kendaraan, serta akibat genangan air menjadi alasan lain banyak ditemukannya kerusakan jalan seperti terjadinya kerusakan dini berupa alur (*rutting*), *disintegration* dan *cracking*. Oleh karena itu diperlukan campuran perkerasan yang mempunyai sifat stabilitas dan durabilitas tinggi, tidak peka terhadap cuaca panas, tahan oksidasi, tahan terhadap rembesan air hujan, dan aman bagi lingkungan. Berbagai macam penelitian modifikasi aspal untuk meningkatkan kinerja campuran perkerasan telah banyak dilakukan, sehingga dapat mengatasi permasalahan tersebut salah satunya yaitu campuran aspal porus.

Aspal porus merupakan campuran aspal yang telah digunakan sebagai salah satu teknologi perkerasan lentur yang dapat meminimalisasi kerusakan perkerasan jalan khususnya yang disebabkan oleh air, karena aspal porus didesain memiliki porositas yang tinggi, sehingga dapat meloloskan air ke dalam lapisan secara vertikal dan horizontal melalui pori-pori sebagai sistem drainase. Aspal porus adalah campuran beraspal dengan persentase agregat kasar yang lebih banyak dan agregat halus yang sedikit, sehingga menghasilkan rongga yang besar agar bisa mengalirkan air (Noris, 2017). Aspal porus merupakan campuran gradasi agregat kasar tidak kurang 85% dari volume campuran dan generasi campuran aspal terbaru yang telah banyak dikembangkan di negara maju seperti Amerika, Eropa, Australia dan negara lainnya untuk lapisan permukaan (Saleh dkk, 2014). 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 jalan yang lebih tinggi (Ramadhan dan Reza, 2014). Aspal porus memiliki beberapa kelemahan yaitu kekuatan atau stabilitas yang lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal lain, dikarenakan komposisi aspal porus yang didominasi oleh agregat kasar mengakibatkan aspal porus menjadi kaku dan cenderung rapuh (Widyastuti dkk, 2013). Kadar rongga yang tinggi pada aspal porus mengakibatkan aspal teroksidasi lebih besar dan menurunkan kemampuan bahan pengikat untuk mempertahankan posisi agregat dan stabilitas menjadi rendah (Aquina, 2014). Aspal porus mempunyai stabilitas yang rendah tetapi memiliki permeabilitas yang tinggi yang disebabkan oleh banyaknya rongga antar agregat. Upaya dalam meningkatkan nilai stabilitas dapat dilakukan dengan memodifikasi aspal dengan bahan aditif atau bahan tambahan (Prawiro dan Pasca, 2014). Menurut Djakfar dkk (2013), terkait dengan kinerja campuran aspal porus dalam hal kinerja *marshall*, khususnya stabilitas campuran aspal porus hanya dapat menghasilkan sekitar 480 kg. 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*), dan harus didukung oleh struktur perkerasan yang lebih baik atau jenis perkerasan struktural yang mempunyai nilai stabilitas lebih besar seperti *AC-BC*. Oleh karena itu, untuk meningkatkan kinerja campuran aspal porus dibutuhkan aspal bermutu tinggi dengan memodifikasi aspal dengan bahan tambah aditif.

Aspal modifikasi merupakan aspal yang dibuat dengan cara mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah yang bertujuan untuk memperbaiki sifat-sifat fisis aspal (Bina Marga, 2004). Oleh karena itu, untuk meningkatkan kualitas dari komponen bahan penyusun aspal porus, maka digunakan *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah. Menurut AkzoNobel (2012), *Rediset LQ-1106* adalah aditif berbahan kimia yang dapat memberikan nilai keawetan yang lebih pada konstruksi jalan. Keunggulan *Rediset LQ-1106* mudah homogen dengan aspal, mudah larut dalam aspal, dapat meningkatkan kemampuan kerja campuran aspal, menghasilkan suhu pencampuran yang rendah, meningkatkan kohesi, mengurangi pengelupasan

akibat efek oksidasi serta memiliki sifat *waterproofing* yang memberikan sifat tahan air dan tahan temperatur dalam jangka panjang (*anti-stripping*) untuk meningkatkan umur jalan.

Berdasarkan uraian di atas, penelitian yang dilakukan ini lebih berfokus untuk meningkatkan kinerja struktural bukan terhadap kinerja fungsional, karena campuran aspal porous mempunyai stabilitas dan durabilitas yang masih rendah. Oleh karena itu penulis menggunakan *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah aditif untuk meningkatkan kinerja struktural campuran tersebut.

1.2 Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana pengaruh penggunaan *Rediset LQ-1106* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal porous?
2. Bagaimana pengaruh penggunaan *Rediset LQ-1106* terhadap *Indeks of Retained Strength* campuran aspal porous?
3. Bagaimana kinerja campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106* terhadap *Indirect Tensile Strength*?
4. Bagaimana kinerja campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106* terhadap *Tensile Strength Ratio*?
5. Bagaimana ketahanan stabilitas dinamis campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106*?
6. Berapa nilai kecepatan deformasi yang terjadi pada campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106*?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah maka tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengetahui pengaruh penggunaan *Rediset LQ-1106* terhadap karakteristik *Marshall* pada campuran aspal porous.
2. Mengetahui pengaruh penggunaan *Rediset LQ-1106* terhadap *Indeks of Retained Strength* campuran aspal porous.

3. Mengetahui kinerja campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106* terhadap *Indirect Tensile Strength*.
4. Mengetahui kinerja campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106* terhadap *Tensile Strength Ratio*.
5. Mengetahui ketahanan stabilitas dinamis campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106*.
6. Mengetahui nilai kecepatan deformasi yang terjadi pada campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106*.

1.4 Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat bagi para pembaca, antara lain sebagai berikut.

1. Memperluas pemahaman dan pengetahuan tentang teknologi perkerasan lentur, khususnya pada campuran aspal porous.
2. Meningkatkan dan mengembangkan kualitas teknologi campuran aspal porous.
3. Meningkatkan nilai guna dari *additive Rediset LQ-1106*.
4. Menambah variasi bahan *additive* pada campuran aspal porous.
5. Memperluas pengetahuan dan pemahaman mengenai pengaruh penggunaan *additive Rediset LQ-1106* terhadap kekuatan dan keawetan aspal porous.

1.5 Batasan Masalah

Batasan masalah dalam penelitian ini dibutuhkan agar pembahasan tidak keluar dari tujuan awal yang ingin dicapai. Batasan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Kadar aspal yang digunakan untuk menentukan KAO yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat campuran total dengan menggunakan aspal pen 60/70.
2. Bahan tambah yang digunakan adalah *additive Rediset LQ-1106* dengan kadar 0%, 1%, 2% dan 3% terhadap kadar aspal optimum.
3. Reaksi kimia tidak tinjau.
4. Agregat dan *filler* berasal dari daerah Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
5. *Immersion test* dan *TSR* menggunakan rendaman selama 24 jam.
6. Spesifikasi aspal porous sesuai standar *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*, 2004.
7. Permeabilitas campuran aspal porous tidak ditinjau.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Kinerja Campuran Aspal Porus

Menurut Fauziah dan Wijayati (2016), 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. Menurut Falderika (2004), aspal porus adalah aspal yang dicampur dengan agregat tertentu yang setelah dipadatkan mempunyai 20% pori-pori udara. Aspal porus menggunakan gradasi terbuka dimana fraksi agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat halus. Aspal porus umumnya memiliki nilai stabilitas *marshall* yang lebih rendah dari aspal beton yang menggunakan gradasi rapat. Menurut Nurcahaya dkk (2015), campuran bergradasi terbuka merupakan campuran yang memiliki rongga udara yang tinggi dan hanya sedikit memiliki kandungan agregat halus. Kestabilan campuran gradasi terbuka tergantung pada fraksi dan keadaan saling mengunci dari butiran agregat dan kohesi dari aspal sebagai pengikat.

Aspal porus didesain dengan porositas lebih tinggi dibandingkan dengan jenis perkerasan yang lain. Sifat porus diperoleh karena campuran aspal porus menggunakan proporsi agregat halus lebih sedikit dibandingkan campuran jenis yang lain (Djumari dan Sarwono, 2009). Campuran aspal porus memiliki beberapa kelebihan bagi pengguna jalan dan bagian sekitar jalan, yaitu fungsi drainase, fungsi keselamatan pengemudi, dan fungsi reduksi kebisingan jalan. Hal ini disebabkan karena nilai rongga (*porosity*) yang terkandung pada campuran aspal porus cukup besar. Rongga yang besar dapat menyebabkan turunnya nilai karakteristik pada campuran aspal porus. Kemampuan memikul beban (*stability*) pada campuran aspal porus yang berkurang secara drastis apabila dibandingkan dengan campuran aspal konvensional (Zuliansyah dan Muis, 2011).

2.2 Campuran Aspal Porus dengan Penambahan Aditif

Kemajuan teknologi telah banyak menghasilkan bahan tambah atau sering juga disebut aditif, yaitu suatu bahan yang dapat dicampurkan atau ditambahkan

pada aspal. Pada hakikatnya, modifikasi aspal bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal yang akan digunakan dalam pembuatan atau perbaikan jalan. Masih terdapat sifat-sifat yang kurang menguntungkan dalam aspal yang menyebabkan para ahli berusaha menemukan bahan yang dapat memperbaiki sifat fisik dan kimiawi dari aspal.

Menurut Sukirman (2003), aspal modifikasi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran atau ditambahkan aspal dengan bahan tambah (*additive*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan memberikan kemudahan (*workability*). Menurut Prastanto dkk (2015), aspal modifikasi merupakan salah satu jenis formula aspal dengan penambahan aditif (*plastomer* atau *elastomer*) untuk mendapatkan sifat perkerasan jalan yang lebih baik, yaitu mengurangi deformasi pada perkerasan, meningkatkan ketahanan terhadap retak dan kelekatan pada agregat. Penelitian tentang campuran aspal porus dengan penambahan berbagai varian aditif sudah banyak dilakukan oleh peneliti sebelumnya, adapun beberapa penelitian tersebut diuraikan sebagai berikut.

Penelitian Yongchun dkk (2019) menyimpulkan bahwa penambahan *slag* baja dan karet pada campuran aspal porus dengan metode pengujian yang digunakan adalah *Permeability*, *Marshall Test*, *Low-Temperature Crack Resistance*, *Rutting Test* dan *cantabro loss*. Hasil penelitian menunjukkan penurunan suhu manufaktur sebesar 10°C dan penambahan aditif secara signifikan meningkatkan ketahanan retak, suhu serta sedikit mengurangi sensitivitas air, meningkatkan permeabilitas, dan modulus elastisitas. Berbeda dengan penelitian Shukry dkk (2016) tentang campuran aspal porus menggunakan aditif *anti-stripping* diatomit yang dibandingkan dengan campuran kapur dan semen, sedangkan metode pengujian yang dilakukan adalah *Scanning Electron Microscopy (SEM) Test* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX)*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan kapur menunjukkan tingkat permeabilitas yang lebih tinggi dan kehilangan abrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel dengan semen dan diatomit. Namun, sampel dengan diatomit menunjukkan peningkatan modulus elastisitas dibandingkan dengan sampel kapur dan semen, sedangkan menurut Arsyad (2012), campuran aspal porus dengan penambahan *Anti Stripping (Wetfix-Be)* menggunakan Bahan Pengikat *Liquid Asbuton* dan metode

pengujian yang dilakukan adalah Karakteristik *Marshall*, *cantabro loss*, *permeability*, dan *binder drain down*. Hasil penelitian menunjukkan kadar *wetfix-be* optimum 0,325 %, nilai *cantabro loss* dan koefisien permeabilitas semakin kecil, nilai porositas dan *drain down*, nilai *flow*, *VIM* dan *VMA* semakin meningkat seiring dengan meningkatnya kadar *wetfix-be*. Penelitian Nurcahaya dkk (2015) menyimpulkan bahwa aspal modifikasi polimer *elvaloy* pada campuran aspal porus dengan metode pengujian yang dilakukan adalah pengujian *Marshall*, *cantabro loss*, *asphalt drain down*, Perendaman *Marshall*, pengujian modulus resilien dengan alat uji UMATTA, dan pengujian *Wheel Tracking Machine* menunjukkan hasil terbaik campuran aspal porus diperoleh pada pemakaian aspal modifikasi *Elvaloy* 2,5%. Aspal modifikasi *Elvaloy* 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.

2.3 Penambahan *Additive Rediset LQ-1106* pada Campuran Aspal

Rediset LQ-1106 merupakan bahan aditif aspal yang diproduksi oleh perusahaan AkzoNobel yang berpusat di Belanda. AkzoNobel telah menerapkan teknologi untuk pembangunan jalan sejak 1940-an. Inovasi terbarunya adalah aditif campuran aspal yang *superior* yang disebut *Rediset LQ-1106*. Dibandingkan dengan jalan yang diaspal menggunakan "*hot-mix asphalt*" (*HMA*) tradisional/biasa, jalan raya yang dibangun dengan aspal yang dimodifikasi *Rediset LQ-1106* menunjukkan hasil pengujian yang menguntungkan, ketahanan yang lebih besar terhadap kerusakan akibat kelembaban, menghasilkan jalan yang *superior* dan tahan lama. Adapun beberapa bahan aditif aspal yang diproduksi oleh AkzoNobel seperti *Wetfix Be*, *Perma Tac* dan *Kling* (www.AkzoNobel.com). Penelitian tentang penambahan *additive Rediset LQ-1106* pada campuran aspal sudah pernah dilakukan oleh beberapa peneliti sebelumnya, adapun beberapa penelitian tersebut sebagai berikut.

Penelitian Khairuddin dkk (2019) menyimpulkan bahwa penambahan aditif *Rediset LQ-1106* dan *Cecabase* pada campuran aspal hangat dengan pengujian yang dilakukan adalah modulus resilien dan *dynamic creep test*. Hasil Penelitian menunjukkan aspal modifikasi *polyurethane (PU)* yang ditambahkan dengan dua

jenis aditif campuran aspal hangat (*WMA*) yaitu *Cecabase* dan *Rediset LQ* dapat meningkatkan kinerja campuran aspal. Berbeda dengan penelitian yang dilakukan oleh Leng dkk (2014) tentang campuran *SMA* hangat dengan menambahkan 0,5% *Rediset LQ-1106*, sedangkan untuk metode pengujian yang dilakukan adalah *Modulus Resilien* dan *Indirect Tensile Strength (ITS)*, hasil penelitian menunjukkan *Modulus elastisitas* dan nilai *ITS* yang lebih besar dibandingkan dengan aspal biasa (*conventional stone matrix asphalt*). Penelitian lainnya tentang penambahan *Rediset LQ-1106* pada campuran aspal yang dilakukan oleh AkzoNobel (2015) menyimpulkan bahwa:

1. Campuran aspal hangat yang mengandung *Rediset LQ-1106* dengan pengujian kekuatan tarik tidak langsung (*ITS*), menunjukkan hasil campuran aspal yang *superior* dan rasio kekuatan tarik meningkat dibandingkan dengan aspal campuran panas konvensional, pengujian yang dilakukan sesuai dengan prosedur *AASHTO T 283*,
2. Campuran aspal yang mengandung *Rediset LQ-1106* menunjukkan peningkatan ketahanan terhadap deformasi dan temperatur, dengan pengujian yang dilakukan *Wheel Tracking* di *Chicago Testing Laboratory Inc.*, dan *PaveTex*, *AS* yang mengacu kepada *AASHTO T 324*,
3. *Rediset LQ-1106* menunjukkan ketahanan stabilitas panas yang lebih baik, menggunakan Metode *AASHTO T 182* aspal yang dimodifikasi dengan *Rediset LQ* dilakukan pemanasan pada $177^{\circ}\text{C}/350^{\circ}\text{F}$ selama 7 hari, dan
4. Mencapai pemadatan yang lebih baik dengan *Rediset LQ-1106* dengan desain gradasi campuran 12,5 mm, campuran *superpave* dan aspal panas dilakukan pengujian dengan menggunakan *Marshall Compaction Method (AASHTO T 245)*.

2.4 Durabilitas Campuran Aspal

Durabilitas suatu perkerasan aspal adalah kemampuan untuk tahan terhadap beberapa faktor seperti penuaan aspal, disintegrasi agregat dan pelepasan lapisan aspal dari agregat akibat cuaca, beban lalu lintas atau kombinasi keduanya. Sifat durabilitas diperlukan untuk menahan keausan yang disebabkan oleh pengaruh cuaca, air, dan perubahan temperatur atau keausan yang sebabkan gesekan antar roda kendaraan dengan permukaan aspal (*Asphalt Institute MS-22, 2001*).

Keawetan atau durabilitas adalah kemampuan beton aspal menerima repetisi beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur. Durabilitas aspal dipengaruhi oleh tebalnya selimut aspal, banyaknya pori, kepadatan dan kedap airnya campuran atau diuraikan sebagai berikut (Sukirman, 2003).

1. Selimut aspal yang tebal akan membungkus agregat secara baik, aspal beton akan lebih kedap air, sehingga kemampuannya menahan keausan semakin baik, tetapi semakin tebal selimut aspal, maka semakin mudah terjadi *bleeding* yang mengakibatkan jalan semakin licin.
2. *Voids in Mix (VIM)* kecil, sehingga lapis kedap air dan udara tidak masuk ke dalam campuran. Besarnya pori-pori yang tersisa dalam campuran setelah pemadatan, mengakibatkan durabilitas beton aspal menurun. Semakin besar pori yang tersisa semakin tidak kedap air dan semakin banyak udara di dalam aspal beton, yang mengakibatkan semakin mudahnya selimut aspal teroksidasi dengan udara dan menjadi getas dan durabilitasnya menurun.
3. *Voids Mineral Aggregate (VMA)* besar, sehingga film aspal dapat dibuat tebal. Jika *VMA* dan *VIM* kecil serta kadar aspal tinggi kemungkinan terjadinya *bleeding* besar.

Faktor-faktor yang mempengaruhi keawetan campuran aspal antara lain tipe dan gradasi agregat, kelekatan antara agregat dan aspal, kadar aspal, permeabilitas campuran, metode pelaksanaan, dan iklim. Jika campuran aspal dilaksanakan sesuai spesifikasi, maka faktor keawetan akan tergantung oleh ketahanannya menghadapi iklim, seperti pengaruh air, pelapukan aspal dan perubahan temperatur (Suparman, 2001). Potensi keawetan dari campuran aspal dapat didefinisikan sebagai ketahanan campuran terhadap kelanjutan dan pengaruh kerusakan kombinasi akibat air dan suhu. Rendahnya keawetan lapisan aspal merupakan salah satu penyebab utama rusak dan gagalnya pelayanan jalan perkerasan fleksibel. Tingginya keawetan biasanya memenuhi sifat-sifat mekanik dari campuran dan akan memberikan umur pelayanan yang lebih lama (Prabowo, 2003). Durabilitas campuran aspal beton mempunyai pengaruh terhadap kinerja dan umur layanan suatu jalan. Durabilitas

yang tinggi memberikan indikasi bahwa jalan tersebut lebih awet dan mempunyai ketahanan dari pengaruh cuaca dan air (Tahir dan Setiawan, 2009).

2.5 Deformasi Permanen

Asphalt Institute MS-22 (2001), menyatakan deformasi permanen adalah peristiwa penurunan lapis struktur perkerasan secara permanen. Deformasi ini dikatakan permanen karena deformasi yang terjadi pada permukaan perkerasan tidak kembali lagi ke posisi awal (*unrecoverable*) setelah terjadi pembebanan. Deformasi permanen banyak terjadi pada jalur tapak roda kendaraan, seiring dengan waktu deformasi permanen dapat menyebabkan *rutting*/alur pada permukaan perkerasan. Menurut Aminsyah (2017) menyatakan bahwa deformasi adalah perubahan bentuk dimensi dan posisi material dalam skala ruang waktu. Ada dua jenis deformasi di lapisan perkerasan jalan, arah melintang dan arah longitudinal dari kendaraan roda. Hal ini biasanya disebabkan oleh deformasi lapisan perkerasan yang menahan regangan tekan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Faktor utama yang mempengaruhi deformasi adalah komposisi dan viskositas campuran aspal.

Penyelidikan di laboratorium mengenai deformasi permanen yang terjadi pada campuran aspal dapat dilakukan dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)*. Menurut Chaturabong dan Bahia (2017) tentang hasil uji *Wheel Tracking* dapat mengukur mekanisme kerusakan *rutting* pada perkerasan jalan dengan simulasi sesuai kondisi lapangan, biaya peralatan yang lebih rendah dan cara yang tidak terlalu rumit. Menurut Han dan Shiwakoti (2016) menyatakan bahwa pengujian *Wheel Tracking* lebih efektif sebagai metode uji cepat dalam hal menentukan sensitivitas suhu atau temperatur. Hasil laboratorium dari pengujian ini harus diverifikasi dan dikorelasikan dengan kondisi lapangan.

2.6 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106*

Perbandingan penelitian yang telah dilakukan oleh peneliti terdahulu dengan penelitian yang akan penyusun lakukan dilihat pada **Tabel 2.1** berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106*

No	Aspek	AkzoNobel, (2015)	Khairuddin dkk, (2019)	Leng dkk, (2014)	Rahmad dkk, (2020)	Gupta dkk, (2019)	Yongchun dkk, (2019)	Shukry dkk, (2016)	Nurchahaya dkk, (2015)	Peneliti (2021)
1	Judul	<i>Superior Warm-Mix Additives For Exceptional Coating, Compaction, and Moisture Resistance</i>	<i>Physicochemical and Thermal Analyses of Polyurethane Modified Bitumen Incorporated with Cecabase and Rediset Optimization Using Response Surface Methodology</i>	<i>Mechanical Property Characterization of Warm Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives.</i>	<i>Effects of Rediset on the Adhesion, Stripping, Thermal and Surface Morphologies of PG76 Binder</i>	<i>Incorporation of Additives and Fibers in Porous Asphalt Mixtures</i>	<i>Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions</i>	<i>Experimental Evaluation of Anti-Stripping Additives on Porous Asphalt Mixtures</i>	Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy	Studi Kinerja Aspal Porus dengan Penambahan Additive <i>Rediset LQ-1106</i>
2	Jenis Campuran	AC-WC	AC-WC	AC-WC	AC-WC	<i>Mix Porous Asphalt</i>	<i>Mix Porous Asphalt</i>	<i>Mix Porous Asphalt</i>	<i>Mix Porous Asphalt</i>	<i>Mix Porous Asphalt</i>
3	Bahan yang ditambahkan	<i>Rediset LQ-1106</i>	<i>Cecabase and Rediset LQ-1106</i>	<i>Rediset LQ-1106</i>	<i>Rediset LQ-1106</i>	<i>Nanosilica and Crumb Rubber</i>	<i>Steel Slag and Crumb-Rubber</i>	<i>Diatomite</i>	Polimer Elvaloy	<i>Rediset LQ-1106</i>
4	Parameter Yang Diukur	<i>Indirect Tensile Strength (ITS) dan Wheel Tracking</i>	<i>Modulus Resilien dan Dynamic Creep Test</i>	<i>Modulus Resilien, Indirect Tensile Strength (ITS) dan Wheel Tracking</i>	<i>Atomic Force Microscopy (AFM), Boiling Water Test and Thermogravimetry Analysis (TGA)</i>	<i>Cantabro Loss, RSAT, Draindown Test, Wheel Tracking, ITS, Resilient Modulus, TSRST, Permeability Test, VIM, DFT, dan Walking friction Test.</i>	<i>Permeability, Marshall Test, Low-Temperature Crack Resistance, Rutting Test dan Cantabro Loss.</i>	<i>Scanning Electron Microscopy (SEM) Test dan Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX).</i>	<i>Marshall, Cantabro Loss, Asphalt Drain Down, Perendaman Marshall, UMATTA, dan Wheel Tracking</i>	<i>Marshall Test, Cantabro Loss, Asphalt Drain Down, Immersion Test (IRS), ITS serta TSR, dan Wheel Tracking</i>

Lanjutan Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Tentang Campuran Aspal Porus dan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106*

No	Aspek	AkzoNobel, (2015)	Khairuddin dkk, (2019)	Leng dkk, (2014)	Rahmad dkk, (2020)	Gupta dkk, (2019)	Yongchun dkk, (2019)	Shukry dkk, (2016)	Nurchahaya dkk, (2015)	Peneliti (2021)
5	Hasil	Peningkatan kekuatan tarik dibandingkan campuran aspal panas biasa, dan peningkatan ketahanan deformasi dan kelembaban.	Aspal <i>modifikasi polyurethane (PU)</i> yang ditambahkan dengan dua jenis aditif campuran aspal hangat (<i>WMA</i>) yaitu; <i>Cecabase</i> dan <i>Rediset LQ</i> meningkatkan kinerja campuran aspal.	Hasil penelitian menunjukkan nilai <i>ITS</i> dan Modulus lebih besar dibandingkan dengan aspal control (<i>conventional stone matrix asphalt</i>)	Hasil penelitian menunjukkan penambahan aditif <i>Rediset LQ-1106</i> meningkatkan karakteristik adhesi, perekatan dan anti pengelupasan campuran aspal hangat, dan dapat bermanfaat untuk aplikasi <i>WMA</i> .	Hasil pengujian menunjukkan bahwa setiap aditif memiliki efek yang berbeda juga terhadap sifat-sifat aspal porus. Selain itu, kombinasi aditif memiliki manfaat dan peningkatan untuk kinerja aspal porus, terutama di perkerasan jalan perkotaan	Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan aditif memungkinkan penurunan suhu manufaktur sebesar 10°C. Dengan demikian, penambahan aditif signifikan meningkatkan ketahanan retak suhu rendah dan sedikit mengurangi sensitivitas air, meningkatkan permeabilitas, dan memiliki sedikit efek pada modulus.	Hasil penelitian menunjukkan bahwa sampel dengan kapur menunjukkan tingkat permeabilitas yang lebih tinggi dan kehilangan abrasi yang lebih rendah dibandingkan dengan sampel dengan semen dan diatomit. Namun, sampel dengan diatomit menunjukkan peningkatan modulus elastisitas dibandingkan dengan yang sampel kapur dan semen.	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	Secara umum dapat disimpulkan bahwa penambahan kadar <i>Rediset LQ-1106</i> 1% merupakan kadar yang paling optimum untuk meningkatkan kinerja campuran aspal porus. Terbukti dengan meningkatnya nilai stabilitas, <i>IRS</i> , <i>ITS</i> , <i>TSR</i> dan mempunyai nilai stabilitas dinamis paling besar serta kecepatan deformasi paling kecil.

Pada penelitian ini memiliki kesamaan pemakaian bahan aditif *Rediset LQ-1106* dengan penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh AkzoNobel (2015), Khairuddin dkk (2019), Leng dkk (2014) dan Rahmad dkk (2020), namun berbeda pada jenis campuran aspal yang dipakai. Sementara itu untuk jenis campuran aspal porus yang digunakan juga memiliki kesamaan dengan penelitian terdahulu yang dilakukan oleh Gupta dkk (2019), Yongchun dkk (2019), Shukry dkk (2016), dan Nurcahaya dkk (2015), namun memiliki perbedaan pada bahan tambah aditif yang digunakan. Oleh karena itu penelitian yang dilakukan ini dengan penambahan *Rediset LQ-1106* sebagai aditif pada campuran aspal porus memiliki perbedaan dengan penelitian terdahulu dan dapat dipertanggungjawabkan.



BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Bahan Penyusun Aspal Porus

Bahan penyusun campuran aspal porus mengacu ke spesifikasi Umum Bina Marga 2018 dan *Australian Asphalt Pavement Association (AAPA)*, 2004. Standar ini dimaksud sebagai acuan bagi perencanaan, pelaksanaan dan pengawasan pada penelitian ini. Spesifikasi ini mencakup persyaratan bahan campuran aspal porus yang terdiri dari bahan perekat (aspal), gradasi agregat campuran dan sifat-sifat campuran.

3.1.1 Agregat

Agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun buatan. Fungsi dari agregat dalam campuran aspal adalah sebagai kerangka yang memberikan stabilitas campuran jika dilakukan dengan alat pemadat yang tepat. Agregat sebagai komponen utama atau kerangka dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% – 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% – 85% agregat berdasarkan persentase volume (Sukirman, 2003).

Campuran aspal porus didominasi oleh agregat kasar, sedangkan agregat halus dan *filler* ditambahkan sedemikian rupa hingga tidak akan menghalangi *interlock* antar agregat kasar tersebut. Proporsi agregat kasar dan agregat halus didasarkan kepada spesifikasi dan gradasi yang tersedia.

1. Agregat Kasar

Agregat kasar 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). Ukuran maksimum (*maximum size*) agregat adalah satu ayakan yang lebih besar dari ukuran nominal maksimum (*nominal maximum size*). Ukuran nominal maksimum adalah satu ayakan yang lebih kecil dari ayakan pertama (teratas) dengan bahan tertahan kurang dari 10%. Adapun persyaratan agregat kasar dapat dilihat pada **Tabel 3.1** di bawah ini sebagai berikut.

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 Mesin Los Angeles	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks. 6 %	
		500 putaran	Maks. 30 %	
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi	100 putaran	SNI 2417:2008	Maks. 8 %
		500 putaran		Maks. 40 %
Kelekatan Agregat Terhadap Aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%	
Butiran Pecah Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	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)

Catatan:

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

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

2. Agregat Halus

Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos saringan No.4 (4,75 mm). Pasir boleh digunakan dalam campuran aspal sebagai agregat halus dengan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya. Fraksi agregat halus dari pecahan mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar, sehingga gradasi gabungan dan persentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik (Bina

Marga, 2018). Adapun agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan dalam **Tabel 3.2** berikut.

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 C117:2012	Maks. 10%
Gumpalan Lempung dan Gumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks. 1%

(Sumber: Bina Marga, 2018)

3. Gradasi

Pada penelitian ini digunakan jenis gradasi terbuka (*open graded*) dengan berpedoman pada persyaratan menurut *Australian Asphalt Pavement Association* (AAPA) tahun 2004. Adapun syarat gradasi agregat AAPA (2004), ditunjukkan dalam **Tabel 3.3** berikut.

Tabel 3.3 Gradasi Agregat Campuran Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Berat yang Lolos (%)	
	Ukuran Maksimum Ukuran 10 mm	Ukuran Maksimum Ukuran 14 mm
19,000	100	100
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 – 6,0

(Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association*, 2004)

3.1.2 Aspal

Aspal adalah material hidrokarbon yang pada temperatur ruang berbentuk padat, dan bersifat termoplastis. Aspal akan mencair jika dipanaskan hingga mencapai temperatur tertentu, dan akan kembali memadat pada saat temperatur

turun. Aspal Modifikasi adalah aspal yang terbentuk dari proses pencampuran atau ditambahkan aspal dengan bahan tambah (*additive*), yang bertujuan untuk meningkatkan kualitas aspal dan memberikan kemudahan (*workability*). Bersama dengan agregat aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2003).

Tingkat penetrasi aspal yang biasa digunakan dalam campuran antara lain 40/50, 60/70 dan 80/100. Pada daerah beriklim panas sebaiknya aspal yang digunakan adalah aspal dengan indeks penetrasi yang rendah, agar aspal tidak menjadi lebih kaku dan mudah pecah (*brittle*). Dalam penelitian ini digunakan aspal penetrasi 60/70 dan dimodifikasi untuk meningkatkan kinerja dari aspal. Adapun aspal yang digunakan harus memenuhi persyaratan seperti dalam **Tabel 3.4** berikut.

Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60/70	Aspal Modifikasi Anti Stripping
1.	Penetrasi 25° C (0,1 mm)	SNI – 2456:2011	60 - 70	-
2.	Titik Lembek (°C)	SNI – 2434:2011	≥ 48	-
3.	Daktilitas 25° C (cm)	SNI – 2432:2011	≥ 100	-
4.	Titik Nyala (°C)	SNI – 2433:2011	≥ 232	≥ 180
5.	Kelarutan Dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO T44-14	≥ 99	-
6.	Berat Jenis	SNI – 2441:2011	≥ 1,0	0,92 – 1,06

(Sumber: Bina Marga, 2018)

3.1.3 Bahan Tambah *Additive Rediset LQ-1106*

Bahan aditif *Rediset LQ-1106* yang digunakan dalam penelitian ini merupakan produk yang dikembangkan oleh *AkzoNobel Surface Chemistry LLC*. AkzoNobel (2011 dan 2012), menjelaskan *Rediset LQ-1106* merupakan bahan kimia yang mengandung surfaktan untuk memudahkan pencampuran aspal dengan agregat pada suhu rendah atau memungkinkan penurunan suhu pencampuran 15-30°C dan dapat digunakan pada campuran aspal panas dan aspal hangat dengan komposisi yang direkomendasi 0,5–1% dari berat aspal serta memberikan nilai keawetan yang lebih pada desain konstruksi jalan.

1. Keunggulan aditif *Rediset LQ-1106* adalah sebagai berikut (AkzoNobel, 2011 dan 2012).

- a. Meningkatkan kemampuan kerja aspal menjadikan campuran aspal yang *superior* dan tahan lama.
 - b. Sebagai *anti-stripping*, mudah larut dan homogen dalam aspal panas, dapat memberikan lapisan kimia untuk meningkatkan kerekatan aspal.
 - c. Meningkatkan *moisture resistance*, memberikan sifat tahan air dan tahan kelembaban dalam jangka panjang. Meningkatkan umur jalan dan mengurangi biaya perawatan rutin tiap tahun.
 - d. Kemudahan pengerjaan dan pemadatan pada suhu rendah dengan menurunkan viskositas aspal panas yang memungkinkan suhu pencampuran turun mencapai 15 – 30°C.
 - e. Produk yang cair mudah digunakan, disimpan dan ditambahkan.
 - f. Jalan lebih cepat digunakan setelah pelaksanaan dilakukan.
 - g. Sifat berbusa memudahkan saat pencampuran aspal.
 - h. Efisien, komposisi/dosis pemakaian aditif yang rendah dan biaya rendah.
 - i. Ramah lingkungan.
2. Komposisi dan Sifat *Rediset LQ-1106*

Adapun kriteria pada bahan aditif *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Tabel 3.5** berikut.

Tabel 3.5 Kriteria *Rediset LQ-1106*

No	Parameter	Keterangan
1	Bentuk	Cairan
2	Warna	Hitam
3	Titik Nyala	> 200° C
4	<i>Density</i>	± 1 g/cc
5	Titik Beku	5° C

(Sumber: *AkzoNobel, 2011*)

3.2 Kriteria Perencanaan Campuran Aspal Porus

Adapun kriteria perencanaan untuk mengetahui kinerja campuran aspal porus yang baik, ada beberapa parameter yang harus dipenuhi menurut *Australian Asphalt Pavement Association (2004)*, disajikan pada **Tabel 3.6** berikut.

Tabel 3.6 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 (<i>VIM</i> %)	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*)

3.3 *Stiffness Modulus Bitumen*

Stiffness merupakan sifat material yang menunjukkan kemampuan regangan pada tegangan tinggi dengan tidak diikuti regangan yang besar atau kemampuan mempertahankan terhadap deformasi, sedangkan *stiffness modulus of bitumen* merupakan sifat kekakuan yang dimiliki oleh bahan ikat yang dipengaruhi beberapa faktor, yaitu lama pembebanan oleh roda kendaraan, temperatur permukaan perkerasan, temperatur pada *softening point* dan *penetration index*. Adapun cara untuk menentukan *stiffness modulus of bitumen* menggunakan persamaan *Ullidtz* berikut ini.

$$S_{bit} = 1,157 \times 10^{-7} \times t^{-0,368} \times 2,718^{PI_r} \times (SP_r - T)^5 \quad (3.1)$$

Rumus ini berlaku apabila:

$$(SP_r - T) = 20^\circ\text{C} - 60^\circ\text{C}$$

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

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

dengan:

$$PI_r = \text{recovery penetration index dari aspal}$$

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

$$SP_r = \text{recovery softening point dari aspal}$$

$$= 98,4 - 26,35 \times \log P_r$$

T	= temperatur aspal ($^{\circ}\text{C}$)
P_r	= <i>recovered penetration</i> pada suhu 25°C = $0,65 \times P_i$
P_i	= penetrasi awal aspal
PI	= indeks penetrasi dari aspal
t	= lama pembebanan (detik)

3.4 Pengujian *Marshall*

Untuk memenuhi kriteria perencanaan kinerja aspal porus yang baik berdasarkan **Tabel 3.6**, maka parameter pengujian *Marshall* yang dilakukan berdasarkan RSNI M-01-2003 adalah sebagai berikut.

3.4.1 Stabilitas (*Stability*)

Stabilitas adalah kemampuan campuran aspal sebagai bahan perkerasan untuk menahan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk. Nilai stabilitas didapatkan dari pembacaan arloji stabilitas pada *Marshall Test*. Angka stabilitas ini masih harus dikoreksi lagi dengan kalibrasi alat dan ketebalan benda uji. Nilai stabilitas yang dipakai dihitung dengan Persamaan 3.2 berikut.

$$q = p \times s \times 0,4536 \quad (3.2)$$

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

3.4.2 Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan (*flow*) adalah besarnya deformasi vertikal benda uji yang terjadi pada awal pembebanan sehingga stabilitas menurun. Campuran aspal yang memiliki nilai *flow* rendah dengan nilai stabilitas tinggi cenderung menjadi kaku dan getas, sedangkan sebaliknya campuran yang memiliki nilai *flow* tinggi dengan stabilitas rendah cenderung bersifat plastis dan mudah berubah bentuk apabila mendapat beban lalu lintas. Angka *flow* didapatkan dari pembacaan arloji yang menyatakan deformasi benda uji dalam satuan panjang (mm).

3.4.3 Marshall Question (MQ)

Marshall Question merupakan hasil bagi antara stabilitas dengan *flow*. Nilai *Marshall Quotient* akan memberikan nilai fleksibilitas campuran. Semakin besar nilai *Marshall Quotient* berarti campuran semakin kaku, sebaliknya bila semakin kecil nilainya maka campuran semakin lentur. Nilai *MQ* dapat diperoleh dari Persamaan 3.3 berikut.

$$MQ = \frac{q}{r} \quad (3.3)$$

Keterangan: *MQ* = nilai *Marshall Quotient* (kg/mm),
q = nilai stabilitas (kg), dan
r = nilai *flow* (mm).

3.4.4 Pengujian Void in the Total Mix (VIM)

Void in the Total Mix (VIM) adalah presentase rongga yang terdapat dalam total campuran. Nilai *VIM* berpengaruh terhadap keawetan lapis perkerasan, semakin tinggi nilai *VIM* menunjukkan semakin besar rongga dalam campuran sehingga campuran bersifat porus. Hal ini mengakibatkan campuran menjadi kurang rapat sehingga air dan udara mudah memasuki rongga-rongga dalam campuran yang menyebabkan aspal mudah teroksidasi. Air akan melarutkan komponen-komponen yang akan teroksidasi sehingga mengakibatkan terus berkurangnya kadar aspal dalam campuran. Penurunan kadar aspal dalam campuran menyebabkan lekatan antara butiran agregat berkurang sehingga terjadi pelepasan butiran dan pengelupasan permukaan (*stripping*) pada lapis perkerasan. Nilai *VIM* dapat diperoleh dari Persamaan 3.4 dan 3.5 sebagai berikut.

$$n = 100 - \left(100 - \frac{g}{h}\right) \quad (3.4)$$

$$h = 100 - \left(\frac{100}{\frac{\% \text{ Agregat}}{BJ \text{ Agregat}} + \frac{\% \text{ Aspal}}{BJ \text{ Aspal}}} \right) \quad (3.5)$$

Keterangan: n = nilai *VIM* (%),
g = berat isi sampel (gr/cc), dan
h = berat jenis maksimum teoritis campuran (gr/cc).

3.5 Pengujian Cantabro Loss (CL)

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui ketahanan terhadap keausan atau kehilangan berat dari benda uji setelah dilakukan tes abrasi dengan menggunakan mesin

Los Angeles tanpa bola baja. Benda uji didiamkan selama 48 jam atau minimal 6 jam pada suhu ruangan, kemudian ditimbang untuk mendapatkan nilai berat sebelum diabrasi (M_o), dan setelah itu benda uji dimasukkan ke mesin *Los Angeles* dengan kecepatan 30-33 rpm sebanyak 300 putaran, benda uji ditimbang kembali untuk mendapatkan nilai berat setelah diabrasi (M_i). Hal ini untuk mengetahui kemampuan ketahanan campuran aspal terhadap pengaruh beban lalu lintas yang akan menyebabkan perkerasan menjadi aus dan kekuatannya mengalami penurunan. Nilai karakteristik *cantabro loss* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.6 dengan mengacu pada *ASTM C-131* seperti berikut ini.

$$L = \frac{M_o - M_i}{M_o} \times 100 \quad (3.6)$$

Keterangan: L = persentase kehilangan berat (%),
 M_o = berat sebelum diabrasi (gr), dan
 M_i = berat setelah diabrasi (gr).

3.6 Pengujian *Asphalt Flow Down* (AFD)

Untuk mengetahui kadar aspal maksimum yang dapat tercampur homogen dengan agregat tanpa terjadinya 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 3.7 mengacu pada *AASHTO T 305* sebagai berikut.

$$AFD = \left(\frac{m_3 - m_1}{m_2 - m_1} \right) \times 100 \% \quad (3.7)$$

Keterangan: AFD = nilai *asphalt flow down* (%),
 m_1 = berat cetakan nampan (gr),
 m_2 = berat cetakan beserta campuran aspal sebelum dioven (gr), dan
 m_3 = berat cetakan beserta campuran aspal sesudah dioven (gr).

3.7 Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode *AAPA (2004)*, menyebutkan penentuan KAO dengan metode ini hanya mensyaratkan tiga parameter yaitu *VIM* (kadar rongga), *cantabro loss* (ketahanan terhadap pelepasan butir) dan *Asphalt Flow Down* (aliran aspal ke bawah). Nilai spesifikasi penentuan KAO disajikan pada **Tabel 3.7** berikut.

Tabel 3.7 Spesifikasi Penentuan KAO

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

(Sumber: *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*)

3.8 Pengujian Durabilitas

Adapun beberapa pengujian durabilitas aspal dengan penambahan *Rediset LQ-1106* yang dilakukan pada penelitian ini adalah *Immersion Test (IRS)*, *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*, dan *Wheel Tracking* dijelaskan sebagai berikut.

3.8.1 Pengujian Perendaman *Marshall (Immersion Test)*

Pengujian perendaman *Marshall* dilakukan untuk mengetahui tingkat ketahanan atau keawetan aspal terhadap pengaruh kerusakan oleh air, suhu dan cuaca. Di laboratorium disimulasikan dengan merendam benda uji selama 0,5 jam dan 24 jam dengan suhu $\pm 60^{\circ}\text{C}$. Hasil perbandingan rendaman selama 0,5 jam (perendaman standar) dengan 24 jam (stabilitas rendaman) dinyatakan dalam persen (%) yang disebut stabilitas *Marshall Sisa/Index of retained strength (IRS)*.

Kehilangan stabilitas akibat perendaman menggambarkan tingkat kerusakan oleh pengaruh air. Indeks kekuatan sisa sebesar 90 % merupakan nilai minimum yang disyaratkan Bina marga 2018, karena pada nilai ini campuran aspal dianggap cukup tahan terhadap kerusakan yang ditimbulkan. *Index of Retained Strength (IRS)* dihitung menggunakan Persamaan 3.8 berdasarkan RSNI M-01-2003.

$$\text{Index of Retained Strength (IRS)} = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \quad (3.8)$$

Keterangan: S_1 = nilai stabilitas setelah direndam selama 0,5 jam (kg), dan

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

1. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.9 berikut.

$$\text{IDP (r)} = \sum_{i=1}^{n-1} \frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_{i+1}) - t_i} \times 100 \quad (3.9)$$

Keterangan:

r = indeks penurunan stabilitas (%),

- S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),
 S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%), dan
 T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Nilai ‘r’ yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai “r” yang bernilai negatif mengindikasikan adanya perolehan kekuatan.

2. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Nilai IDK didapatkan dengan perhitungan yang menggunakan Persamaan 3.10 berikut.

$$IDK(a) = \frac{1}{2tn} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - (S_{i+1})) [2tn - (t_i + (t_i + 1))] \quad (3.10)$$

Keterangan:

- a = kehilangan kekuatan rerata satu hari (%),
 tn = total waktu perendaman (jam),
 S_i = persentase kekuatan sisa pada waktu t_i (%),
 S_{i+1} = persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1} (%), dan
 T_i, t_{i+1} = periode perendaman (dimulai dari awal pengujian).

Indeks durabilitas ini menggambarkan kehilangan kekuatan satu hari, nilai “a” yang bernilai positif mengindikasikan kehilangan kekuatan, sedangkan nilai “a” yang bernilai negatif menggambarkan adanya penambahan kekuatan. Berdasarkan definisi tersebut, maka nilai $a < 100$ yang memungkinkan untuk dapat menyatakan persentase ekuivalen kekuatan sisa satu hari (S_a), dengan dihitung berdasarkan Persamaan 3.11 berikut.

$$S_a = (100 - a) \quad (3.11)$$

Keterangan:

- S_a = kekuatan sisa rata-rata satu hari (%).

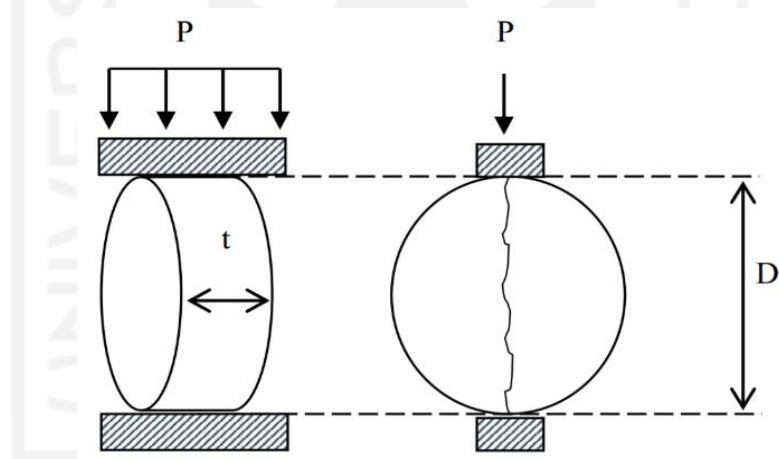
3.8.2 Indirect Tensile Strength (ITS) dan Tensile Strength Ratio (TSR)

Indirect Tensile Strength merupakan pengujian kemampuan aspal beton untuk menahan beban tarik. Pengujian ini dilakukan pada benda uji yang berbentuk silinder. Pembebanan ini sejajar dengan diameter vertikal dari benda uji sampai titik batas kerusakan yang diindikasikan dengan terjadinya retak pada arah vertikal benda uji. Hasil keretakan benda uji terbelah umumnya terjadi sepanjang bidang

diameter. Kerusakan ini menandai beban maksimum yang dapat ditahan campuran yang mengindikasikan kuat tarik dari campuran.

Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, yang membedakan adalah pada pengujian kuat tarik tidak langsung tidak menggunakan cincin penguji, namun menggunakan plat berbentuk cekung dengan lebar 12,5 mm pada bagian penekan *Marshall*. Pengukuran kekuatan tarik dihentikan apabila jarum pengukur pembebanan telah berbalik arah atau berlawanan dengan arah jarum jam.

Berpedoman pada SNI 6753:2015, dengan merendam benda uji selama 2 jam ± 10 menit agar menjadi jenuh dan 24 jam dengan suhu $\pm 60^\circ\text{C}$. Hasil perbandingan *ITS* standar dengan *ITS* rendaman 24 jam dinyatakan dalam persen (%) yang disebut *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Menurut Tajudin dan Suparma, (2017), pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal.



Gambar 3.1 Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*ITS*)

(Sumber: Tajudin dan Suparma, 2017)

Dari pembebanan maksimum yang menyebabkan benda uji mengalami *failure*, dapat diperoleh nilai *ITS* dengan menggunakan Persamaan 3.12 berikut.

$$ITS = \frac{2x P maks}{\pi x t x d} \quad (3.12)$$

Keterangan: *ITS* = kuat tarik tidak langsung (*kPa*),
P maks = beban puncak (*N*),
t = tinggi sampel (mm), dan
d = diameter benda uji (mm).

Nilai *ITS* pada masing-masing perendaman kemudian digunakan untuk mengetahui *Tensile Strength Ratio (TSR)*. Menurut *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai $TSR > 80\%$ untuk campuran berfungsi sebagai struktural, sedangkan metode *AAPA 2004* tidak mensyaratkan nilai *TSR* untuk campuran aspal porus yang bersifat fungsional (non struktural). Nilai *TSR* didapat melalui Persamaan 3.13 berikut.

$$TSR = \frac{ITS_o}{ITS_n} \times 100 \% \quad (3.13)$$

Keterangan: *TSR* = *Tensile Strength Ratio (%)*,
ITS_o = kekuatan tarik tidak langsung awal (*kPa*), dan
ITS_n = kekuatan tarik tidak langsung rendaman (*kPa*).

3.8.3 Pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)*

Pengujian dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)* digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan, di laboratorium disimulasikan dengan beban roda yang bergerak maju mundur melintas di atas benda uji. Uji *Wheel Tracking* bertujuan untuk memberikan gambaran ketahanan campuran terhadap pemadatan dan perubahan bentuk deformasi serta mensimulasikan pembebanan yang akan diterima perkerasan di lapangan dengan temperatur 60°C atau 45°C. Prosedur pengujian *Wheel Tracking* mengacu pada *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement (JRA)*, 1980.

Alat ini mempunyai sebuah roda besi dan dilapisi karet keras yang bergerak maju mundur di atas permukaan benda uji campuran aspal yang berukuran 30 x 30 x 5 cm. Masing-masing benda uji akan dilintasi oleh beban roda berjalan dengan kecepatan 21 siklus per menit (42 lintasan per menit) dan pengujian dilaksanakan selama 60 menit (1 jam) dengan jumlah total lintasan adalah 2.520. Roda *Wheel Tracking* memiliki ban karet dengan lebar 5 cm dan tekanan roda sebesar 6,55 kg/cm² yang diekuivalenkan dengan beban sumbu tunggal roda ganda setara 8,16 ton. Alat ini dilengkapi dengan komputer yang dapat memberikan laporan berkaitan antara jumlah lintasan dan jejak roda pada menit ke 1, 5, 10, 15, 30, 45 dan 60 menit. Kemampuan lapis perkerasan aspal menahan jejak roda dinyatakan dengan stabilitas dinamis (DS) yang menyatakan jumlah lintasan yang diperlukan untuk

membuat jejak roda selama 1 jam. Menurut Gusti (2018), Stabilitas dinamis adalah kemampuan dari campuran menahan deformasi atau deformasi akibat beban dinamis dalam suhu tinggi dan parameter uji stabilitas dinamis adalah kedalaman *rutting*, yang dinyatakan dalam lintasan/mm. Stabilitas dinamis dan laju deformasi (RD), dapat dihitung dengan Persamaan 3.14 dan Persamaan 3.15 berikut.

Dynamic Stability/Stabilitas Dinamis (DS)

$$DS = 21 \times 2 \times \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.14)$$

Rate of Deformation/Laju Deformasi (RD)

$$RD = \frac{(t_2 - t_1)}{(d_2 - d_1)} \quad (3.15)$$

Kerangan:

DS = *Dynamic Stability* (lintasan/mm),

RD = *Rate of Deformation* (mm/menit),

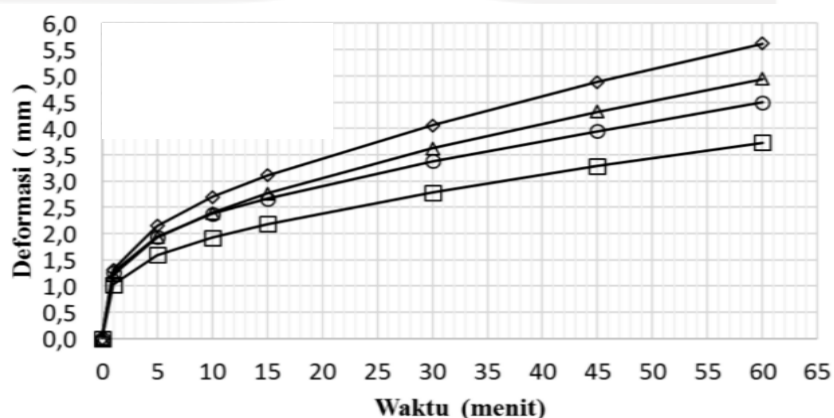
d₁ = nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t₁ 45 menit (mm),

d₂ = nilai deformasi (kedalamannya) pada menit ke t₂ 60 menit (mm),

t₁ = waktu pengujian 45 menit, dan

t₂ = waktu pengujian 60 menit.

Hasil pengujian *Wheel Tracking* berupa kurva deformasi berbentuk lengkung dan berubah lurus merupakan total deformasi yang terjadi setelah pembebanan sebanyak 2.520 lintasan selama 1 jam. Hasil pengujian didasarkan pada hubungan antara nilai deformasi dengan waktu seperti yang diperlihatkan pada **Gambar 3.2** berikut.



Gambar 3.2 Hubungan Waktu dan Deformasi

(Sumber: Gusti, 2018)

BAB IV

METODE PENELITIAN

4.1 Metode Penelitian

Pada penelitian ini metode penelitian yang digunakan adalah metode penelitian eksperimental. Metode penelitian eksperimental yang dimaksud adalah metode dengan membuat sampel benda uji dengan jumlah tertentu dan variabel tertentu yang kemudian diuji untuk mendapatkan data. Data yang didapat kemudian diolah untuk mendapatkan suatu hasil perbandingan dengan standar dan syarat-syarat yang sudah ditetapkan pada peraturan Standar Nasional Indonesia ataupun Bina Marga dan lainnya.

4.2 Lokasi Penelitian

Pelaksanaan penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia sedangkan untuk pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilaksanakan di Laboratorium Direktorat Bina Teknik Jalan dan Jembatan Kementerian PUPR Bandung.

4.3 Bahan dan Peralatan Penelitian

4.3.1 Bahan Penelitian

Bahan-bahan penelitian yang digunakan di dalam penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Agregat kasar, agregat halus dan *filler* berasal dari Clereng, Kulon Progo, Yogyakarta.
2. Aspal penetrasi 60/70 yang digunakan berasal dari PT. Pertamina, Cilacap.
3. Bahan tambah aditif *Rediset LQ-1106* berasal dari AkzoNobel, Belanda yang diperoleh dari PT. Enceha Pacific, Jakarta.

4.3.2 Peralatan Penelitian

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

1. Peralatan untuk 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 untuk 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 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 keelehan (*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 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 keelehan (*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.

- f. Spatula, Bak perendaman (*water bath*) serta oven.
5. Peralatan untuk pengujian *Wheel Tracking*.
- a. *Wheel Tracking Machine*.
 - b. Alat pencampur (*mixer*) dilengkapi dengan alat pemanas.
 - c. Alat pemadat.
 - d. Oven dan thermometer.
 - e. Cetakan berbentuk persegi ukuran 30 x 30 x 5 cm.
 - f. Ruang tertutup beserta alat dilengkapi suhu yang dapat dikontrol.

4.4 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini terdapat beberapa langkah-langkah pengujian guna mendapatkan hasil rancangan yang memenuhi standar dan ketentuan-ketentuan yang berlaku serta disajikan dalam gambar diagram bagan alir penelitian (Gambar 4.2).

4.4.1 Pengujian Bahan

Pengujian bahan yang dilakukan bertujuan untuk memastikan agar bahan/material yang meliputi agregat kasar, agregat halus, dan aspal memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditentukan sebagai berikut.

1. Pengujian karakteristik agregat.
 - a. Agregat kasar berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.1**
 - b. Agregat halus berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.2**
2. Pengujian aspal berdasarkan spesifikasi Bina Marga 2018 pada **Tabel 3.3**

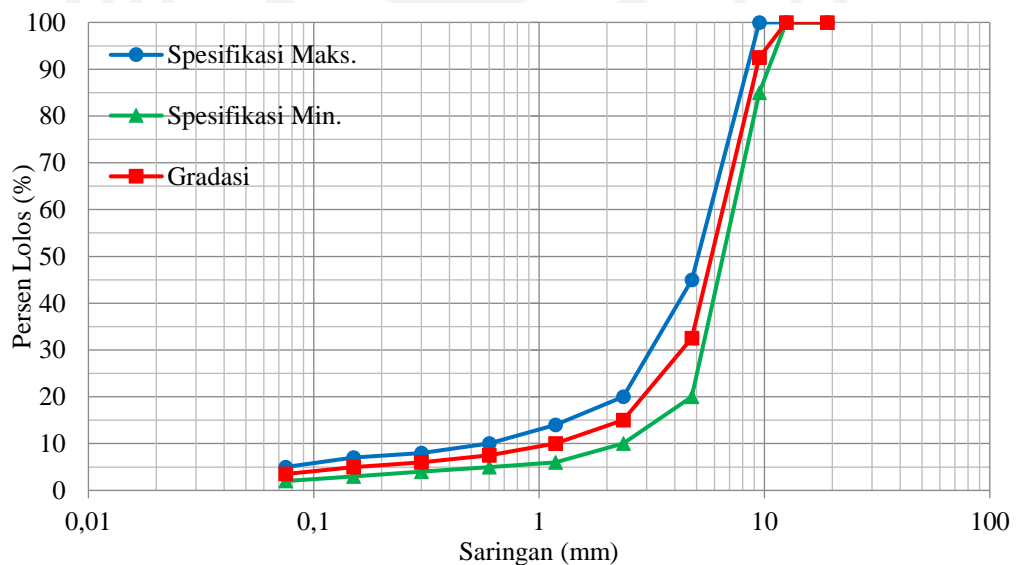
4.4.2 Perancangan Campuran Benda Uji

4.4.2.1 Perancangan Gradasi Agregat

Tahap awal perancangan suatu benda uji yaitu dengan menentukan ukuran agregat dengan persentase yang telah ditetapkan terlebih dahulu dalam target gradasi. Adapun rencana gradasi agregat untuk campuran aspal porus dapat dilihat pada **Tabel 4.1** dan **Gambar 4.1** berikut.

Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Aspal Porus

Ukuran Ayakan (mm)	Agregat Maksimum 10 mm		
	Spesifikasi % Berat Lolos (AAPA, 2004)	% Berat yang Lolos	% Berat yang Tertahan
19,00	100	100	0,00
12,70	100	100	0,00
9,53	85 – 100	92,5	7,50
4,75	20 – 45	32,5	60,00
2,38	10 – 20	15	17,50
1,19	6 – 14	10	5,00
0,595	5 – 10	7,5	2,50
0,297	4 – 8	6	1,50
0,149	3 – 7	5	1,00
0,074	2 – 5	3,5	1,50
Pan			3,5
Total			100



Gambar 4.1 Rencana Gradasi Campuran Aspal Porus

4.4.2.2 Perancangan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Penentuan KAO campuran aspal porus dalam penelitian ini menggunakan metode *Australian Asphalt Pavement Association, 2004*. Penentuan KAO dengan metode ini mensyaratkan tiga parameter yaitu *VIM*, *cantabro loss* dan *Asphalt Flow Down* seperti pada **Tabel 3.7**. Nilai KAO ditentukan dengan tahapan-tahapan sebagai berikut.

1. Kadar rongga minimum (*VIM*) dalam campuran adalah 18% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal maksimum (*OAC Max*).
2. Nilai *cantabro loss* maksimum sebesar 35% digunakan sebagai batas atas untuk mendapatkan kadar aspal minimum (*OAC min*).
3. Kadar aspal sementara yang diperoleh ditentukan dari nilai rata-rata *OAC* maksimum dan *OAC* 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 cara menjumlahkan kadar aspal sementara dengan nilai *asphalt flow down*.

Berdasarkan *AAPA (2004)*, kadar aspal optimum untuk agregat dengan ukuran maksimum 10 mm adalah pada kisaran 5% - 6,5% terhadap berat campuran. Tingkat ketelitian yang valid pada perancangan kadar aspal optimum di penelitian ini, maka selanjutnya pengujian kadar air optimum (*KAO*) digunakan kadar aspal sebesar 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7% terhadap berat total campuran yang digunakan. Berikut **Tabel 4.2** sampai **Tabel 4.6** detail kebutuhan agregat di setiap kadar aspal.

Tabel 4.2 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5%

Ukuran Butiran (mm)	Spesifikasi (%)		Jumlah		Jumlah Tertahan (gr)
	Min	Max	Lolos (%)	Tertahan (%)	
19	100	100,0	100,0	0,00	0,00
12,7	100	100,0	100,0	0,00	0,00
9,53	100	85,0	92,5	7,50	85,50
4,76	45	20,0	32,5	60,00	684,00
2,38	20	10,0	15,0	17,50	119,50
1,19	14	6,0	10,0	5,00	57,00
0,595	10	5,0	7,5	2,50	28,50
0,297	8	4,0	6,0	1,50	17,10
0,149	7	3,0	5,0	1,00	11,40
0,074	5	2,0	3,5	1,50	17,10
Pan	-	-	-	3,50	39,90

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 5,5%

Ukuran Butiran (mm)	Spesifikasi (%)		Jumlah		Jumlah Tertahan (gr)
	Min	Max	Lolos (%)	Tertahan (%)	
19	100	100,0	100,0	0,00	0,00
12,7	100	100,0	100,0	0,00	0,00
9,53	100	85,0	92,5	7,50	85,05
4,76	45	20,0	32,5	60,0	680,40
2,38	20	10,0	15,0	17,5	198,45
1,19	14	6,0	10,0	5,0	56,70
0,595	10	5,0	7,5	2,5	28,35
0,297	8	4,0	6,0	1,5	17,01
0,149	7	3,0	5,0	1,0	11,34
0,074	5	2,0	3,5	1,5	17,01
Pan	-	-	-	3,50	39,69

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6%

Ukuran Butiran (mm)	Spesifikasi (%)		Jumlah		Jumlah Tertahan (gr)
	Min	Max	Lolos (%)	Tertahan (%)	
19	100	100,0	100,0	0,00	0,00
12,7	100	100,0	100,0	0,00	0,00
9,53	100	85,0	92,5	7,50	84,60
4,76	45	20,0	32,5	60,0	676,80
2,38	20	10,0	15,0	17,5	197,40
1,19	14	6,0	10,0	5,0	56,40
0,595	10	5,0	7,5	2,5	28,20
0,297	8	4,0	6,0	1,5	16,92
0,149	7	3,0	5,0	1,0	11,28
0,074	5	2,0	3,5	1,5	16,92
Pan	-	-	-	3,50	39,48

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 6,5%

Ukuran Butiran (mm)	Spesifikasi (%)		Jumlah		Jumlah Tertahan (gr)
	Min	Max	Lolos (%)	Tertahan (%)	
19	100	100,0	100,0	0,00	0,00
12,7	100	100,0	100,0	0,00	0,00
9,53	100	85,0	92,5	7,50	84,15
4,76	45	20,0	32,5	60,0	673,20
2,38	20	10,0	15,0	17,5	196,35
1,19	14	6,0	10,0	5,0	56,10
0,595	10	5,0	7,5	2,5	28,05
0,297	8	4,0	6,0	1,5	16,83
0,149	7	3,0	5,0	1,0	11,22
0,074	5	2,0	3,5	1,5	16,83
Pan	-	-	-	3,50	39,27

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat Pada Kadar Aspal 7%

Ukuran Butiran (mm)	Spesifikasi (%)		Jumlah		Jumlah Tertahan (gr)
	Min	Max	Lolos (%)	Tertahan (%)	
19	100	100,0	100,0	0,00	0,00
12,7	100	100,0	100,0	0,00	0,00
9,53	100	85,0	92,5	7,50	83,70
4,76	45	20,0	32,5	60,0	669,60
2,38	20	10,0	15,0	17,5	195,30
1,19	14	6,0	10,0	5,0	55,80
0,595	10	5,0	7,5	2,5	27,90
0,297	8	4,0	6,0	1,5	16,74
0,149	7	3,0	5,0	1,0	11,16
0,074	5	2,0	3,5	1,5	16,74
Pan	-	-	-	3,50	39,06

4.4.2.3 Variasi Pencampuran Aspal dengan Aditif *Additive Rediset LQ-1106*

Penelitian ini dilakukan dengan 4 (empat) variasi campuran menggunakan aspal pen 60/70 dengan *additive Rediset LQ-1106*. Variasi campuran ditunjukkan pada **Tabel 4.7** berikut.

Tabel 4.7 Variasi Campuran Aspal Porus dengan *additive Rediset LQ-1106*

No	Variasi Campuran	Komposisi Campuran
1	Aspal Porus – 0	Campuran aspal porus dengan tanpa penambahan <i>additive Rediset LQ-1106</i>
2	Aspal Porus – 1	Campuran aspal porus dengan penambahan <i>additive Rediset LQ-1106</i> 1%
3	Aspal Porus – 2	Campuran aspal porus dengan penambahan <i>additive Rediset LQ-1106</i> 2%
4	Aspal Porus – 3	Campuran aspal porus dengan penambahan <i>additive Rediset LQ-1106</i> 3%

4.4.2.4 Jumlah Benda Uji

Jumlah benda uji dibuat pada masing-masing pengujiannya disesuaikan pada kebutuhan penelitian, seperti pada **Tabel 4.8** dan **Tabel 4.9** berikut.

Tabel 4.8 Jumlah Benda Uji untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Variasi Kadar Aspal (%)	Jumlah Benda Uji		
	<i>Marshall</i>	<i>Asphalt Flow Down</i>	<i>Cantabro Loss</i>
5	3	3	3
5,5	3	3	3
6	3	3	3
6,5	3	3	3
7	3	3	3
Jumlah	15	15	15
Total	45 Buah		

Tabel 4.9 Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian *Immersion Test (IRS)*, *ITS* serta *TSR* dan *Wheel Tracking*

Variasi Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> (%)	Jumlah Benda Uji				
	<i>IRS</i>		<i>ITS</i> dan <i>TSR</i>		<i>Wheel Tracking</i>
	0,5 jam	24 jam	2 jam	24 jam	
0	3	3	3	3	2
1	3	3	3	3	2
2	3	3	3	3	2
3	3	3	3	3	2
Jumlah	12	12	12	12	8
Total	56 buah				

Sehingga jumlah total benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian ini sebanyak $45 + 56 = 101$ buah benda uji.

4.4.3 Pembuatan Benda Uji

4.4.3.1 Pembuatan Benda Uji *Marshall*, *CL*, *IRS*, *ITS*, dan *TSR*

Pembuatan benda uji dilakukan berdasarkan RSNI M-01-2003 dengan cara sebagai berikut.

1. Menimbang berat masing-masing ukuran/fraksi agregat yang akan digunakan sesuai dengan hasil perhitungan rancangan campuran dengan berat total agregat masing-masing benda uji sebesar 1200 gram.
2. Untuk campuran aspal porus, aspal dengan *additive Rediset LQ-1106* dicampurkan secara bersamaan pada suhu 160°C , kemudian diaduk secara merata dan dimasukkan kedalam *mold* benda uji. Kemudian dipadatkan dengan alat penumbuk per bidang sebanyak 50 tumbukan.
3. Benda didinginkan dan dikeluarkan dari cetakan benda uji (*mold*) dengan memakai alat pelepas benda uji (*ejector*).
4. Benda uji didiamkan pada suhu ruang selama 24 jam dan benda uji siap untuk dilakukan pengujian.

4.4.3.2 Pembuatan Benda Uji *Wheel Tracking*

Sebelum pengujian *Wheel Tracking* dilakukan, terlebih dahulu dipersiapkan campuran aspal porus untuk pembuatan benda uji. Persiapan campuran campuran aspal porus dilakukan dengan menghitung jumlah bahan yang diperlukan baik

agregat maupun keperluan jumlah aspal pada kadar aspal optimum (KAO). Jumlah bahan yang diperlukan disesuaikan dengan volume benda uji yaitu sesuai dengan ukuran cetakan 30 x 30 x 5 cm. Pembuatan benda *Wheel Tracking* berdasarkan *JRA (1980)*, dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Menimbang berat masing-masing ukuran/fraksi agregat yang digunakan sesuai dengan jumlah bahan yang diperlukan. Jumlah bahan disesuaikan dengan volume benda uji yaitu sesuai cetakan 30 x 30 x 5 cm³, kemudian dikalikan dengan nilai *density* masing-masing variasi campuran, maka volume benda uji ditambahkan dengan faktor koreksi sebesar 1,02.
2. Kemudian agregat yang sudah ditimbang, dioven sesuai dengan temperatur masing-masing campuran minimal selama 4 jam dan aspal dipanaskan sesuai temperatur masing-masing campuran.
3. Variasi campuran kemudian agregat dan aspal dicampur dengan alat pencampur elektrik yang dilengkapi pemanas selama 3 menit, sehingga suhu pencampuran dapat dipertahankan.
4. Selanjutnya kertas saring diletakkan pada cetakan ukuran 30 x 30 x 5 cm³ campuran dituangkan kedalam cetakan, kemudian ditusuk-tusuk dengan spatula dan diratakan selanjutnya temperatur diukur sesuai temperatur pemadatan dan letakan kertas saring di atas permukaan siap dilakukan pemadatan.
5. Kemudian campuran dipadatkan pada temperatur pemadatan campuran sesuai variasi campuran menggunakan alat pemadat *Wheel Tracking Compactor*. Pemadatan benda uji dilakukan sebanyak 37 lintasan yang terdiri dari 4 lintasan untuk meratakan dan 33 lintasan untuk pemadatan dengan beban 100 kg dengan tekanan 3,33 kg/cm². Toleransi kepadatan yang masih diterima sebesar 2% atau $5 \pm 0,2$ cm, benda uji siap dilakukan pengujian.

4.4.4 Pengujian Benda Uji

4.4.4.1 Pengujian *Marshall* Standar dan *Immersion Test*

Pengujian ini berdasarkan RSNI M-01-2003. Pengujian *Marshall* Standar dan *Immersion Test* hampir sama, yang membedakan hanya pada lama perendaman yang dilakukan dalam *waterbath* untuk pengujian *Immersion Test*.

4.4.4.2 Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian ini berdasarkan *ASTM C-131*, Adapun pengujian *Cantabro Loss* dilakukan sebagai berikut.

1. Benda uji didiamkan pada suhu ruang selama minimal 6 jam.
2. Benda uji dimasukkan ke dalam alat pengujian abrasi *Loss Angles*.
3. Diberikan putaran sebanyak 300 putaran tanpa menggunakan bola besi.
4. Berat sebelum dan sesudah pengujian dicatat dan dihitung menggunakan rumus *cantabro loss*.

4.4.4.3 Pengujian *Asphalt Flow Down*

Pengujian ini berdasarkan *AASHTO T 305*, adapun pengujian *Asphalt Flow Down* dilakukan dengan cara sebagai berikut.

1. Cetakan berupa nampan dengan ukuran permukaan 20 x 40 cm dilapisi dengan kertas *aluminium foil*, ditimbang dan dicatat berat cetakan tersebut (m1).
2. Selanjutnya campuran aspal dibuat, setelah tercampur merata campuran aspal dituangkan di atas cetakan yang telah dilapisi *aluminium foil* sebelumnya, permukaannya diratakan dan dicatat beratnya (m2).
3. Cetakkan 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 dicatat (m3).

4.4.4.4 Pengujian *Indirect Tensile Strength* dan *Tensile Strength Ratio*

Pengujian ini berpedoman pada SNI 6753:2015. Adapun langkah-langkah yang dilakukan pada pengujian ini adalah sebagai berikut.

1. Benda uji yang telah melewati proses pemadatan didiamkan selama ± 24 jam, kemudian dibersihkan dari kotoran yang menempel.
2. Benda uji diukur tingginya dan ditimbang dalam keadaan kering untuk mengetahui berat keringnya.
3. Benda uji direndam selama 2 jam ± 10 menit agar menjadi jenuh, pada temperatur $25\pm 0,5^{\circ}\text{C}$ dengan ketinggian air minimum 25 mm di atas permukaan benda uji.

4. Untuk benda uji *unconditioned (ITS)*, setelah dilakukan perendaman 2 jam \pm 10 menit kemudian dilakukan pengujian.
5. Untuk benda uji *conditioned (TSR)*, benda uji direndam dalam *waterbath* dengan suhu $(60\pm 1)^\circ\text{C}$ 24 jam.
6. Setelah direndam benda uji kemudian didiamkan dalam suhu ruang 25°C selama \pm 2 jam.
7. Benda uji yang telah melalui proses persiapan kemudian diletakkan diantara plat beban uji dengan posisi di tengah.
8. Mesin penguji dinyalakan, lalu dicatat angka yang ditunjukkan arloji pada pembebanan maksimum.

4.4.4.5 Pengujian *Wheel Tracking*

Prosedur pengujian sesuai *Manual for Design and Construction of Asphalt Pavement - Japan Road Association (JRA)*, 1980. Pelaksanaan pengujian dilakukan di laboratorium dan ruangan dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Pengujian menggunakan *Wheel Tracking Machine (WTM)* dilakukan pada temperatur 60°C , dimana benda uji dibuat pada kadar aspal optimum (KAO) dan sesuai pada suhu pencampuran pemadatan optimum campuran berikut.

1. Pengujian dilakukan di laboratorium dalam ruangan dengan temperatur yang disesuaikan dengan kondisi lapangan. Pada penelitian ini dilakukan dalam kondisi benda uji kering dengan temperatur pengujian dilakukan berdasarkan spesifikasi dan literatur perkerasan di Indonesia sekitar 60°C agar temperatur benda uji seragam, maka benda uji tersebut diletakkan dalam ruang uji pada temperatur pengujian selama 6 jam.
2. Benda uji diletakkan di bawah roda karet yang bergerak maju mundur dengan beban $6,55 \text{ kg/cm}^2$ dengan frekuensi pembebanan 21 siklus (42 lintasan/menit) selama 60 menit.
3. Hasil pengujian dicatat secara otomatis melalui sensor yang ada pada tungkai roda pembebanan yang dihubungkan dengan alat *control* dan data yang dihasilkan seperti perubahan bentuk (*permanent deformation*) dalam satuan lintasan/menit serta laju deformasi (*rate of deformation*) dalam satuan mm/menit.

4.5 Analisis Statistik

Pada penelitian ini menggunakan analisis statistik *Anova*, yang bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh bahan tambah *additive Rediset LQ-1106* pada campuran aspal porus dan atau metode ini digunakan karena terdapat variabel bebas (bahan tambah *additive Rediset LQ-1106*) yang masing-masing terbagi menjadi beberapa kelompok pada campuran aspal porus.

Data-data seperti Karakteristik *Marshall*, *Index of Retained Strength*, *Index Tensile Strength*, *Tensile Strength Ratio*, dan *Wheel Tracking* dengan parameter penggunaan *additive Rediset LQ-1106* terhadap kinerja campuran aspal porus dengan bahan-ikat aspal Pertamina Pen 60/70, dianalisis dengan statistik *Anova* untuk dapat menyimpulkan hasil penelitian. Secara umum analisis statistik *Anova* adalah sebagai berikut.

1. Merumuskan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_1) untuk melihat pengaruh masing-masing faktor variabel.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2 = \mu_3 = \dots \dots \dots \mu_k$$

$$H_1 : \mu_1 \neq \mu_2 \neq \mu_3 \neq \dots \dots \dots \neq \mu_k$$

2. Membandingkan antara nilai F-hitung dengan nilai F-tabel.

Jika nilai F-hitung > F-tabel ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Jika nilai F-hitung < F-tabel ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

3. Menentukan nilai α atau signifikan umumnya digunakan 5 % atau 0,05.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* > 0,05 ; maka H_0 ditolak dan H_1 diterima.

Jika nilai signifikan atau *P-Value* < 0,05 ; maka H_0 diterima dan H_1 ditolak.

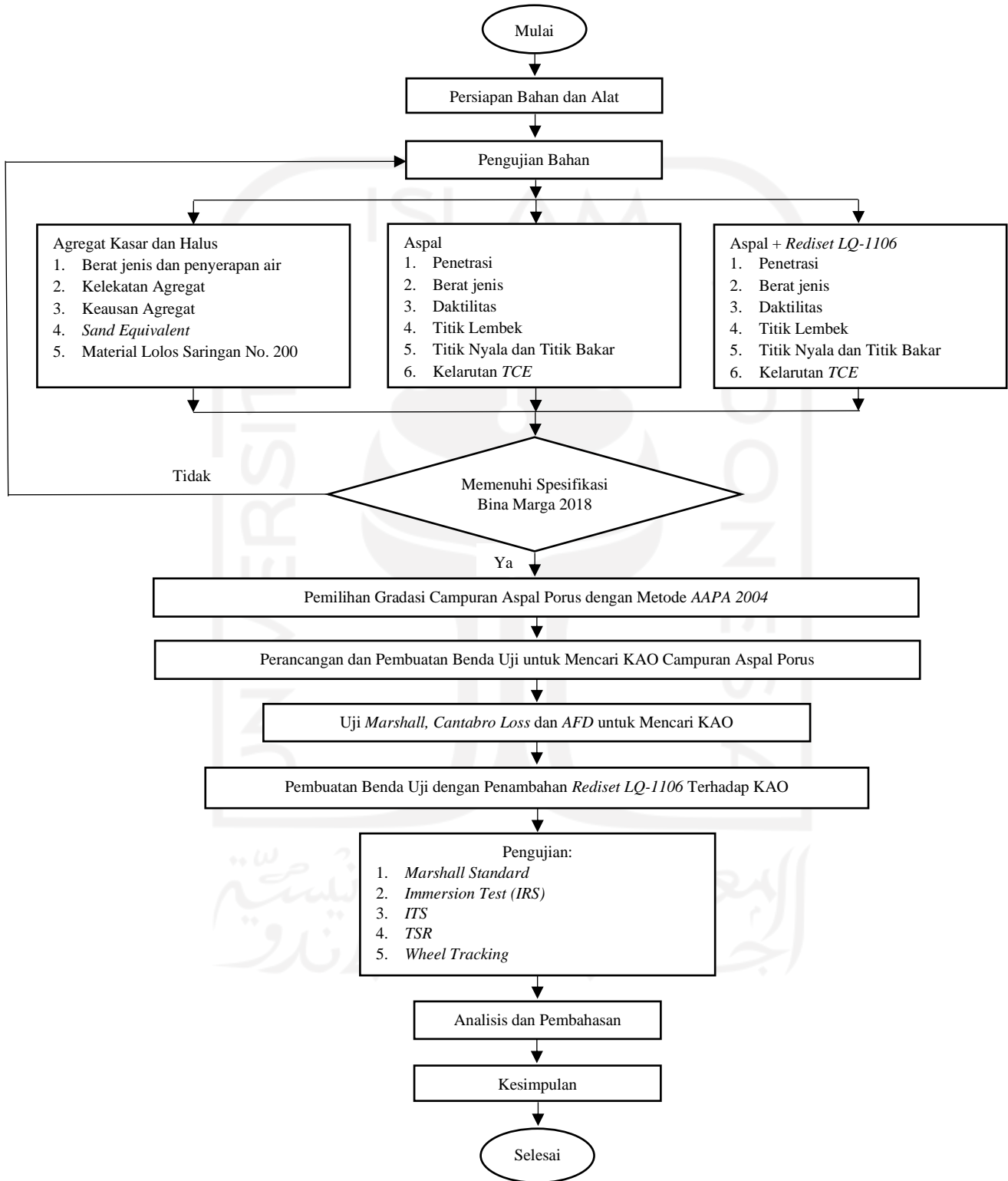
4. Perumusan keputusan H_0 dan H_1

H_0 : Tidak ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *additive Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porus yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.

H_1 : Ada perbedaan signifikan pengaruh penggunaan *additive Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porus yang berbahan ikat Pertamina Pen 60/70.

4.6 Bagan Alir Penelitian

Bagan Alir merupakan tahapan dari penelitian yang disajikan pada **Gambar 4.2**



Gambar 4.2 Bagan Alir Penelitian

BAB V

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

5.1 Hasil Penelitian

Berdasarkan rangkaian penelitian yang telah dilakukan, maka diperoleh hasil dari tiap-tiap pengujian sebagai berikut.

5.1.1 Hasil Pengujian Karakteristik Aspal

Pengujian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Pengujian karakteristik aspal ini menggunakan aspal pen 60/70 dan aspal pen 60/70 dengan bahan tambah *Rediset LQ-1106*, yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga 2018. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 5.1** sampai **Tabel 5.4** berikut, selengkapnya pada Lampiran 1 sampai Lampiran 12.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi	Aspal Pen 60/70	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 1,0$	1,050	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	60 - 70	63,1	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	≥ 100	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	285	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 232	295	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	≥ 99	99,12	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 48	49	Memenuhi

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar *Rediset LQ-1106* 1%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi <i>Anti Stripping</i>	Aspal Pen 60/70 + 1 % <i>Rediset LQ-1106</i>	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,045	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	61,1	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	≥ 180	289	Memenuhi
5	Titik Bakar ($^{\circ}\text{C}$)	-	298	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	99,024	Memenuhi
7	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	-	50	Memenuhi

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Rediset LQ-1106 2%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi Anti Stripping	Aspal Pen 60/70 + 2 % Rediset LQ-1106	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,031	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	66,8	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	≥ 180	303	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	-	310	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	97,121	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	-	45	Memenuhi

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pen 60/70 + Kadar Rediset LQ-1106 3%

No	Jenis Pengujian	Spesifikasi Aspal Modifikasi Anti Stripping	Aspal Pen 60/70 + 3 % Rediset LQ-1106	Keterangan
1	Berat Jenis	0,92 – 1,06	1,025	Memenuhi
2	Penetrasi (mm)	-	71,4	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	-	164	Memenuhi
4	Titik Nyala (°C)	≥ 180	310	Memenuhi
5	Titik Bakar (°C)	-	319	Memenuhi
6	Kelarutan TCE (%)	-	96,906	Memenuhi
7	Titik Lembek (°C)	-	42	Memenuhi

5.1.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat

Agregat yang digunakan pada penelitian ini berasal dari daerah Clereng, Kabupaten Kulon Progo. Pengujian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 5.5** sampai **Tabel 5.6** berikut, selengkapnya pada Lampiran 13 sampai Lampiran 23.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat (%)	≤ 12	5,42	Memenuhi
2	Kelekatan Agregat Terhadap Aspal (%)	≥ 95	98	Memenuhi

Tabel 5.5 Lanjutan Hasil Pengujian Agregat Kasar

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
3	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 100 putaran (%)	≤ 8	6,03	Memenuhi
4	Keausan Agregat dengan Mesin <i>Los Angeles</i> 500 putaran (%)	≤ 40	23,70	Memenuhi
5	Butiran Kasar Agregat Kasar (%)	95/90	95	Memenuhi
6	Partikel Pipih dan Lonjong (%)	≤ 10	5,06	Memenuhi
7	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6601	Memenuhi
8	Material Lolos Saringan 200	$\leq 1 \%$	0,78	Memenuhi

Tabel 5.6 Hasil Pengujian Agregat Halus

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Keterangan
1	Berat Jenis	$\geq 2,5$	2,6271	Memenuhi
2	Nilai Setara Pasir (%)	≥ 50	91,891	Memenuhi
3	Material Lolos Saringan No. 200 (%)	≤ 10	7,46	Memenuhi
4	Gumpalan Lempung dan Gumpalan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat (%)	≤ 1	0,75	Memenuhi

5.1.3 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus untuk Menentukan Kadar Aspal Optimum

Pengujian ini dilakukan untuk mendapatkan kadar aspal optimum dari campuran aspal porus. Adapun data yang didapatkan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran yaitu parameter *Marshall (VIM)*, *Asphalt Flow Down*, dan *cantabro loss*. Berdasarkan hasil pengujian yang diperoleh dapat dilihat pada **Tabel 5.7** sampai **Tabel 5.9** berikut, selengkapnya pada Lampiran 24 sampai Lampiran 26.

Tabel 5.7 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
5	552,156	3,6	155,73	18,82	33,60	28,34	2,0000
5,5	586,042	3,8	157,21	18,48	36,53	28,71	2,0003
6	595,469	3,9	156,92	16,73	40,87	28,29	2,0228
6,5	513,498	4,1	125,36	15,42	45,45	28,05	2,0403
7	502,010	4,3	117,08	14,37	48,81	28,04	2,0516
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25	-	-	-

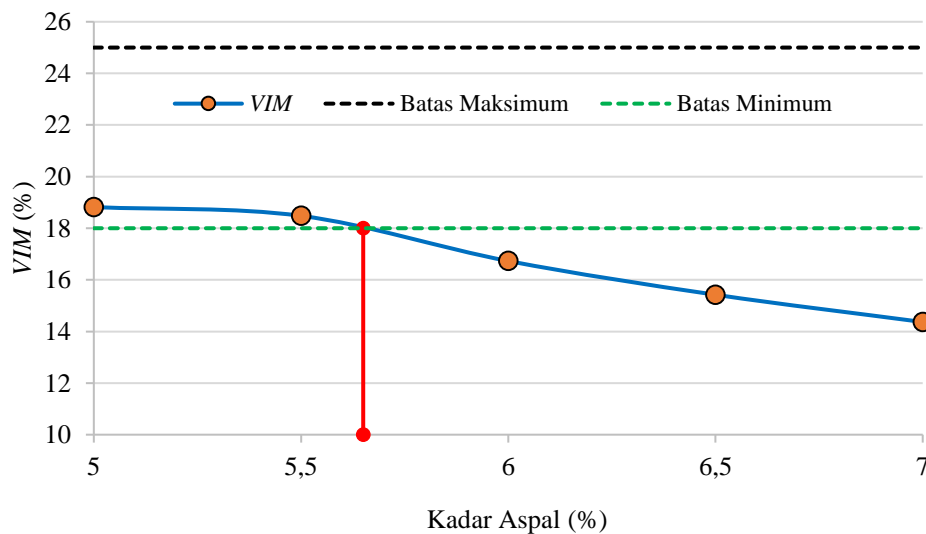
Tabel 5.8 Hasil Pengujian *Cantabro Loss* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Spesifikasi (%)	<i>Cantabro Loss</i> (%)
5	≤ 35	39,02
5,5	≤ 35	30,08
6	≤ 35	22,96
6,5	≤ 35	20,47
7	≤ 35	14,48

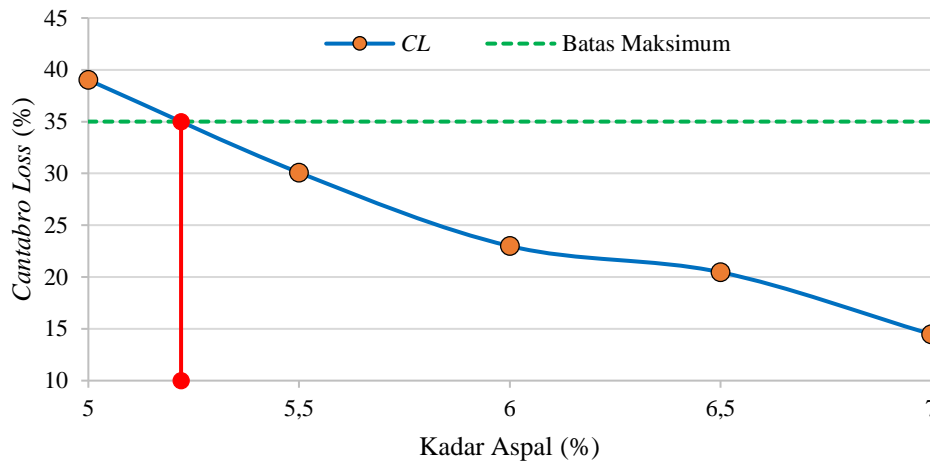
Tabel 5.9 Hasil Pengujian *Asphalt Flow Down* untuk Menentukan KAO

Kadar Aspal (%)	Spesifikasi (%)	Nilai <i>AFD</i> (%)
5	≤ 0,3	0,11
5,5	≤ 0,3	0,26
6	≤ 0,3	0,66
6,5	≤ 0,3	1,23
7	≤ 0,3	1,38

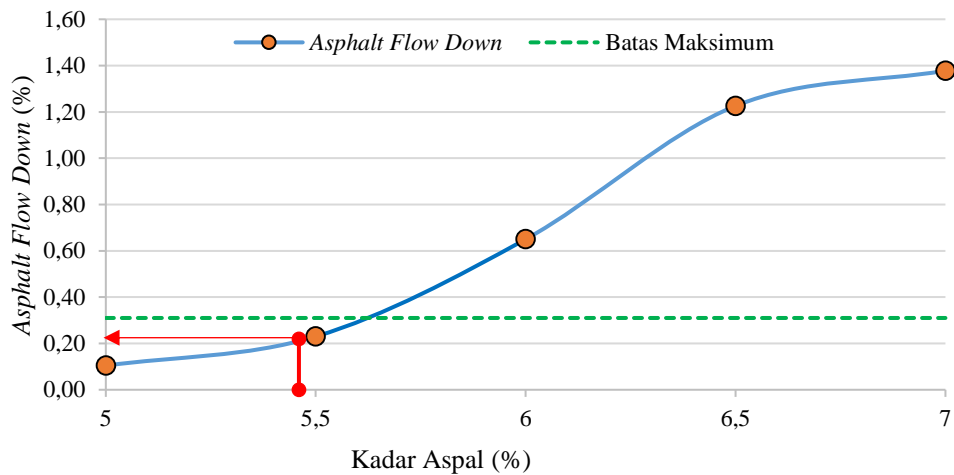
Berikut ini adalah grafik hubungan kadar aspal dengan nilai *VIM*, nilai *cantabro loss* dan nilai *AFD*, untuk menentukan kadar aspal optimum. Grafik tersebut dapat dilihat pada **Gambar 5.1** sampai **Gambar 5.3** di bawah ini.



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



Gambar 5.2 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Cantabro Loss



Gambar 5.3 Hubungan antara Penambahan Kadar Aspal dengan Nilai Asphalt Flow Down

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

Tabel 5.10 Rekapitulasi Hasil Pembacaan Grafik VIM, Cantabro Loss, dan Asphalt Flow Down untuk Menentukan KAO

Karakteristik	Satuan (%)
VIM Minimum	5,65
Cantabro Loss Maksimum	5,22
Nilai Rata-rata VIM Min. dengan Cantabro Loss Maks. yang di Plotting pada grafik Asphalt Flow Down	0,23

$$\begin{aligned} \text{Kadar Aspal Optimum} &= \frac{\text{Nilai VIM} + \text{Nilai Cantabro Loss}}{2} + \text{Nilai AFD} \\ &= \frac{5,65 + 5,22}{2} + 0,23 = 5,67 \% \end{aligned}$$

Berdasarkan perhitungan di atas diperoleh kadar aspal optimum yaitu sebesar 5,67% dari berat total campuran.

5.1.4 Hasil Pengujian Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106* pada KAO

Pengujian yang dilakukan untuk mengetahui pengaruh penggunaan kadar *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah terhadap campuran aspal porus, meliputi pengujian karakteristik *Marshall*, *Immersion Test*, *Indirect Tensile Strength*, dan *Tensile Strength Ratio* dan *Wheel Tracking*. Berdasarkan hasil pengujian dapat dilihat pada **Tabel 5.11** sampai **Tabel 5.15** berikut, selengkapnya pada Lampiran 27 sampai Lampiran 32.

Tabel 5.11 Hasil Pengujian *Marshall* Standar

Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VIM (%)	VFWA (%)	VMA (%)	Density (gr/cc)
0	566,37	3,70	154,89	18,55	36,66	29,28	1,988
1	695,98	3,40	206,08	18,52	36,73	29,26	1,989
2	636,90	3,87	171,30	18,44	36,83	29,19	1,991
3	580,27	3,97	148,84	18,18	37,24	28,96	1,997
Spesifikasi	> 500	2 – 6	< 400	18 – 25	-	-	-

Tabel 5.12 Hasil Pengujian Perendaman *Marshall* (*Immersion Test*)

Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> (%)	Stabilitas (kg)		IRS (%)	IDP (%)	IDK (%)
	0,5 jam	24 jam			
0	566,37	513,32	90,63	0,399	4,585
1	695,98	632,19	90,83	0,390	4,487
2	636,90	576,80	90,56	0,402	4,620
3	580,27	524,58	90,40	0,408	4,699
Spesifikasi			Min. 90 %	-	-

Tabel 5.13 Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Kadar Rediset LQ-1106 (%)	ITS (kPa)		TSR (%)
	ITS standar	ITS Rendaman 24 jam	
0	281,45	198,36	70,48
1	352,44	255,93	72,61
2	296,30	204,28	68,94
3	227,56	150,54	66,15

Tabel 5.14 Hasil Pengujian *Wheel Tracking Machine (WTM)*

Kadar Rediset LQ-1106 (%)	Kecepatan Deformasi (mm/menit)	Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)
0	0,100	418,60
1	0,064	652,85
2	0,081	522,82
3	0,090	468,40

Tabel 5.15 Hasil Pengujian Deformasi Campuran Aspal Porus

Waktu (menit)	Lintasan	Deformasi (mm)			
		Kadar 0 % Rediset LQ-1106	Kadar 1 % Rediset LQ-1106	Kadar 2 % Rediset LQ-1106	Kadar 3 % Rediset LQ-1106
0	0	0	0	0	0
1	21	2,09	2,09	2,39	2,23
5	105	4,31	3,75	4,24	3,71
10	210	6,13	5,18	6,10	5,79
15	315	7,80	6,37	7,68	7,68
30	630	12,66	9,02	10,81	12,29
45	945	15,39	10,91	13,21	14,70
60	1260	16,59	11,87	14,72	16,05

5.1.5 Rekapitulasi Hasil Uji Statistik *Anova* untuk Pengaruh Penggunaan *Rediset LQ-1106* pada Campuran Aspal Porus

Hasil statistik *Anova* ini bertujuan untuk mengetahui perubahan yang terjadi akibat adanya pengaruh bahan tambah *additive Rediset LQ-1106* (variabel bebas) dengan variasi kadar yang berbeda pada campuran aspal porus. Data hasil rekapitulasi analisis statistik menggunakan *Anova* dapat dilihat pada **Tabel 5.16** di bawah ini, selengkapnya pada Lampiran 33.

Tabel 5.16 Hasil Uji Statistik *Anova*

No.	Parameter	Keterangan	Hasil Analisis
1	<i>Void in the Total Mix (VIM)</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
2	<i>Void filled with Asphalt (VFWA)</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
3	<i>Voids in the Mineral Agregat (VMA)</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
4	<i>Density</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
5	Stabilitas	H0 Ditolak	Signifikan
6	<i>Flow</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
7	<i>Marshall Quotient</i>	H0 Ditolak	Signifikan
8	<i>Index of Retained Strength</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
9	Indeks Durabilitas Pertama	H0 Diterima	Tidak Signifikan
10	Indeks Durabilitas Kedua	H0 Diterima	Tidak Signifikan
11	<i>Indirect Tensile Strength</i>	H0 Ditolak	Signifikan
12	<i>Tensile Strength Ratio</i>	H0 Diterima	Tidak Signifikan
13	Stabilitas Dinamis	H0 Ditolak	Signifikan
14	Kecepatan Deformasi	H0 Ditolak	Signifikan

5.2 Pembahasan

5.2.1 Karakteristik Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106*

Pengujian karakteristik aspal dilakukan guna mengetahui sifat fisik dan karakteristik aspal yang digunakan. Berikut merupakan pembahasan hasil pengujian karakteristik aspal yang dilakukan.

1. Berat jenis aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan berat antara aspal dengan berat air pada volume dan temperatur yang sama. Nilai berat jenis aspal sangat

berpengaruh terhadap pertimbangan dalam merancang campuran agregat dan aspal, terutama dalam hal penentuan kadar aspal. Hasil yang didapatkan dari pengujian berat jenis aspal pertamina pen 60/70 yang sudah diuji yaitu sebesar 1,050, sedangkan berat jenis aspal modifikasi *Rediset LQ-1106* 1%, 2% dan 3% adalah sebesar 1,045, 1,038 dan 1,025. Nilai berat jenis aspal pertamina pen 60/70 dan aspal modifikasi memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>1,00$.

2. Penetrasi aspal

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui kekerasan aspal dengan beban dan waktu yang ditentukan pada suhu ruang. Semakin rendah nilai penetrasinya maka semakin keras aspal tersebut, dan begitu juga sebaliknya. Nilai penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 yang diperoleh adalah 63,1 mm, sedangkan nilai penetrasi aspal modifikasi dengan *Rediset LQ-1106* 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 61,1 mm, 66,8 mm dan 71,4 mm. Hal tersebut menunjukkan bahwa aspal modifikasi dengan bahan tambah *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai kekerasan paling tinggi dan semakin menurun dengan bertambahnya kadar aditif *Rediset LQ-1106*. Hasil pengujian penetrasi aspal dengan kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 1% dan 2% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu 60 - 70 mm, kecuali dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 3%. Sejalan dengan penelitian Rahmad dkk (2020), menyatakan bahwa aspal PG-76 dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai penetrasi sebesar 42,10 mm lebih kecil dibandingkan aspal PG-76 tanpa bahan tambah *Rediset LQ-1106* yaitu sebesar 46 mm, dan semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* nilai penetrasi aspal juga semakin meningkat yang mengakibatkan aspal semakin lembek. Penelitian Khairuddin dkk (2019), menunjukkan hasil yang sama yaitu aspal dengan penambahan *Rediset LQ-1106* menurunkan nilai penetrasi lebih besar yaitu 63 mm dibandingkan dengan aspal dengan bahan tambah *Cecabase* 64 mm dan aspal kontrol 69 mm.

3. Daktilitas

Nilai daktilitas aspal menunjukkan tingkat kekenyalan pada aspal. Nilai daktilitas ini nantinya akan mempengaruhi nilai fleksibilitas campuran, fleksibilitas campuran ini merupakan kemampuan suatu campuran dalam menahan beban yang akan diterima tanpa mengalami kerusakan. Hasil pengujian

dari aspal pertamina pen 60/70 dan aspal modifikasi *Rediset LQ-1106* yang diperoleh sebesar >164 cm dan memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu >100 cm. Penelitian Rahmad dkk (2020) menyatakan bahwa semakin besar kadar *Rediset LQ-1106* pada aspal, maka nilai daktilitas juga semakin meningkat, nilai daktilitas aspal PG-76 dengan penambahan kadar *Rediset LQ-110* 0%, 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 100,5 mm, 110,40 mm, 120,77 mm dan 150 mm.

4. Titik nyala

Pengujian titik nyala memiliki tujuan untuk mengetahui batas suhu tertinggi atau menunjukkan batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api. Hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 285°C, sedangkan aspal modifikasi *Rediset LQ-1106* dengan kadar 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 289°C, 303°C, 310°C yang menunjukkan aspal dengan penambahan *Rediset LQ-1106* mempunyai batas temperatur dimana aspal mulai menyala singkat dan memercikkan api semakin meningkat. Hasil pengujian aspal tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu > 232°C.

5. Titik Bakar

Aspal merupakan bahan bersifat *thermoplastic*, dimana kekentalan yang dipengaruhi oleh temperatur. Semakin tinggi temperatur maka semakin lunak atau cair. Pengujian titik nyala aspal bertujuan untuk mengetahui batas temperatur dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan. Hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 yang diperoleh adalah sebesar 295°C, sedangkan aspal modifikasi *Rediset LQ-1106* dengan kadar 1%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 298°C, 310°C, 319°C yang menunjukkan batas temperatur dimana aspal menimbulkan api ketika dipanaskan semakin meningkat. Hasil pengujian titik bakar tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 225^\circ\text{C}$.

6. Kelarutan dalam *Trichloroethylene (TCE)*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui jumlah persentase kelarutan aspal pada larutan *TCE* sehingga dapat diketahui jumlah persentase mineral lain yang terdapat dalam aspal. Semakin besar kelarutan aspal dalam *TCE* mengakibatkan

semakin kecil kandungan mineral lain pada aspal, sehingga semakin kecil juga kemungkinan terganggunya ikatan aspal dengan agregat. Hasil pengujian kelarutan dalam TCE aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 99,12%, sedangkan pada aspal modifikasi dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1%, 2% dan 3% adalah 99,024%, 97,121% dan 96,906%. Hal ini menunjukkan semakin besar kadar *Rediset LQ-1106* kemurnian aspal akan semakin kecil jika dibandingkan aspal Pertamina Pen 60/70. Hasil pengujian aspal Pen 60/70 dan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar >99%, sedangkan untuk aspal dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3% tidak memenuhi spesifikasi.

7. Titik Lembek

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui temperatur ketika aspal akan mulai melunak dan melembek. Hasil pengujian titik lembek aspal Pertamina Pen 60/70 adalah sebesar 49°C, sedangkan aspal modifikasi *Rediset LQ-1106* 1%, 2% dan 3% adalah sebesar 50°C, 45°C dan 42°C. Hal tersebut menunjukkan bahwa semakin besar kadar *Rediset LQ-1106* aspal akan semakin mudah lembek dan lebih peka terhadap temperatur. Hasil pengujian aspal dengan kadar aditif *Rediset LQ-1106* 0% dan 1% tersebut memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 48^\circ\text{C}$, sedangkan kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3% masih dibawah spesifikasi yang telah ditetapkan. Sejalan dengan penelitian Rahmad dkk (2020), menyimpulkan bahwa aspal PG 76 yang ditambahkan dengan *Rediset LQ-1106* mengalami *trend* penurunan titik lembek dengan semakin meningkatnya kadar *Rediset LQ-1106* mengakibatkan aspal lebih peka terhadap temperatur. Menurut penelitian Khairuddin dkk (2019), menyimpulkan bahwa aspal Pen 60/70 dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 0,5% mempunyai nilai titik lembek paling tinggi yaitu dengan sebesar 50°C dibanding aspal kontrol 46°C dan aditif *Cecabase* 0,5% sebesar 49°C. Hal ini menunjukkan ketidak kepekaan aspal dengan bahan tambah *Rediset LQ-1106* meningkat terhadap temperatur.

8. Indeks Penetrasi

Indeks penetrasi merupakan parameter untuk mengetahui nilai konsistensi aspal dalam perubahannya yang dipengaruhi oleh temperatur. Kepekaan terhadap suhu adalah sensitivitas perubahan sifat viskoelastisitas aspal akibat perubahan

suhu dimana sifat ini dinyatakan indeks penetrasi aspal (IP). Semakin tingginya nilai Indeks Penetrasi, maka kepekaan terhadap temperatur juga akan semakin rendah dan mengurangi besar deformasi. Nilai Indeks Penetrasi dari hasil pengujian aspal pertamina pen 60/70 adalah -0,90 sedangkan aspal modifikasi dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 1%, 2%, dan 3% adalah -0,72, -1,88, -2,65. Nilai indeks penetrasi aspal modifikasi paling tinggi adalah dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1%, hal tersebut menunjukkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 1% menjadi lebih tidak peka terhadap temperatur dan akan menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Sebaliknya, nilai indeks penetrasi aspal paling rendah pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 3% menunjukkan aspal lebih peka terhadap temperatur dan akan menurunkan kinerja campuran. Sejalan dengan penelitian Rahmad dkk (2020), penambahan *Rediset LQ-1106* pada aspal akan merubah karakteristik aspal, karena semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* maka aspal akan lebih peka terhadap suhu. Adapun hasil pengujian IP berdasarkan angka penetrasi dan titik lembek dapat dilihat pada **Tabel 5.17** di bawah ini.

Tabel 5.17 Hasil Pengujian Indeks Penetrasi

Benda Uji	Titik Lembek (°C)	Penetrasi (mm)	IP
Aspal Pen 60/70	49	63,1	-0,90
Aspal Pen 60/70 + 1% <i>Rediset LQ-1106</i>	50	61,1	-0,72
Aspal Pen 60/70 + 2% <i>Rediset LQ-1106</i>	45	66,8	-1,88
Aspal Pen 60/70 + 3% <i>Rediset LQ-1106</i>	42	71,4	-2,65

9. *Stiffness Modulus Bitumen*

Stiffness Modulus Bitumen merupakan salah satu parameter yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja campuran beraspal, karena bahan ikat aspal yang digunakan adalah material yang bersifat viskoelastis dimana sifat material ini akan berubah dari viskos ke elastis tergantung pada temperatur dan waktu pembebanan. Pada temperatur tinggi dan waktu pembebanan yang lama aspal akan berperilaku sebagai *viscous-liquid*, sedangkan bila pada temperatur yang rendah dan waktu pembebanannya singkat maka aspal akan bersifat elastis-padat.

Semakin tingginya nilai *stiffness modulus bitumen*, maka ketahanan terhadap temperatur dan pembebanan juga akan semakin meningkat serta mengurangi terjadinya deformasi. Nilai *stiffness modulus bitumen* aspal pertamina pen 60/70 adalah 7,299 MPa, sedangkan aspal modifikasi dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 1%, 2%, dan 3% adalah 7,740 MPa, 6,568 MPa dan 5,790 MPa. Nilai *stiffness modulus bitumen* aspal modifikasi paling tinggi adalah dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1%, hal tersebut menunjukkan bahwa aspal yang dimodifikasi dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 1% meningkatkan ketahanan terhadap temperatur dan pembebanan, kemudian akan menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Adapun hasil pengujian modulus kekakuan aspal (*Stiffness Modulus Bitumen*) berdasarkan metode *Ullidtz* dapat dilihat pada **Tabel 5.18** berikut.

Tabel 5.18 Hasil Perhitungan *Stiffness Modulus Bitumen* (S_{bit})

Kadar Aditif (%)	t (detik)	P_i (mm)	P_r (mm)	SP_r (°C)	PI_r	$SP_r - T$ (°C)	S_{bit} (MPa)
0	0,06	63,1	41,015	55,899	-0,282	27,899	7,299
1	0,06	61,1	39,715	56,268	-0,275	28,268	7,740
2	0,06	66,8	43,420	55,247	-0,295	27,247	6,568
3	0,06	71,4	46,410	54,485	-0,310	26,485	5,790

5.2.2 Karakteristik Agregat Kasar

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

1. Berat jenis agregat kasar

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal dan sebaliknya, selain meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun

hasil pengujian berat jenis agregat kasar yang didapat adalah sebesar 2,660. Nilai ini memenuhi yang disyaratkan Spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $>2,5$.

2. Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan Natrium Sulfat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui sifat kekekalan agregat terhadap proses kimiawi sebagai akibat dari pengaruh perbedaan iklim dan cuaca, dalam hal ini simulasi dilakukan dengan menggunakan larutan natrium sulfat atau magnesium sulfat jenuh untuk memperoleh indeks ketangguhan batu yang akan digunakan atau nilai kekekalan batu terhadap proses pelarutan serta disintegrasi 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. Adapun hasil pengujiannya, persentase indeks kekekalan agregat kasar terhadap larutan natrium sulfat adalah 5,42% dan memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 12\%$.

3. Keausan dengan mesin *Los Angeles*

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat ketahanan agregat terhadap keausan dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Adapun hasil pengujiannya, menunjukkan hasil sebesar 6,03% untuk 100 putaran dan 23,70% untuk 500 putaran. Nilai ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $< 40\%$.

4. Kelekatan agregat terhadap aspal

Daya lekat agregat terhadap aspal akan dipengaruhi oleh sifat agregat terhadap air. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Adapun hasil pengujiannya, persentase permukaan agregat terselimuti oleh aspal sebesar 98%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $>95\%$.

5. Butiran kasar agregat kasar

Pengujian ini untuk menentukan persentase butir pecah pada agregat kasar atau yang lebih dikenal dengan pengujian angularitas agregat kasar yang diperlukan untuk menentukan kualitas agregat kasar yang akan digunakan. Penggunaan butiran agregat kasar yang mempunyai bidang pecah akan menambah tahanan gesek antar butiran dalam campuran sehingga menambah stabilitas campuran,

dan juga akan memberikan tekstur permukaan yang baik sehingga menambah kekesatan. Adapun hasil pengujiannya, persentase butiran kasar agregat kasar adalah sebesar 95%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $>95/90\%$.

6. Partikel pipih dan lonjong

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan indeks kepipihan dan kelonjongan suatu agregat yang dapat digunakan dalam campuran beraspal, sehingga agregat yang digunakan bisa seragam. Adapun hasil pengujiannya, persentase partikel pipih dan lonjong agregat kasar adalah sebesar 5,06%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $<10\%$.

7. Material lolos saringan no. 200

Pemeriksaan material lolos saringan no. 200 bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0,075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya, persentase Material lolos saringan no. 200 adalah sebesar 0,78%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $<1\%$.

5.2.3 Karakteristik Agregat Halus

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

1. Berat jenis agregat halus

Berat jenis agregat merupakan perbandingan berat volume agregat yang digunakan dengan berat volume air pada temperatur yang sama. Nilai berat jenis akan menentukan perencanaan campuran. Agregat yang memiliki berat jenis yang lebih rendah akan memiliki pori yang besar, sehingga dapat menyerap aspal lebih banyak dan menjadikan selimut aspal lebih tipis, yang berdampak pada penurunan durabilitas aspal, dan bila sebaliknya, maka akan meningkatkan durabilitas aspal juga akan meningkatkan resiko *bleeding* pada campuran tersebut. Adapun hasil pengujian berat jenis agregat halus yang didapat adalah

sebesar 2,627. Hasil pengujian berat jenis *filler* abu batu Clereng yang didapatkan adalah sebesar 2,550. Nilai ini memenuhi Spesifikasi Bina Marga 2018 yang disyaratkan yaitu $>2,5$.

2. Nilai setara pasir (*Sand Equivalent*)

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui tingkat kebersihan agregat terhadap butir-butir halus lolos saringan no. 200 seperti lempung, lanau pada campuran agregat. Jika campuran pada pembuatan beton aspal banyak menggunakan agregat halus yang mengandung material lolos saringan No. 200, maka akan menghasilkan aspal yang memiliki kualitas rendah. Hal ini terjadi karena material agregat halus menyelimuti agregat yang lebih kasar sehingga ikatan antara agregat dan bahan pengikat menjadi menurun. Adapun hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng didapatkan nilai 91,891%. Hasil tersebut memenuhi Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $>50\%$.

3. Material lolos saringan no. 200

Pengujian ini bertujuan untuk menentukan material dalam agregat halus yang lolos saringan no. 200 (agregat halus ukuran lebih kecil dari 0.075mm) dengan cara pencucian. Lempung koloidal dan lumpur biasanya tercampur pada agregat kasar maupun agregat halus. Apabila kandungan zat ini berada dalam jumlah yang cukup banyak, maka dapat mengurangi kekuatan campuran aspal. Adapun hasil pengujiannya, persentase material lolos saringan 200 adalah sebesar 7,46%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $<10\%$.

4. Gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat

Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui butir-butir agregat yang mudah pecah dengan cara ditekan di antara ibu jari dan jari telunjuk, setelah agregat tersebut direndam dalam air suling selama (24 ± 4) jam dan memperoleh persen gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat halus maupun kasar, sehingga dapat digunakan oleh perencana dan pelaksana pembangunan jalan. Adapun hasil pengujiannya, persentase gumpalan lempung dan kumpulan butir-butir mudah pecah dalam agregat adalah sebesar 0,75%. Hasil pengujian ini memenuhi persyaratan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 yaitu $<1\%$.

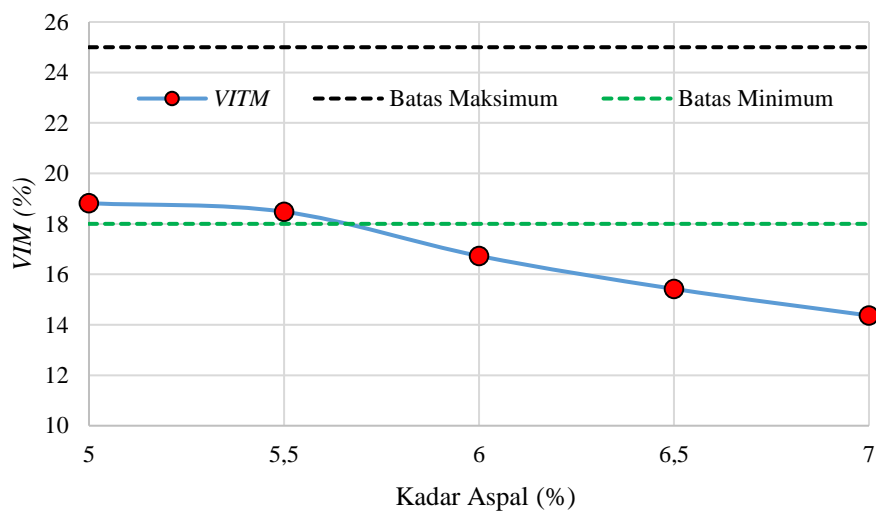
5.2.4 Karakteristik Marshall Standar, Cantabro Loss dan Asphalt Flow Down untuk Mencari Kadar Aspal Optimum

Berdasarkan *Australian Asphalt Pavement Association* (2004), dalam menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran Aspal Porus menggunakan tiga parameter, yaitu karakteristik Marshall Standar, *cantabro loss*, dan *Asphalt Flow Down*. Berikut ini adalah pembahasan hasil pengujian Marshall Standar, *cantabro loss*, dan *Asphalt Flow Down* untuk menentukan KAO.

1. Karakteristik Marshall Standar

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

Void in the Total Mix (VIM) adalah persentase rongga udara dalam campuran terhadap total volume campuran agregat dan aspal. *VIM* berfungsi sebagai ruang bergesernya agregat akibat beban lalu lintas atau ruang bagi aspal yang melunak akibat perubahan temperatur. *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) mensyaratkan batas nilai *VIM* pada campuran aspal porus adalah sebesar 18% - 25%, nilai *VIM* pada campuran aspal porus didesain cukup besar sehingga campuran ini dapat dengan mudah meloloskan air melalui rongga yang cukup sesuai dengan fungsi campuran aspal porus, akan tetapi hal ini mengakibatkan air dapat dengan mudah memasuki campuran melalui rongga tersebut sehingga akan menyebabkan penurunan durabilitas campuran dan memungkinkan terjadinya *ravelling*. Adapun nilai *VIM* yang didapat dapat dilihat pada **Gambar 5.4** berikut.

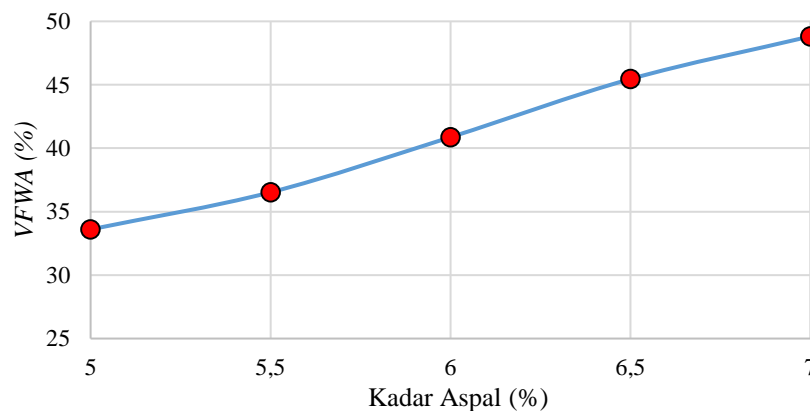


Gambar 5.4 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan *VIM*

Berdasarkan Gambar 5.4 dapat disimpulkan semakin besar kadar aspal yang digunakan pada campuran maka semakin rendah nilai *VIM* pada campuran tersebut. Penurunan nilai *VIM* terjadi disebabkan oleh semakin banyaknya aspal yang mengisi rongga pada campuran, sehingga rongga yang tersisa atau rongga udara pada campuran semakin kecil. Semakin rendah nilai *VIM* maka semakin tinggi resiko campuran mengalami *bleeding* dan semakin tinggi juga resiko campuran mengalami penurunan durabilitas. Dapat disimpulkan bahwa kadar aspal optimum yang memenuhi nilai *VIM* sesuai spesifikasi *AAPA 2004* yaitu 18% - 25% pada kadar 5% sampai 5,7%, sedangkan nilai *KAO* yang didapat adalah 5,67%.

b. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

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



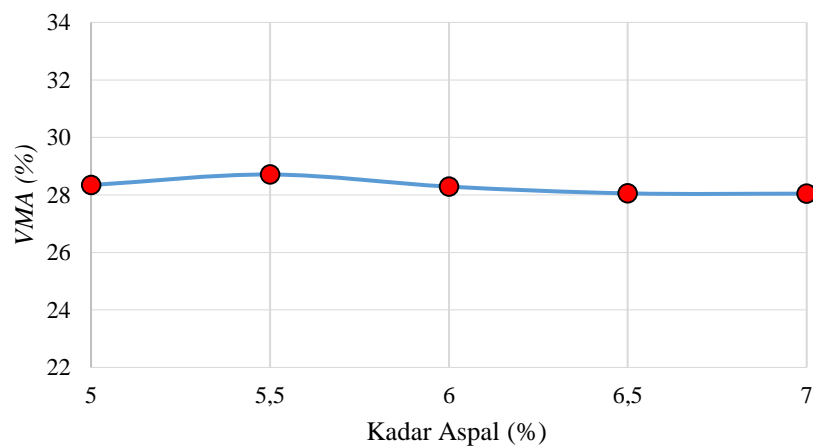
Gambar 5.5 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan *VFMA*

Berdasarkan Gambar 5.5 dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal maka nilai *VFWA* akan semakin meningkat. Hal ini disebabkan oleh aspal porus menggunakan gradasi terbuka dimana fraksi agregat kasar lebih banyak dibandingkan agregat halus yang mengakibatkan rongga pada

aspal porus lebih besar, sehingga semakin besar kadar aspal rongga yang terisi aspal semakin banyak dan kedekatan terhadap air dan udaranya meningkat. Hasil pengujian di laboratorium, nilai *VFWA* tertinggi adalah 37,24% pada penggunaan kadar aspal 7% terhadap campuran dan nilai *VFWA* terendah adalah 36,66% pada penggunaan kadar aspal 5% terhadap campuran.

c. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in the mineral aggregate merupakan jumlah pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran padat yang dinyatakan dalam persen. Berikut nilai *VMA* hasil pengujian dapat dilihat pada **Gambar 5.6** berikut.



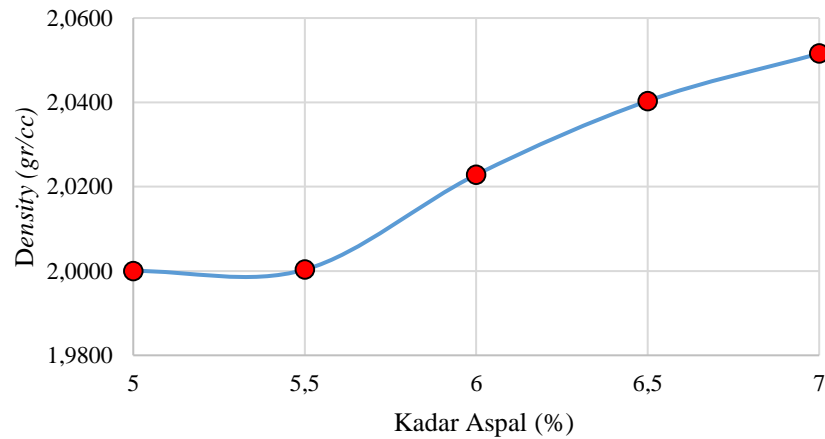
Gambar 5.6 Hasil Penambahan Kadar Aspal dengan *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.6 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* akan mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Hal ini disebabkan karena pada kadar aspal yang rendah, jumlah aspal yang mengisi pori diantara butir-butir agregat di dalam campuran akan semakin kecil, dan begitu pula sebaliknya pada kadar aspal yang tinggi maka jumlah aspal yang mengisi rongga antar agregat yang tersedia akan semakin besar. Nilai *VMA* dipengaruhi oleh gradasi agregat, ukuran agregat, jumlah tumbukan, dan kadar aspal.

d. *Kepadatan (Density)*

Kepadatan (density) merupakan nilai berat volume yang dapat menunjukkan kepadatan dari campuran. Faktor-faktor yang dapat mempengaruhi nilai *density* adalah suhu pemadatan, komposisi penyusun, jumlah *filler*, dan kadar aspal. Nilai kepadatan ini menunjukkan kerapatan campuran yang telah

dipadatkan. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik. Berdasarkan hasil pengujian yang dilakukan di Laboratorium didapatkan grafik nilai *density* pada **Gambar 5.7** berikut.

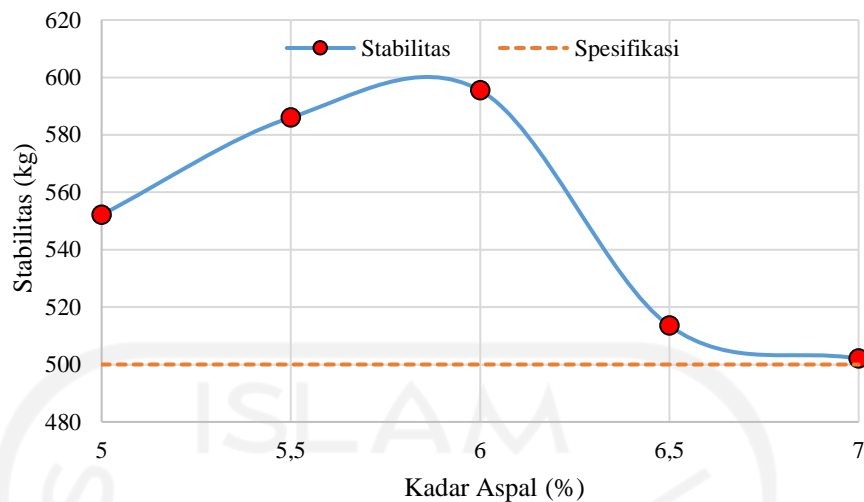


Gambar 5.7 Hubungan Kadar Aspal dengan *Density*

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 dan 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.

e. Stabilitas

Stabilitas merupakan kemampuan perkerasan dalam menerima beban tanpa mengalami deformasi sampai terjadi kelelahan plastis. Berikut ini merupakan faktor-faktor yang mempengaruhi nilai stabilitas perkerasan yaitu gesekan internal yang disebabkan oleh permukaan agregat, luas bidang kontak antar agregat dan atau bentuk/tekstur dari agregat, gradasi agregat, kepadatan campuran dan tebal selimut aspal yang menyelubungi agregat, serta kohesi atau gaya ikat aspal, menyebabkan aspal mampu menahan tekanan kontak antar butir agregat. Kemampuan kohesi ditentukan berdasarkan hasil uji penetrasi aspal, perubahan temperatur, perubahan viskositas, tingkat pembebanan, kandungan bahan kimia dari aspal, dan umur aspal. Berikut ini adalah hasil nilai stabilitas dapat dilihat pada **Gambar 5.8** berikut.

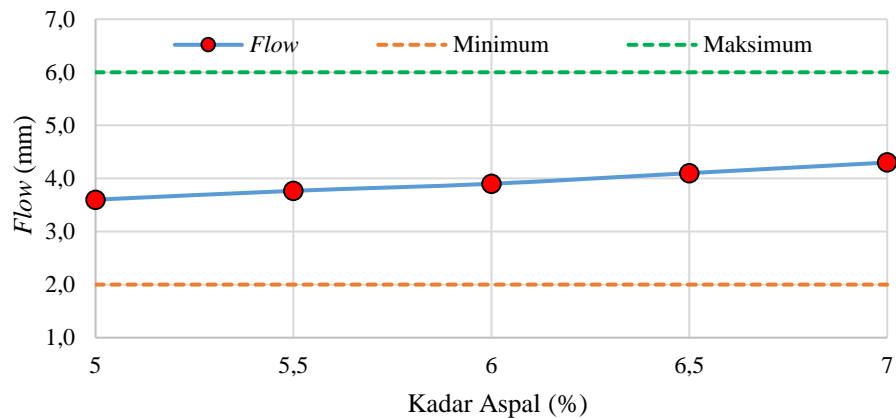


Gambar 5.8 Hubungan Kadar Aspal dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.8 dapat disimpulkan bahwa nilai stabilitas campuran pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu >500 kg. Nilai stabilitas pada campuran aspal porus mengalami kenaikan seiring dengan penambahan kadar aspal hingga mencapai optimum pada kadar 6% dan mengalami penurunan. Hal ini dapat terjadi karena peran aspal sebagai pengikat agregat yang menyebabkan stabilitas campuran meningkat hingga mencapai optimum lalu mengalami penurunan setelah titik optimum disebabkan karena peran aspal berubah menjadi pelicin saat kadar aspal terlalu banyak pada campuran.

f. Flow

Kelelahan (*flow*) menyatakan besarnya penurunan vertikal campuran akibat beban sampai batas runtuh. *Flow* diperlukan agar supaya perkerasan memiliki daerah mulur akibat pembebanan, sehingga saat terjadi pembebanan, campuran memulur atau memanjang untuk mengikuti pembebanan agar perkerasan tidak retak. Semakin tinggi nilai *flow* suatu campuran, maka akan semakin tinggi pula tingkat kelenturan campuran tersebut, hal tersebut dipengaruhi oleh persen kadar aspal. Semakin rendah nilai *flow* campuran, maka akan semakin kaku. *Flow* dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya yaitu, gradasi agregat, kadar aspal dan temperatur saat pemadatan. Berikut ini adalah grafik nilai *flow* yang didapatkan dari pengujian, dapat dilihat pada **Gambar 5.9** berikut.

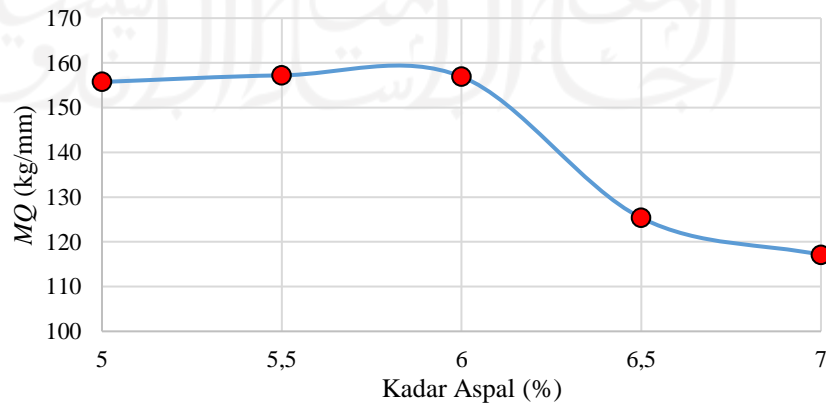


Gambar 5.9 Hubungan Kadar Aspal dengan *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.9 dapat disimpulkan bahwa nilai *flow* pada semua kadar aspal memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu berada diantara 2 mm – 6 mm. Grafik diatas dapat diketahui bahwa jika semakin besar kadar aspal pada campuran maka nilai *flow* akan semakin tinggi. Hal ini disebabkan akibat semakin tebal lapis aspal yang menyelimuti agregat sehingga kelenturan aspal menjadi semakin lebih tinggi.

g. *Marshall Quotient (MQ)*

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

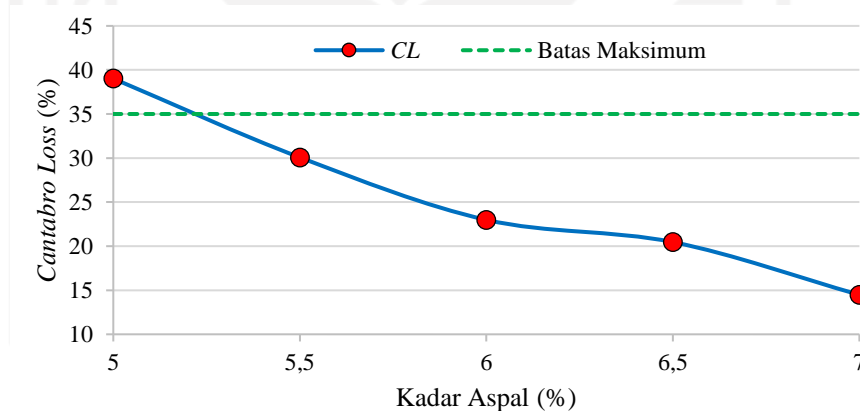


Gambar 5.10 Hubungan Kadar Aspal dengan *MQ*

Berdasarkan Gambar 5.10 dapat diketahui semakin tinggi kadar aspal maka akan semakin rendah nilai MQ , hal ini dapat terjadi karena semakin tinggi kadar aspal menyebabkan meningkatnya nilai $flow$ pada campuran yang berarti fleksibilitas campuran semakin tinggi. Begitu juga sebaliknya, semakin rendah nilai $flow$ maka nilai MQ akan cenderung besar yang berarti campuran bersifat kaku. Faktor-faktor yang mempengaruhi nilai MQ adalah bentuk agregat, tekstur permukaan, gradasi agregat, temperatur dan jumlah pemadatan.

2. Pengujian *Cantabro Loss*

Pengujian *cantabro loss* bertujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam mempertahankan bentuk dan berat campuran dari keausan akibat repetisi beban yang diuji menggunakan mesin *Loss Angeles*. Pengujian ini juga merupakan salah satu parameter dalam menentukan KAO aspal porus seperti yang disyaratkan oleh *Australian Asphalt Pavement Association* (2004) yaitu kurang dari 35%. Adapun hasil pengujian *cantabro loss* yang dilakukan di laboratorium dapat dilihat pada **Gambar 5.11** berikut.



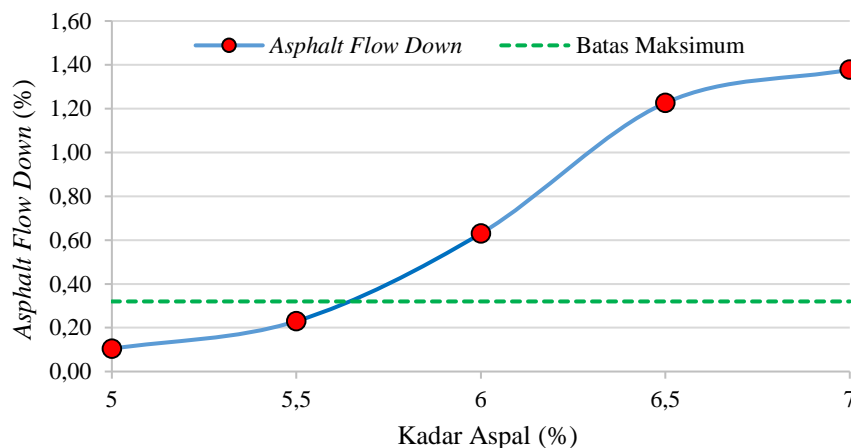
Gambar 5.11 Hubungan Kadar Aspal dengan *Cantabro Loss*

Berdasarkan Gambar 5.11 dapat diketahui bahwa nilai *cantabro loss* akan semakin menurun seiring dengan bertambahnya penggunaan kadar aspal. Bila nilai *cantabro loss* semakin menurun maka campuran akan semakin tahan terhadap keausan. Hal ini disebabkan oleh daya ikat campuran antara agregat dan aspal semakin baik sehingga meningkatkan kemampuan campuran aspal porus untuk tahan terhadap benturan. Berdasarkan hasil pengujian dapat disimpulkan bahwa kadar aspal yang memenuhi nilai *cantabro loss* sesuai

spesifikasi AAPA 2004 adalah 5,5% – 7%, dan untuk KOA yang didapat yaitu 5,67% memenuhi persyaratan $< 35\%$.

3. Pengujian *Asphalt Flow Down*

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



Gambar 5.12 Hubungan Kadar Aspal dengan *Asphalt Flow Down*

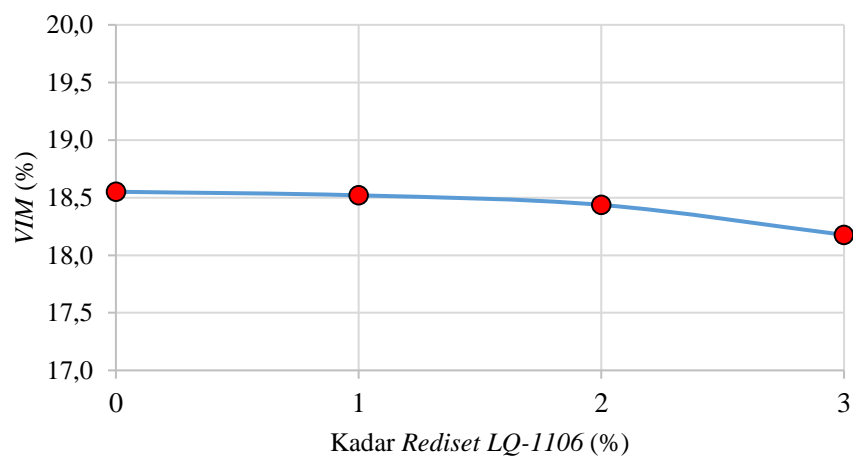
Berdasarkan Gambar 5.12 dapat diketahui bahwa nilai *Asphalt Flow Down* akan semakin meningkat seiring dengan penambahan kadar aspal. Meningkatnya nilai *Asphalt Flow Down* diakibatkan karena banyaknya kadar aspal pada campuran, sehingga aspal pada campuran tidak tercampur dan terpadatkan secara homogen atau meningkatnya jumlah persentase *Asphalt Flow Down* menunjukkan aspal yang menyelimuti agregat semakin tebal dan mengakibatkan aspal yang melekat pada permukaan terluar akan meleleh dan terpisah dari campuran. Berdasarkan hasil pengujian nilai dengan nilai KAO yang didapat sebesar 5,67% masih memenuhi batas maksimum *AFD* sesuai spesifikasi AAPA 2004 yaitu $< 0,3\%$

5.2.5 Karakteristik Marshall Standar Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106* pada KAO

Uji *Marshall* dilakukan untuk mengetahui kinerja campuran dengan parameter dari uji *Marshall* diantaranya adalah stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), *Marshall Quotient (MQ)*, *Void in the Total Mix (VIM)*, *Void Filler With Asphalt (VFMA)*, *Void in Mineral Agregat (VMA)* dan kepadatan (*density*). Adapun hubungan antara penambahan kadar *Rediset LQ-1106* dengan parameter uji *Marshall* adalah sebagai berikut.

1. *Void in the Total Mix (VIM)*

VIM menunjukkan banyaknya rongga dalam campuran, dinyatakan dalam persentase terhadap total volume campuran agregat dan aspal. Faktor yang mempengaruhi nilai *VIM* diantaranya yaitu gradasi agregat, jenis dan kadar aspal yang digunakan, serta faktor pemadatan. Hasil perhitungan nilai *VIM* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.13** berikut.



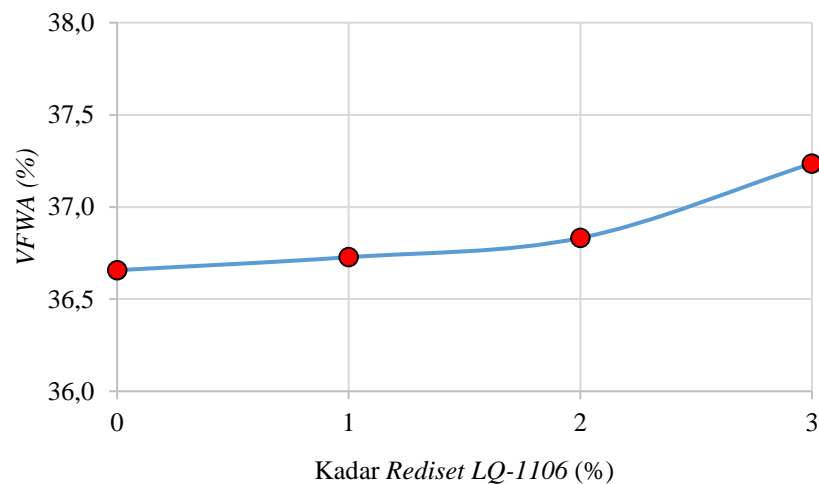
Gambar 5.13 Hasil Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *VIM*

Berdasarkan Gambar 5.13 dapat diketahui bahwa campuran aspal porus dengan penambahan *Rediset LQ-1106* mengalami penurunan nilai *VIM* seiring penambahan penggunaan kadar *Rediset LQ-1106*. Kondisi ini disebabkan karena semakin banyak kadar *Rediset LQ-1106* yang ditambahkan, maka tingkat kekerasan bahan ikat akan semakin kecil berdasarkan nilai penetrasi dan memudahkan untuk mengisi rongga campuran. Berdasarkan hasil pengujian didapatkan nilai *VIM* sebesar 18,55%, 18,52%, 18,44% dan 18,18% dan

menunjukkan perubahan yang tidak signifikan serta memenuhi persyaratan AAPA (2004) yaitu $>18\%$. Sejalan dengan penelitian Bennert dkk (2012), campuran WMA dengan kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 1% dan 2% mempunyai nilai *VIM* secara berurutan 6,2%, 5,7% dan 5,5% yang menunjukkan kadar rongga udara benda uji *Marshall* menurun seiring dengan peningkatan kadar *Rediset LQ-1106*, hal ini terjadi karena penambahan kadar *Rediset LQ-1106* mempengaruhi viskositas aspal dan memudahkan pelapisan agregat. Capitao dkk (2012) menyatakan bahwa jumlah perubahan rongga udara campuran yang mengandung *Rediset LQ-1106* bergantung pada suhu pencampuran, kadar *Rediset LQ-1106*, prosedur pemadatan, jenis aspal, kadar aspal, jenis agregat dan gradasi agregat.

2. Void Filler with Asphalt (VFMA)

VFWA adalah volume rongga campuran yang terisi aspal atau yang biasa disebut dengan selimut aspal. Nilai *VFWA* akan meningkat seiring dengan bertambahnya kadar aspal yang digunakan dalam campuran karena rongga dalam campuran yang terisi aspal akan semakin banyak. Hasil perhitungan nilai *VFWA* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.14** di bawah ini.



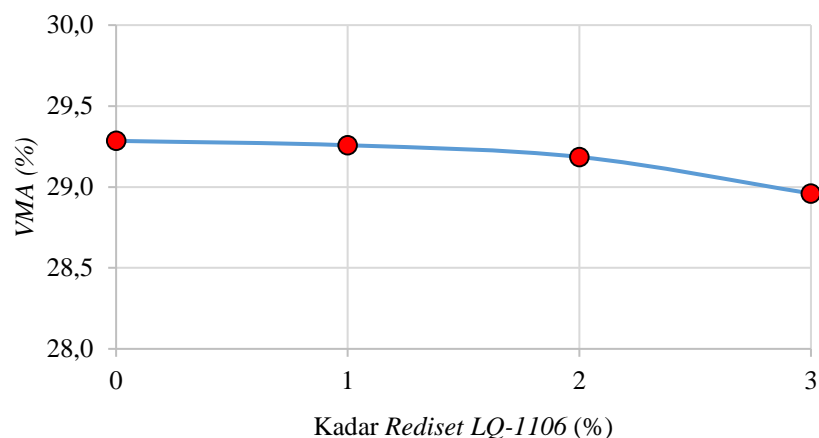
Gambar 5.14 Hasil Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *VFWA*

Berdasarkan Gambar 5.14 dapat dilihat bahwa nilai *VFWA* semakin meningkat dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106* dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Nilai *VFWA* yang tinggi menunjukkan bahwa

rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal. Hal ini disebabkan karena sifat aditif *Rediset LQ-1106* bisa menurunkan viskositas aspal, sehingga menyebabkan semakin besar kadar aditif maka agregat akan semakin mudah terlapisi aspal dan membuat selimut aspal semakin tebal yang berarti semakin kedap air dan udara. Hamzah dkk (2013) menyatakan bahwa campuran dengan penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan nilai *VFMA*, karena aditif *Rediset LQ-1106* adalah kombinasi surfaktan dan aditif organik bisa meningkatkan keterbasahan pelapisan permukaan agregat dengan penurunan viskositas aspal. Menurut AkzoNobel (2011), *Rediset LQ-1106* menurunkan viskositas aspal panas yang memungkinkan suhu pencampuran turun mencapai 15–30°C, sehingga akan memberikan kemudahan pelapisan agregat dan pemadatan pada suhu rendah.

3. *Void in Mineral Aggregate (VMA)*

Void in Mineral Aggregate (VMA) merupakan persen rongga udara yang ada di antara partikel-partikel agregat di dalam campuran agregat aspal yang sudah dipadatkan. *VMA* dinyatakan sebagai ruang yang tersedia untuk menampung aspal dan rongga yang diperlukan dalam campuran agregat aspal. Hasil perhitungan nilai *VMA* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.15** di bawah ini.



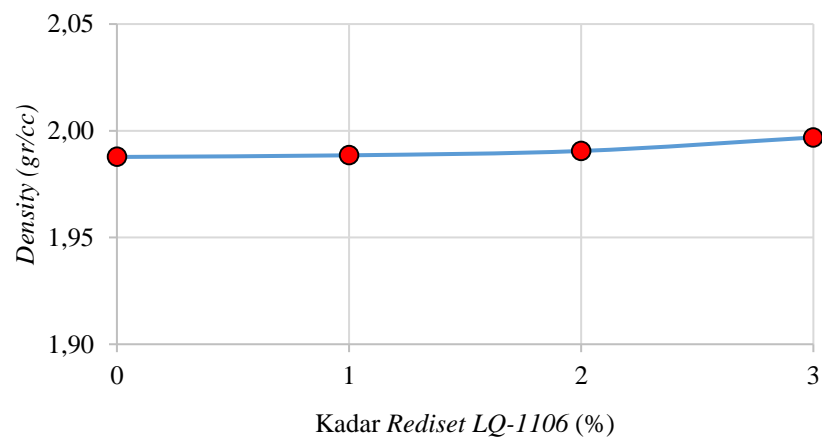
Gambar 5.15 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *VMA*

Berdasarkan Gambar 5.15 dapat diketahui bahwa nilai *VMA* mengalami penurunan dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Penurunan nilai *VMA* diakibatkan karena

semakin banyak kadar *Rediset LQ-1106* yang digunakan akan mengakibatkan bahan ikat semakin lembek dan memudahkan mengisi pori antar agregat dalam campuran dan menjadikan rongga antar agregat semakin kecil. Vahora dan Mishra (2017) menyatakan bahwa campuran *WMA* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* mempunyai nilai *VMA* lebih kecil yaitu 13,05%, sedangkan campuran *WMA* kontrol dan aditif *Evotherm* mempunyai nilai *VMA* sebesar 14,45% dan 13,35%. Hal ini dikarenakan *Rediset LQ-1106* memberikan kemampuan kerja dan pemadatan yang lebih baik bahkan disuhu pemadatan yang rendah.

4. *Density*

Nilai *density* menunjukkan tingkat kepadatan suatu campuran perkerasan agregat dan aspal. Nilai *density* yang besar menunjukkan bahwa kerapatannya semakin baik, tetapi nilai *density* sudah pada nilai optimum kemudian ditambah aspal yang berlebih maka nilai *density* cenderung mengalami penurunan. Hasil perhitungan nilai *density* pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan bahan tambah *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.16** di bawah ini.



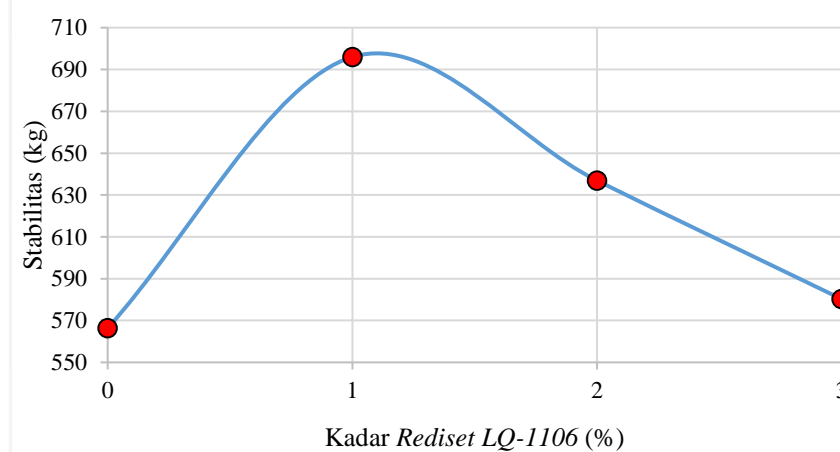
Gambar 5.16 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *Density*

Berdasarkan Gambar 5.16 dapat diketahui bahwa nilai *density* mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Nilai *density* yang meningkat diakibatkan karena semakin banyak kadar *Rediset LQ-1106* yang ditambahkan pada campuran, akan mengakibatkan campuran semakin padat. Hal ini dapat terjadi karena fungsi bahan tambah *Rediset LQ-1106* membuat pelapisan pengikat aspal yang efisien pada permukaan agregat, sifat ini memungkinkan pengikat untuk dengan mudah melapisi agregat dan campuran

menjadi lebih padat pada suhu campuran yang lebih rendah. Berbanding lurus dengan nilai *VIM* yang didapat semakin rendah, menunjukkan bahwa campuran semakin padat seiring dengan bertambahnya *Rediset LQ-1106*. Nilai *density* mengalami perubahan yang tidak signifikan.

5. Stabilitas

Stabilitas adalah nilai ketahanan deformasi akibat beban lalu lintas tanpa terjadinya perubahan bentuk seperti gelombang dan alur yang juga campuran memenuhi sifat-sifat karakteristik *Marshall* lainnya. Menurut Sukirman (2003), nilai stabilitas campuran beton aspal dibentuk dari gesekan internal antar butiran agregat yang saling mengunci dan adanya aspal. Selain itu, kohesi atau gaya ikat aspal yang berasal dari daya lekatnya, sehingga mampu memelihara tekanan kontak antar butir agregat. Hasil pengujian di laboratorium diperoleh nilai grafik stabilitas seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 5.17** berikut.



Gambar 5.17 Hasil Penambahan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Stabilitas

Berdasarkan Gambar 5.17 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Rediset LQ-1106* menyebabkan nilai stabilitas mengalami peningkatan dan perubahan yang signifikan yaitu sebesar 18,62% pada kadar optimum 1% dengan nilai stabilitas yaitu sebesar 695,98 kg, sedangkan campuran aspal porus dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 0%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 566,37 kg, 636,90 kg, dan 580,27 kg yang menunjukkan stabilitas semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Peningkatan tertinggi nilai stabilitas campuran dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% dikarenakan mempunyai nilai kekakuan bahan ikat paling

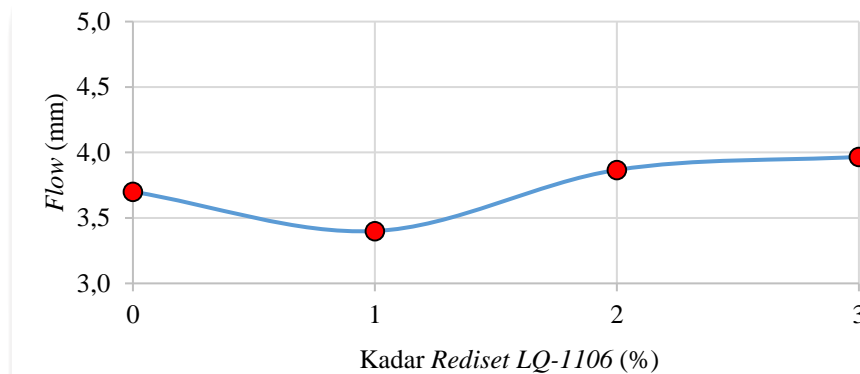
besar berdasarkan perhitungan *stiffness modulus bitumen* pada Tabel 5.18, sehingga kemampuan untuk mempertahankan ikatan dan mencegah terjadinya deformasi semakin besar, dan tentunya akan lebih stabil dalam menahan beban. Peningkatan nilai stabilitas juga dipengaruhi oleh sifat fisik campuran berdasarkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin rendah serta nilai *density* semakin tinggi dengan penambahan *Rediset LQ-1106*, yang menunjukkan bahwa rongga di dalam campuran semakin rendah dan campuran semakin padat, namun penambahan kadar *Rediset LQ-1106* diatas batas optimum 1% akan menyebabkan penurunan stabilitas karena bertambah tebalnya selimut aspal berdasarkan nilai *VFMA* dan kekakuan aspal semakin menurun, sehingga kemampuan agregat saling mengunci juga menjadi menurun serta gesekan internal antar agregat akan berkurang. Hasil pengujian stabilitas semua variasi benda uji memenuhi persyaratan *AAPA* (2004) yaitu >500 kg.

Penelitian Xie dan Shen (2014) menyimpulkan bahwa campuran *WMA* dengan *Rediset LQ-1106* mempunyai nilai stabilitas lebih tinggi yaitu sebesar 9,98 kN, sedangkan campuran aspal kontrol memiliki nilai stabilitas sebesar 9,32 kN dan aditif *Evotherm* sebesar 8,19 kN. Hal ini dikarenakan penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan kekerasan aspal *SK-70* berdasarkan hasil pengujian penetrasi dengan nilai paling kecil yaitu 60 mm, sedangkan aspal *SK-70* tanpa aditif *Rediset LQ-1106* mempunyai nilai penetrasi 63 mm dan *Evotherm* 62 mm. Hasil ini sejalan dengan penelitian Rahmad dkk (2020) yang menyimpulkan bahwa berdasarkan *physical tests* aspal *PG-76* dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai penetrasi paling rendah yaitu sebesar 42,1 mm, sedangkan untuk aspal dengan kadar aditif *Rediset LQ-1106* 0%, 2% dan 3% secara berurutan mempunyai nilai penetrasi sebesar 46 mm, 47,5 mm dan 49,90 mm. Hasil ini menunjukkan bahwa penambahan persentase *Rediset LQ-1106* yang lebih tinggi menghasilkan pengikat aspal yang lebih lembek. Hamzah dkk (2015) menyatakan bahwa kandungan surfaktan dalam *Rediset LQ-1106* adalah bahan kimia tambahan yang meningkatkan sifat pelapisan, kemampuan kerja dan kemudahan pemadatan campuran aspal. Menurut AkzoNobel (2011), kandungan surfaktan dalam *Rediset LQ-1106* membuat pelapisan pengikat aspal yang efisien pada permukaan agregat, sifat ini memungkinkan pengikat untuk

dengan mudah melapisi agregat sehingga meningkatkan kemampuan kerja campuran dan memungkinkan campuran menjadi lebih padat pada suhu campuran yang lebih rendah.

6. *Flow*

Kelelehan (*flow*) merupakan parameter *Marshall* yang menyatakan besarnya penurunan campuran akibat beban vertikal hingga batas runtuh. Adapun hasil pembacaan nilai kelelehan (*flow*) pada campuran aspal porus dengan variasi penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.18** di bawah ini.



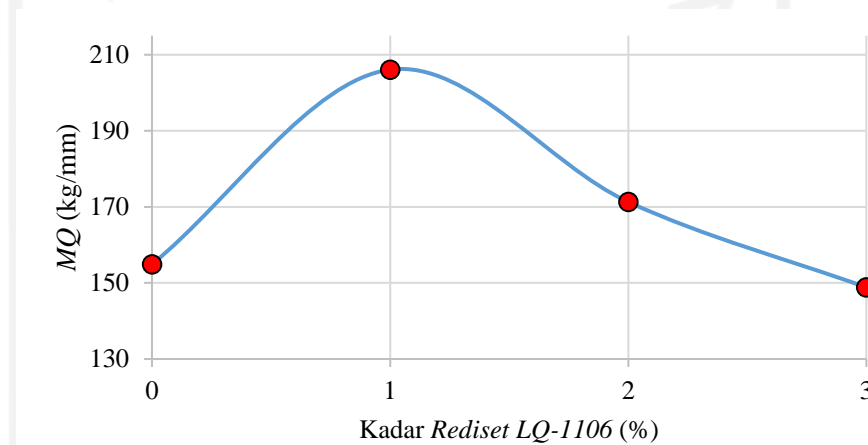
Gambar 5.18 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *Flow*

Berdasarkan Gambar 5.18 nilai *flow* mengalami penurunan pada kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan meningkat seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*, serta menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Hal ini disebabkan semakin tinggi penambahan kadar *Rediset LQ-1106* akan mengakibatkan campuran menjadi lebih lentur pada temperatur yang tinggi, proses tersebut terjadi karena bahan ikat yang dimodifikasi mempunyai nilai kekakuan bahan ikat paling kecil berdasarkan perhitungan *stiffness modulus bitumen* pada Tabel 5.18, serta rongga pada campuran lebih terisi oleh aspal dan membuat selimut aspal semakin tebal berdasarkan nilai *VFWA*, sehingga akibat pengaruh temperatur akan merubah kinerja sifat fisik aspal sebagai bahan pengikat agregat menjadi lembek, dan akibat beban vertikal membuat penurunan campuran menjadi lebih besar, sedangkan nilai *flow* yang rendah mengakibatkan campuran cenderung kaku. Berdasarkan hasil pengujian nilai *flow* campuran aspal porus dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 0%, 1%, 2% dan 3% secara berurutan 3,70 mm, 3,40 mm, 3,87 mm dan 3,97 mm memenuhi spesifikasi *AAPA 2004* yaitu 2 - 6 mm. Sejalan dengan penelitian Kilas dkk (2010), campuran *SMA*

dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1% mengalami penurunan nilai *flow* dengan nilai 4,8 mm, sedangkan campuran *SMA* dengan kadar 0% dan 2% mempunyai nilai *flow* 5,1 mm dan 5,4 mm. Hal ini dikarenakan semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* menyebabkan bahan ikat aspal menjadi lembek, sehingga ketika menerima beban mengakibatkan campuran akan berdeformasi lebih besar.

7. Marshall Quotient (*MQ*)

Nilai *MQ* merupakan rasio atau perbandingan antara nilai stabilitas dan *flow* pada campuran beton aspal yang digunakan untuk menunjukkan tingkat fleksibilitas campuran. Hasil perhitungan *MQ* dapat dilihat pada grafik dalam **Gambar 5.19** berikut ini.



Gambar 5.19 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *MQ*

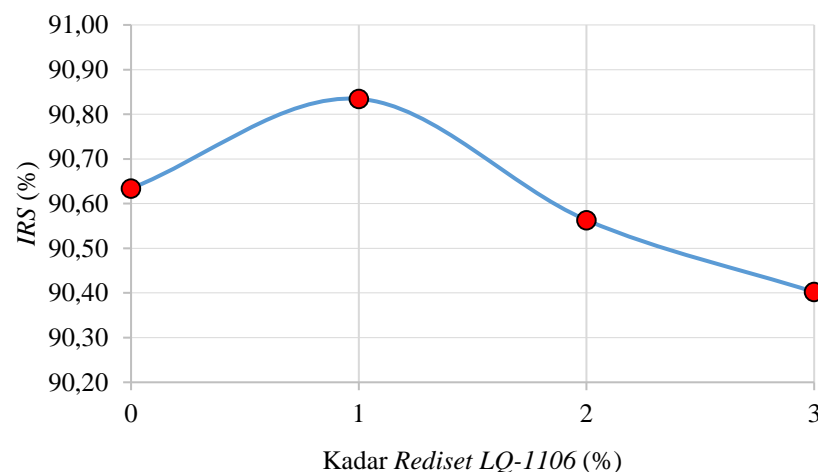
Berdasarkan Gambar 5.19 dapat diketahui bahwa nilai *Marshall Quotient* mengalami peningkatan hingga penambahan kadar optimum *Rediset LQ-1106* 1% yaitu sebesar 24,84%, kemudian akan mengalami penurunan seiring pertambahan kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini disebabkan karena penambahan *Rediset LQ-1106* 1% memberikan nilai kekakuan aspal paling tinggi berdasarkan perhitungan *stiffness modulus bitumen* pada Tabel 5.18, sehingga kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan pada posisinya semakin bertambah dan campuran tidak mudah berdeformasi ketika menerima beban. Nilai *MQ* yang rendah menunjukkan bahwa campuran memiliki nilai stabilitas rendah dengan nilai kelelahan yang tinggi, sehingga mengakibatkan campuran fleksibel dan mudah mengalami perubahan deformasi dan sebaliknya. Berdasarkan hasil penelitian didapat nilai *MQ* 154,89 kg/mm, 206,08 kg/mm, 171,30 kg/mm dan 148,84 kg/mm dan memenuhi persyaratan *AAPA 2004* yaitu

<400 kg/mm. Perubahan nilai *MQ* pada campuran aspal porus merupakan perubahan yang signifikan. Hamzah dkk (2013) menyimpulkan bahwa menggunakan kadar *Rediset LQ-1106* yang lebih tinggi memiliki peran pelunakan dalam campuran aspal, sehingga menurunkan nilai *MQ* yang menunjukkan campuran menjadi fleksibel.

5.2.6 Karakteristik Perendaman *Marshall (Immersion Test)* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106* pada KAO

1. *Index of Retained Strength (IRS)*

IRS diperoleh dari proses perendaman, untuk mengetahui kekuatan (*strength*) dan kekakuan (*stiffness*) sisa yang dimiliki campuran setelah mengalami proses perendaman. Perendaman yang dilakukan yaitu di dalam *waterbath* selama 0,5 jam dan 24 jam pada suhu 60°C. Adapun hasil perhitungan *IRS* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.20** berikut.



Gambar 5.20 Perbandingan Hasil Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *IRS*

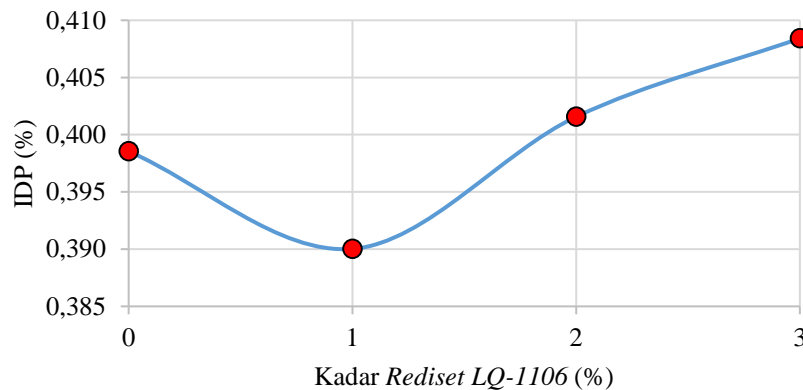
Berdasarkan Gambar 5.20 dapat diketahui nilai kekuatan sisa (*IRS*) campuran aspal porus meningkat dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% yaitu sebesar 90,83%, sedangkan nilai *IRS* kadar 0%, 2% dan 3% yaitu sebesar 90,63%, 90,56% dan 90,40% yang menggambarkan terjadi penurunan seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini menunjukkan kadar maksimum penambahan *Rediset LQ-1106* adalah sebesar 1% dan akan meningkatkan *moisture resistance*, memberikan sifat tahan air dan tahan temperatur, namun

dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* diatas batas maksimum akan menyebabkan campuran lebih peka terhadap perubahan temperatur berdasarkan indeks penetrasi Tabel 5.17, karena karakteristik aspal porus yang mempunyai kadar rongga yang besar dan seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106* menyebabkan nilai *VFMA* meningkat serta menurunkan kekakuan bahan ikat yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat akan menjadi pelicin setelah melampaui batas optimum, sehingga campuran akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja akibat dari gangguan air dan temperatur tinggi. Nilai *IRS* pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* masih memenuhi spesifikasi syarat Bina Marga yaitu >90% dan menunjukkan perubahan yang tidak signifikan. Perkerasan yang memiliki nilai *IRS* yang lebih dari 90% dapat dianggap bahwa perkerasan tersebut cukup tahan stabilitasnya terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan temperatur.

Sejalan dengan penelitian AkzoNobel (2012), *Rediset LQ-1106* mempunyai sifat adhesi aktif dan *anti-stripping*, sehingga meningkatkan ketahanan pengaruh air, suhu atau temperatur. Zhang dkk (2017) menyimpulkan bahwa campuran *WMA* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* menunjukkan kekuatan sisa lebih besar dari pada kekuatan sisa campuran *WMA* tanpa *Rediset LQ-1106*, karena pengaruh *anti-stripping Rediset LQ-1106* meningkatkan adhesi aspal dan agregat mengakibatkan ketahanan terhadap temperatur dan air juga meningkat. Menurut penelitian Rahmad dkk (2020) berdasarkan *contact angles, wetting, and spreading test* campuran *WMA* dengan kadar aditif *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai *contact angles* 90,9° yang menunjukkan bahan pengikat memiliki sifat hidrofobik, sedangkan kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3% mempunyai nilai *contact angles* 71,9° dan 28,4° yang artinya semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* sifat bahan ikat aspal berubah menjadi hidrofilik. Hal ini terjadi karena bahan ikat aspal yang awal berfungsi sebagai pelindung agregat dari kerusakan air, namun dengan semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* air dapat berdifusi ke dalam aspal dan mengubah sifatnya, sehingga ketahanan campuran juga semakin menurun.

2. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama merupakan sebagai nilai sensitivitas campuran aspal terhadap durasi perendaman yang dinyatakan cukup *durable* apabila bernilai $< 1\%$. Adapun hasil perhitungan IDP dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.21** berikut.

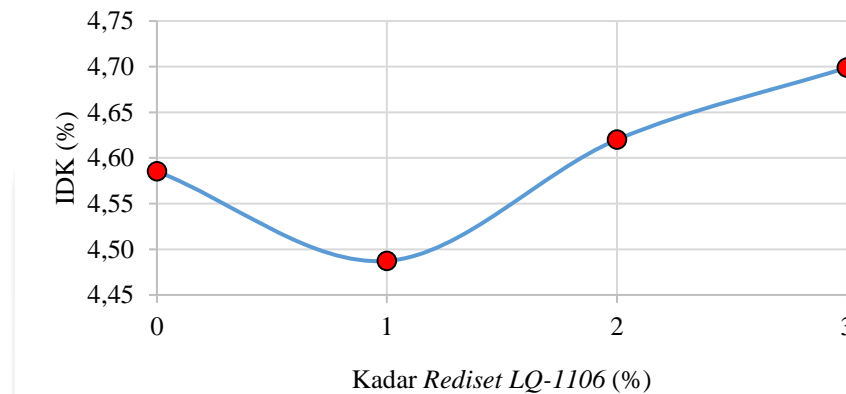


Gambar 5.21 Hasil Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai IDP

Berdasarkan Gambar 5.21 dapat diketahui bahwa dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai IDP paling rendah yaitu 0,390%, sedangkan kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 2% dan 3 % yaitu 0,399%, 0,402% dan 0,408% yang menunjukkan keawetan campuran menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini berbanding lurus dengan nilai indeks penetrasi pada Tabel 5.17 yang menunjukkan aspal dengan kadar *Rediset LQ-1106* lebih besar akan lebih peka terhadap temperatur dan air, sehingga ketika menerima beban akan mengurangi kekuatan dan ketahanan campuran. Berdasarkan perhitungan semua variasi penambahan kadar *Rediset LQ-1106* memenuhi spesifikasi Bina Marga, yaitu $< 1\%$, sehingga dapat dikatakan campuran aspal porous dengan menggunakan *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah cukup *durable* hingga 24 jam. Sejalan dengan penelitian Rahmad dkk (2020), untuk mengetahui ketahanan *anti-stripping Rediset LQ-1106* dengan *thermogravimetric analysis*, menunjukkan bahwa campuran aspal dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan 2% stabil terhadap temperatur yang dipanaskan sampai suhu 300°C , kecuali untuk kadar *Rediset LQ-1106* 3%, 4% dan 5% sudah menunjukkan ketidakstabilan pada suhu 100°C . Hal ini terjadi karena semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* maka meningkatkan sensitivitas terhadap suhu, sehingga mengakibatkan terjadinya dekomposisi dan menurunkan kekuatan serta ketahanan campuran.

3. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua merupakan persentase rata-rata kehilangan kekuatan campuran aspal berdasarkan nilai keawetan awal 100% untuk menunjukkan indeks durabilitas yang setara dengan satu hari. Adapun hasil perhitungan IDK dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.22** berikut.



Gambar 5.22 Hasil Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai IDK

Berdasarkan Gambar 5.22 dapat diketahui bahwa nilai IDK mengalami peningkatan seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*, yang artinya campuran mengalami penurunan durabilitas semakin besar dengan meningkatnya kadar *Rediset LQ-1106* dalam satu hari seiring dengan lamanya perendaman. Nilai kehilangan kekuatan rata-rata satu hari pada campuran terkecil terjadi pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% yaitu 4,487% atau nilai kekuatan sisa satu hari adalah sebesar 95,513%. Sejalan dengan penelitian yang dilakukan oleh Khairuddin dkk (2019), campuran WMA dengan penambahan *Rediset LQ-1106* menurunkan sensitivitas campuran terhadap temperatur berdasarkan pengujian *thermogravimetry analysis*. Hasil penelitian menunjukkan campuran WMA dengan *Rediset LQ-1106* mengalami dekomposisi pada suhu yang lebih tinggi yaitu 220°C, sedangkan campuran aspal kontrol mengalami dekomposisi pada suhu 215°C dan campuran WMA dengan *Cecabase* pada suhu 217°C. Hal ini terjadi karena bahan ikat aspal dengan penambahan *Rediset LQ-1106* mempunyai nilai kekerasan aspal paling tinggi berdasarkan nilai penetrasi yaitu 63 mm dibandingkan aspal kontrol dan *Cecabase* sebesar 69 mm dan 64 mm, serta bahan ikat aspal dengan *Rediset LQ-1106* mempunyai nilai titik lembek paling besar yaitu 50°C, sedangkan nilai titik lembek aspal kontrol dan *Cecabase* yaitu 46°C dan 49°C.

5.2.7 Karakteristik *Indirect Tensile Strength (ITS)* dan *Tensile Strength Ratio (TSR)* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106* pada KAO

1. *Indirect Tensile Strength (ITS)*

Indirect tensile strength merupakan metode untuk mengetahui besar gaya tarik yang mampu ditahan oleh campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak atau kerusakan pada perkerasan. Adapun hasil pengujian *ITS* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.23** berikut.



Gambar 5.23 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *ITS*

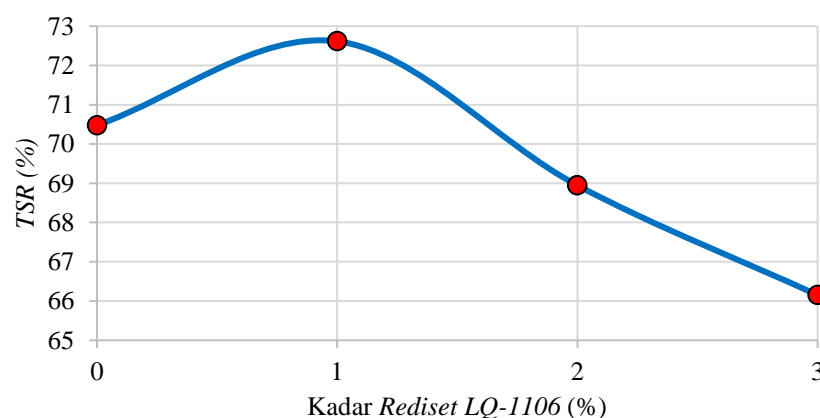
Berdasarkan Gambar 5.23 dapat diketahui bahwa dengan adanya penambahan *Rediset LQ-1106* menyebabkan nilai ketahanan tarik mengalami peningkatan dan perubahan yang signifikan yaitu sebesar 20,14% pada kadar optimum 1% dengan nilai *ITS* sebesar 352,44 kPa, sedangkan nilai *ITS* untuk kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 2% dan 3% secara berurutan yaitu 281,45 kPa, 296,30 kPa dan 227,56 kPa yang menunjukkan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini disebabkan campuran aspal porus yang menggunakan kadar *Rediset LQ-1106* 1% meningkatkan kekakuan aspal berdasarkan nilai *stiffness modulus bitumen* pada Tabel 5.18 dan penambahan *Rediset LQ-1106* menurunkan kadar rongga berdasarkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin kecil serta nilai *VFMA* dan *density* semakin besar pada Tabel 5.11, sehingga menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik. Namun, semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* kekakuan aspal

semakin menurun mengakibatkan campuran akan semakin fleksibel kemudian bahan ikat menjadi cepat kehilangan kekuatan dalam mempertahankan ikatannya.

Penelitian AkzoNobel (2015) menyatakan bahwa penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan nilai *ITS* campuran *WMA* dibandingkan dengan campuran aspal panas biasa dengan bahan ikat PG 64-22, hal ini dikarenakan *Rediset LQ-1106* memungkinkan aspal untuk menciptakan ikatan kimiawi yang kuat antara agregat dan aspal yang tahan terhadap reaksi air dalam jangka panjang. Penelitian Zhang dkk (2019) menyimpulkan bahwa dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% meningkatkan nilai *ITS* paling besar yaitu 0,537 MPa, sedangkan nilai campuran *WMA* dengan kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 2% dan 3% secara berurutan adalah 0,524 MPa, 0,513 MPa dan 0,527 MPa yang menunjukkan penurunan dengan semakin bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini terjadi karena kadar *Rediset LQ-1106* 1% menurun nilai penetrasi aspal sehingga aspal lebih kaku dan keras, sedangkan semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* maka kekerasan aspal akan semakin menurun.

2. *Tensile Strength Ratio (TSR)*

Tensile Strength Ratio merupakan hasil perbandingan nilai *ITS* standar dengan nilai *ITS* rendaman dinyatakan dalam persen (%). Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui pengaruh air terhadap potensi retakan (*fatigue*) dan alur (*rutting*) dengan melakukan pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) campuran aspal. Adapun hasil perhitungan *TSR* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat dilihat pada **Gambar 5.24** berikut.



Gambar 5.24 Hubungan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai *TSR*

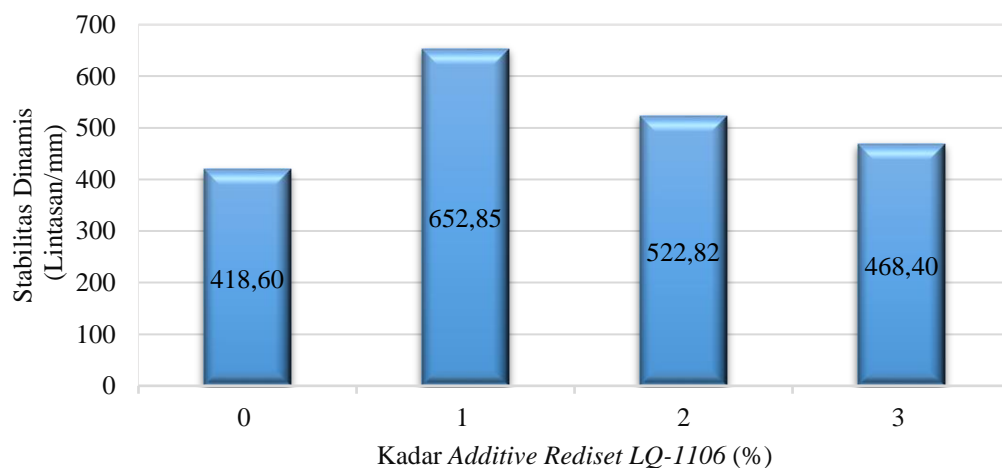
Pada Gambar 5.24 dapat dilihat bahwa nilai *TSR* campuran aspal porus mengalami peningkatan pada kadar *Rediset LQ-1106* 1% yaitu sebesar 3,09% dengan nilai *TSR* 72,61%, sedangkan nilai *TSR* campuran aspal porus pembanding (kadar *Rediset LQ-1106* 0%) adalah sebesar 70,48% dan mengalami penurunan dengan meningkatnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini dikarenakan kadar *Rediset LQ-1106* 1% memberikan pengaruh paling efisien tidak peka terhadap temperatur berdasarkan nilai indeks penetrasi semakin tinggi pada Tabel 5.17, sehingga memberikan ikatan aspal dengan agregat lebih baik serta memberikan sifat tahan air dan temperatur. Namun, penambahan kadar *Rediset LQ-1106* diatas batas maksimum akan menyebabkan campuran lebih peka terhadap perubahan temperatur, karena karakteristik aspal porus yang mempunyai kadar rongga yang besar dan seiring bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106* menyebabkan nilai *VFMA* meningkat, serta menurunkan kekakuan bahan ikat yang pada awalnya berfungsi sebagai pengikat antar agregat akan menjadi pelicin setelah melampaui batas optimum, sehingga campuran akan mudah mengalami perubahan fisik dan kinerja akibat dari gangguan air dan temperatur tinggi.

Sejalan dengan penelitian Zhang dkk (2019), campuran *WMA* dengan penambahan *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai *TSR* 85,5%, lebih tinggi dari pada campuran *WMA* kontrol (tanpa aditif) sebesar 83,2%. Peningkatan ini karena kandungan surfaktan kationik pada *Rediset LQ-1106* berperan sebagai *anti-stripping*, sehingga meningkatkan adhesi antara aspal dan agregat yang meningkatkan ketahanan terhadap air serta temperatur tinggi. Penelitian Ikpugha (2014) menyimpulkan bahwa nilai *TSR* pada campuran aspal *WMA* dengan *Rediset LQ-1106* adalah sebesar 105%, lebih besar dari pada campuran aspal kontrol yaitu 60% dan campuran aspal dengan aditif *Evotherm* yaitu sebesar 89%. Hal ini karena *Rediset LQ-1106* adalah aditif campuran hangat yang mengandung bahan kimia surfaktan yang mengurangi tegangan permukaan pengikat aspal dan memudahkan pelapisan agregat, sehingga menyebabkan ikatan kimia yang tinggi terbentuk antara aspal dan agregat serta tahan terhadap air dan temperatur.

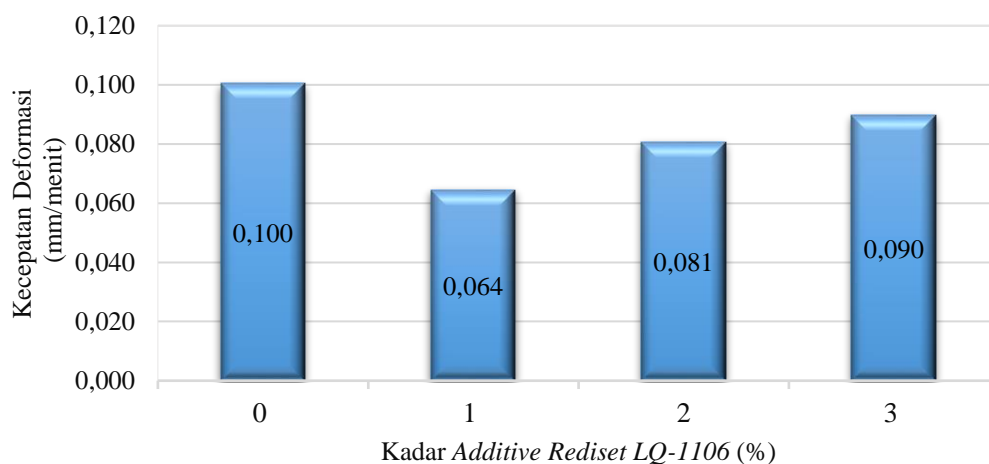
AAPA (2004) tidak mensyaratkan nilai *TSR* untuk campuran aspal porus karena hanya bersifat fungsional atau non struktural, sedangkan *Asphalt Institute* mensyaratkan nilai *TSR* yaitu >80% untuk campuran struktural, oleh karena itu nilai *TSR* >80% tidak bisa digunakan sebagai acuan untuk campuran aspal porus yang mempunyai spesifikasinya lebih rendah berdasarkan metode *AAPA* 2004. Sejalan dengan penelitian Masri dkk (2019) dan Cetin (2013), campuran aspal porus dengan nilai *TSR* lebih besar dari 70% masih dapat diterima, karena campuran aspal porus mempunyai kadar rongga yang besar sebagai fungsi drainase. Oleh karena itu, dari hasil pengujian campuran aspal porus dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 0% dan 1% didapat nilai *TSR* >70% yang menunjukkan campuran aspal porus mempunyai ketahanan terhadap rendaman air dan temperatur.

5.2.8 Karakteristik *Wheel Tracking* Campuran Aspal Porus dengan Bahan Tambah *Rediset LQ-1106* pada KAO

Pengujian dengan *Wheel Tracking Machine (WTM)* digunakan untuk mendapatkan hasil pengujian terhadap deformasi permanen yang dipandang bisa mensimulasikan kondisi lapangan yang terjadi pada perkerasan akibat lintasan kendaraan. Adapun hasil pengujian *Wheel Tracking* dapat dilihat pada **Gambar 5.25** dan **Gambar 5.26** berikut.

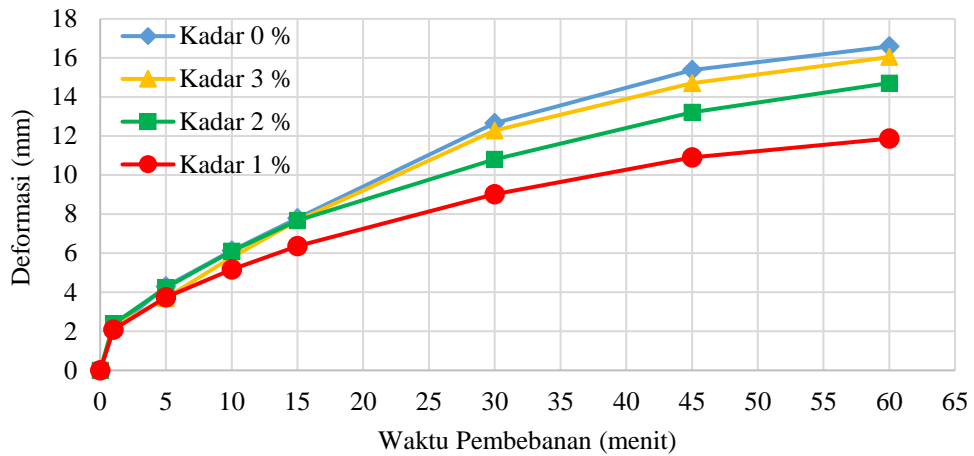


Gambar 5.25 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai Stabilitas Dinamis

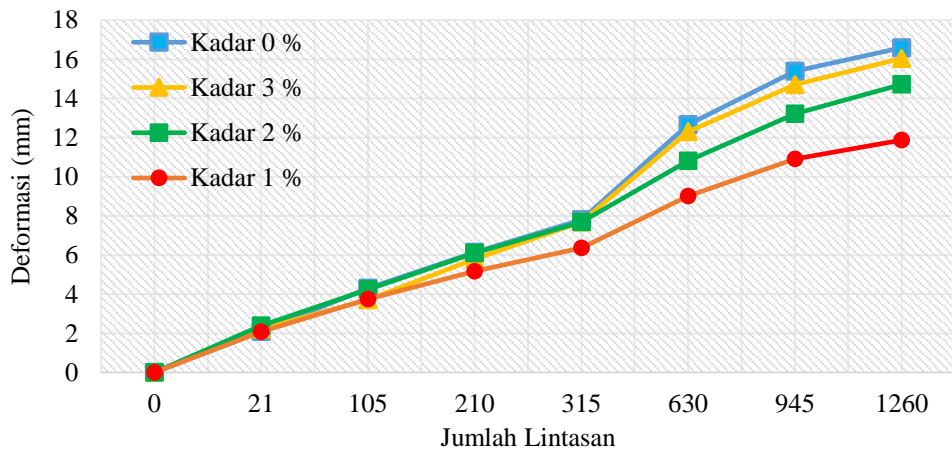


Gambar 5.26 Perbandingan Hasil Penambahan Kadar *Rediset LQ-1106* dengan Nilai Kecepatan Deformasi

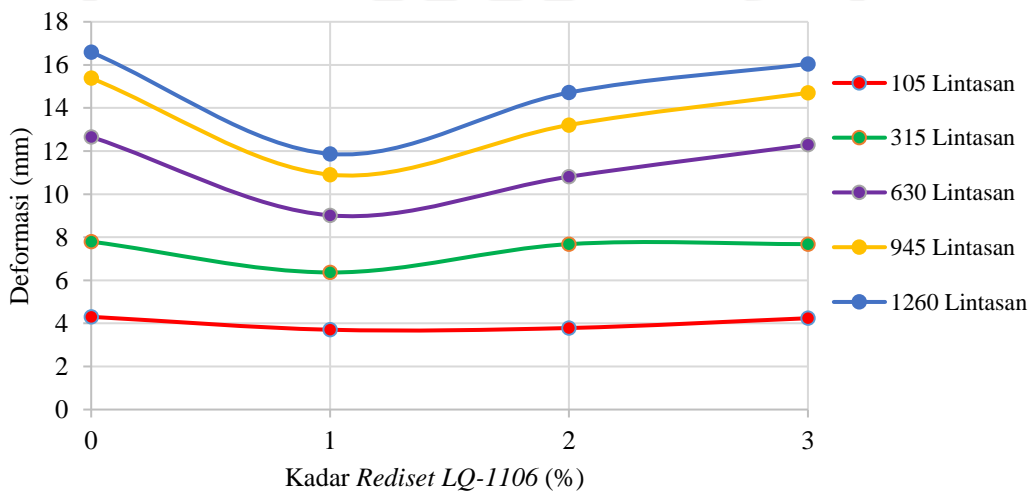
Berdasarkan Gambar 5.25 dan Gambar 5.26 dapat dijelaskan bahwa berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking Machine* dengan suhu 60°C, penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan nilai stabilitas dinamis dan menurunkan kecepatan deformasi campuran aspal porus. Peningkatan tertinggi ditunjukkan pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% sebesar 35,88% dengan nilai stabilitas dinamis yaitu 652,85 lintasan/mm dan kecepatan deformasi paling kecil yaitu 0,064 mm/menit, sedangkan aspal porus kontrol dengan kadar *Rediset LQ-1106* 0% mempunyai nilai stabilitas 418,60 lintasan/mm dengan nilai kecepatan deformasi 0,100 mm/menit. Hal ini dikarenakan aspal dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai kekakuan bahan ikat paling besar berdasarkan perhitungan *stiffness modulus bitumen* pada Tabel 5.18, sehingga kemampuan mencegah terjadinya deformasi semakin besar dan ketahanan terhadap temperatur meningkat, serta penambahan *Rediset LQ-1106* menurunkan kadar rongga berdasarkan nilai *VIM* dan *VMA* semakin kecil serta nilai *VFMA* dan *density* semakin besar pada Tabel 5.11 menyebabkan kemampuan aspal mengikat agregat dalam mempertahankan posisinya semakin bertambah dan mempunyai sifat saling mengunci (*interlock*) yang baik. Namun, semakin tinggi kadar *Rediset LQ-1106* menyebabkan kekakuan bahan ikat campuran semakin berkurang, sehingga mengakibatkan stabilitas campuran juga akan menurun dalam menahan beban dan berdeformasi lebih besar. Adapun nilai penurunan deformasi setelah dilakukan pengujian *Wheel Tracking Machine* bisa dilihat pada **Gambar 5.27** sampai **Gambar 5.29** berikut.



Gambar 5.27 Hubungan Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Waktu Pembebanan dan Deformasi pada Campuran Aspal Porus



Gambar 5.28 Hubungan Jumlah Lintasan dan Nilai Deformasi pada Campuran Aspal Porus



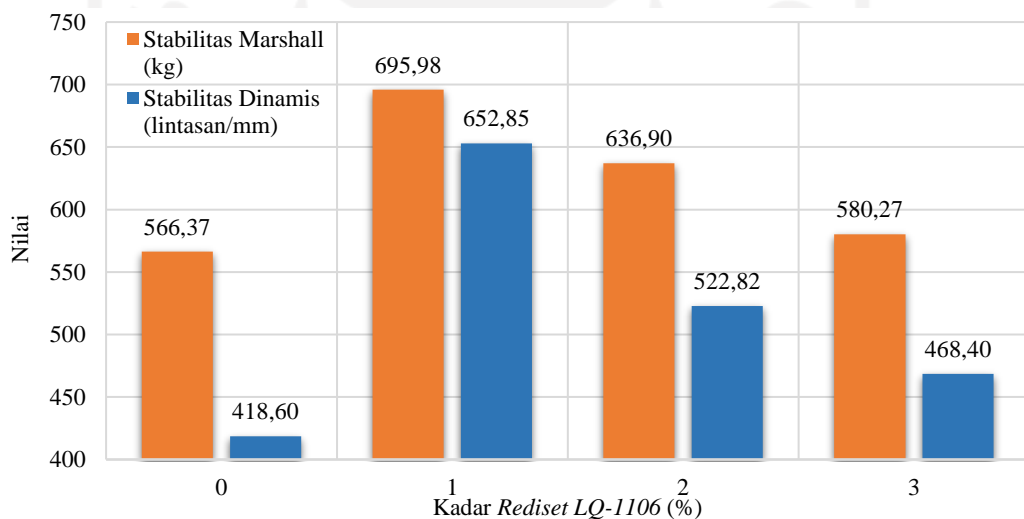
Gambar 5.29 Hubungan Penambahan *Rediset LQ-1106* dengan Nilai Deformasi pada Campuran Aspal Porus

Berdasarkan Gambar 5.27 sampai Gambar 5.29 dapat dijelaskan bahwa semakin besar kadar *Rediset LQ-1106*, jumlah lintasan berulang dan lamanya waktu pembebanan yang dilakukan akan meningkatkan nilai deformasi campuran aspal porus. Nilai deformasi tertinggi hingga terendah secara berurutan yaitu pada campuran aspal porus dengan kadar *Rediset LQ-1106* 0%, 3%, 2% dan yang tertinggi pada kadar 1% dengan masing-masing nilai deformasi sebesar 16,59 mm, 16,05 mm, 14,72 mm dan 11,87 mm. Pada campuran aspal porus nilai deformasi akan meningkat seiring dengan peningkatan kadar aditif *Rediset LQ-1106*, bila dibandingkan deformasi yang terjadi pada campuran aspal porus kadar 0% sebagai kontrol. Berdasarkan Gambar 5.27, Gambar 5.28 dan Gambar 5.29 terlihat jelas jika campuran aspal porus dengan kadar 1% mempunyai hasil deformasi yang paling kecil yaitu 11,76 mm dengan demikian campuran aspal porus kadar aditif 1% mempunyai ketahanan yang lebih baik terhadap deformasi dibandingkan campuran aspal porus dengan kadar 0%, 2% dan 3%. Hal tersebut dikarenakan fungsi *Rediset LQ-1106* yang mudah larut dalam aspal memberikan lapisan kimia untuk meningkatkan kerekatan aspal dengan permukaan agregat sehingga ketika dibebani berulang tidak mudah mengalami penurunan (deformasi).

Sejalan dengan penelitian Zhang dkk (2019), campuran WMA dengan kadar aditif *Rediset LQ-1106* 1% mempunyai nilai stabilitas dinamis paling tinggi yaitu 1583 lintasan/mm dan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3% dengan nilai stabilitas dinamis yaitu 1486 lintasan/mm dan 1432 lintasan/mm, menyebabkan deformasi yang terjadi pada campuran WMA *Rediset LQ-1106* 1% lebih kecil dari pada campuran WMA dengan kadar *Rediset LQ-1106* 2% dan 3%. Hal ini terjadi karena ketahanan *rutting* campuran aspal terutama ditentukan oleh gesekan antar muka agregat dan aspal, namun aditif *Rediset LQ-1106* mengandung surfaktan jika ditambahkan terlalu banyak akan mengurangi gesekan antar muka antara agregat dan aspal mengubah sifat aspal menjadi pelicin. Penelitian Bennert dkk (2011), mengevaluasi tentang pengaruh kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan 2% pada sifat kekakuan campuran aspal dengan temperatur pencampuran yang berbeda yaitu 315°F, 275°F dan 110,8°F dan suhu pengujian 4°C, 20°C dan 45°C menunjukkan hasil bahwa modulus dinamis campuran aspal dengan kadar *Rediset LQ-1106* 2% lebih rendah dari pada campuran yang menggunakan kadar *Rediset LQ-1106* 1%, sehingga mengakibatkan

potensi terjadinya deformasi, *rutting* dan kelelahan pada campuran dengan kadar *Rediset LQ-1106* 2% juga semakin besar dibandingkan dengan campuran dengan kadar *Rediset LQ-1106* 1%. Menurut AkzoNobel (2015), *Rediset LQ-1106* meningkatkan ketahanan deformasi yang dibuktikan dengan pengujian *Hamburg Wheel Tracking*, campuran SMA dengan bahan ikat PG 76-22 yang ditambah *Rediset LQ-1106* mengalami deformasi sebesar 6 mm, sedangkan untuk campuran SMA kontrol mempunyai deformasi 9 mm dengan banyak lintasan 20.000. Hal ini terjadi karena *Rediset LQ-1106* mempunyai keunggulan meningkatkan kemampuan kerja dan pemadatan yang merata pada suhu rendah, adhesi aktif yang memungkinkan pelapisan agregat untuk mencegah pengelupasan dan meningkatkan *moisture resistance* jangka panjang.

Berdasarkan pengujian telah yang dilakukan untuk melihat hasil perbandingan stabilitas *Marshall* dengan stabilitas dinamis terhadap pengaruh penambahan *Rediset LQ-1106* pada campuran aspal porus dapat dilihat pada **Gambar 5.29** berikut.



Gambar 5.30 Perbandingan Stabilitas *Marshall* dengan Stabilitas Dinamis

Berdasarkan Gambar 5.29 dapat dijelaskan bahwa penambahan aditif *Rediset LQ-1106* meningkatkan nilai stabilitas *Marshall* dan stabilitas dinamis pada campuran aspal porus dengan *trend* yang sama. Peningkatan tertinggi ditunjukkan pada penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan akan semakin menurun dengan meningkatnya kadar *Rediset LQ-1106*. Hal ini berdasar kajian sebelumnya yang menyatakan bahwa penambahan aditif 1% merupakan kadar optimum penambahan *Rediset LQ-1106*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis perhitungan dari karakteristik campuran aspal porous dengan menggunakan *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah campuran pada kadar aspal optimum dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Penambahan *Rediset LQ-1106* meningkatkan kinerja campuran aspal porous. Peningkatan nilai stabilitas tertinggi diperoleh sebesar 18,62%, yaitu pada kadar penambahan *Rediset LQ-1106* 1%. Nilai stabilitas dan *MQ* menunjukkan perubahan yang signifikan, sedangkan nilai *flow*, *VIM*, *VFMA*, *VMA* dan *density* tidak berubah secara signifikan.
2. Berdasarkan hasil pengujian perendaman *Marshall (IRS)* penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% menunjukkan peningkatan durabilitas pada campuran aspal porous, akan tetapi perubahan yang terjadi tidak signifikan. Nilai *IRS* yang diperoleh dari semua variasi campuran memenuhi persyaratan Bina Marga yaitu >90%.
3. Campuran aspal porous dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% menunjukkan perubahan nilai *ITS* yang signifikan yaitu sebesar 20,14% dan akan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*.
4. Campuran aspal porous dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% menunjukkan peningkatan ketahanan gaya tarik akibat rendaman pada temperatur tinggi (*TSR*), dan semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*.
5. Berdasarkan hasil pengujian *Wheel Tracking* penambahan *Rediset LQ-1106* meningkatkan stabilitas dinamis secara signifikan yaitu sebesar 35,88% pada kadar *Rediset LQ-1106* 1% dan menunjukkan *trend* semakin menurun dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*.
6. Penambahan *Rediset LQ-1106* pada campuran aspal porous menurunkan kecepatan deformasi secara signifikan yang menunjukkan ketahanan campuran dalam menerima beban semakin baik. Nilai kecepatan deformasi terkecil yaitu

dengan penambahan kadar *Rediset LQ-1106* 1% sebesar 0,064 mm/menit dan semakin meningkat dengan bertambahnya kadar *Rediset LQ-1106*.

6.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian penggunaan *Rediset LQ-1106* sebagai bahan tambah campuran aspal porous dengan bahan ikat aspal pen 60/70, maka penulis memberikan beberapa saran sebagai berikut.

1. *Rediset LQ-1106* dapat digunakan sebagai bahan tambah aditif pada campuran aspal porous, tetapi dengan kadar maksimum 1% terhadap berat aspal.
2. Perlu dilakukan pengujian lebih lanjut seperti Permeabilitas, *Modulus Resilien*, *Scanning Electron Microscopy (SEM) Test* dan *Energy Dispersive X-ray Spectroscopy Analysis (EDX)* pada campuran aspal porous dengan bahan tambah *Rediset LQ-1106*.
3. Campuran aspal porous dengan penambahan *Rediset LQ-1106* dapat di aplikasi pada ruas jalan di Indonesia, khususnya pada wilayah yang memiliki curah hujan yang tinggi sebagai lapisan atas (*surface*), karena memiliki sifat fungsional (non struktural) dan harus didukung dengan jenis perkerasan struktural yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 305-14. *Standard Method of Test for Determination of Drain Down Characteristics in Uncompacted Asphalt Mixtures.*
- AkzoNobel. (2011). *Product Datasheet Asphalt Applications.* Netherlands.
- AkzoNobel. (2012). *Rediset LQ Liquid Warm-Mix System.* Netherlands.
- AkzoNobel. (2015). *Superior Warm-Mix Additives for Exceptional Coating, Compaction, and Moisture Resistance.* Netherlands.
- American Society for Testing and Materials. (2015). *ASTM C-131 Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Angeles Machine.* West Conshohocken: ASTM International.
- Aminsyah, Y. (2017). Prediction of Service Live of Asphalt Concrete Wearing Course Using Wheel Tracking Test Data For Temperature Variation In Mixing and Compaction. *International Journal of Civil Engineering and Technology*, 8 (10), 1039-1049.
- Aquina , H. (2014). Pengaruh Substitusi Styrofoam ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Tesis.* Magister Teknik Sipil, Universitas Syiah Kuala, D.I. Aceh.
- Arsyad, A. (2012). Pengaruh Penambahan Anti Stripping (Wetfix Be) Terhadap Aspal Porus dengan Menggunakan Bahan Pengikat Liquid Asbuton. *Jurnal Tugas Akhir.* Universitas Hasanudin, Makassar.
- Asphalt Institute. (1982). *Research and Development of The Asphalt Institute's Thickness Design Manual.* (MS-1), Ninth Edition, Research Report kR 82-2, College Park, Maryland.
- Asphalt Institute. (2001). *Construction of Hot Mix Asphalt Pavements, Manual Series No. 22 (MS-22).* Second Edition, Lexington, USA.
- Australian Asphalt Pavement Association. (2004). *National Asphalt Specification.*
- Bennert, T. (2012). Evaluation of Warm Asphalt Technology. *Advanced Infrastructure and Transportation, FHWA-NJ-2011-005.* The State University of New Jersey, New York.

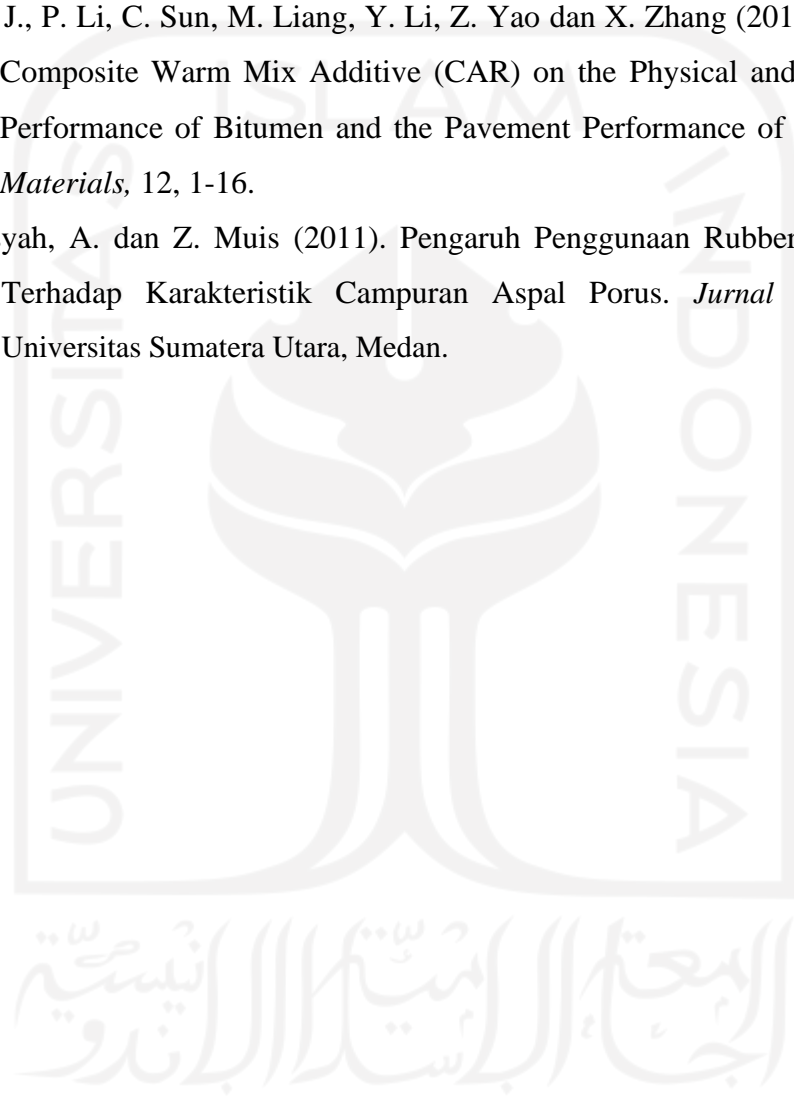
- Bennert, T., A. Maher dan R. Sauber (2011). Influence of Production Temperature and Aggregate Moisture Content on The Initial Performance of Warm Mix Asphalt. *Journal of the Transportation Research Board*, 2208 (1), 97–107.
- Capitao, C. D., L.G. Santos dan F. Martinho (2012). Pavement Engineering Materials: Review On The Use Of Warm-Mix Asphalt. *Construction and Building Materials*, 36 (2012), 1016–1024.
- Cetin, A. (2013). Effects of Crumb Rubber Size and Concentration on Performance of Porous Asphalt Mixtures. *International Journal of Polymer Science*, 2013, 789612, 1-10, Anadolu University, Turkey.
- Chaturabong, P. dan H. Bahia (2017). Mechanisms of Asphalt Mixture Rutting In The Dry Hamburg Wheeltracking Test and The Potential to be Alternative Test In Measuring Rutting Resistance. *Construction and Building Materials*, 146, 175-182.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2004). *Campuran Beraspal Panas dengan Aspal yang Dimodifikasi Crumb Rubber atau Asbuton dengan Crumb Rubber*. Jakarta.
- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. Departemen Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Djakfar, L., H. Bowoputro dan Y. Zaika (2013). Evaluation of the Use of Steel Slag and Pyrophyllite Materials in the Porous Asphaltmix. *Journal of Scientific*, 18 (11), 1524-1529.
- Djumari dan S. Djoko (2009). Perencanaan Gradasi Aspal Porus Menggunakan Material. *Media Teknik Sipil*, IX (1412-0976), 9-14. Universitas Sebelas Maret, Solo.
- Falderika. (2004). Evaluasi Modulus Resilien dan Deformasi Permanan Campuran Aspal Porus Pen 60 / 70 dengan Bahan Tambah Buton Natural Asphalt (BNA) Evaluation of Resilient Modulus and Permanent Deformation of Mixture Porous Asphalt Pen 60 / 70 and Buton Natural Asphalt. VII, 22-26.
- Fauziah, M. dan F. S. Wijayati (2016). Pengaruh Kadar Limbah Kaca Sebagai Substitusi Agregat. *Jurnal Teknisia*, XXI (0853-8557), 261-273. Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta.

- Gupta, A., J. H. Rodriguez dan D. C. Fresno (2019). Incorporation of Additives and Fibers in Porous Asphalt Mixtures: A Review. *materials*, 12 (3156), 1-20.
- Gusti, I. (2018). Perancangan Warm Mix Asphalt untuk Campuran Lapis AUS (AC-WC) Menggunakan Aspal Pen 60/70 dengan Aditif Zycotherm. *INERSIA*, XIV (1), 48-60.
- Hamzah, M., B. Golchin, A. Jamshidi dan E. Chailleux (2015). Evaluation of Rediset For Use in Warm-Mix Asphalt: A Review of The Literatures. *International Journal of Pavement Engineering*, 1072954, 37-41.
- Hamzah, M., B. Golchin dan C.T. Tye (2013). Determination of the optimum binder content of warm mix asphalt incorporating rediset using response surface method. *Construction and Building Materials*, 47, 1328–1336.
- Han, J. dan H. Shiwakoti (2016). Wheel Tracking Methods to Evaluate Moisture Sensitivity of Hot-Mix Asphalt Mixtures. *Frontiers of Structural and Civil Engineering*, 10 (1), 30-43.
- Ikpugha, O. J. (2014). Performance Testing of Asphalt Concrete Containing Crumb Rubber Modifier and Warm Mix Additives. *Thesis*, Department of Chemistry, Queen's University, Canada.
- Japan Road Association. (1980). *Manual For Design and Construction of Asphalt Pavement*. JRA: Tokyo.
- Khairuddin, H. F., M. Y. Alamawi, N. I. Yusof, H. K. Badri, H. Ceylan dan S. N. Tawil (2019). Physicochemical and Thermal Analyses of Polyurethane Modified Bitumen Incorporated with Cecabase and Rediset: Optimization Using Response Surface Methodology. *Fuel*, 256 (115662), 1-16.
- Kilas, M., A. Vaitkus dan M. Paliukaite (2010). Warm mix asphalts research, analysis and evaluation. 10th International Conference Modern Building Materials, Structures, and Techniques.
- Leng, Z., A. Gamez dan I. Al-Qadi (2014). Mechanical Property Characterization of Warm-Mix Asphalt Prepared with Chemical Additives. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 26, 304-311.
- Masri, K. A., H. Awang, R. P. Jaya, M. I. Ali, N. I. Ramli, dan A. K. Arshad (2019). Moisture Susceptibility of Porous Asphalt Mixture with Nano Silica

- Modified Asphalt Binder. *National Colloquium on Wind & Earthquake Engineering*, 244, 012028, 1-6.
- Noris, T. (2017). Analisis Pemanfaatan Limbah Styrofoam Sebagai Bahan Substitusi ke dalam Aspal Penetrasi 60/70 Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 01 (01), 65-70. Universitas Negeri Surabaya, Surabaya.
- Nurchaya, A., H. Rahman, B. S. Subagio dan W. Weningtyas (2015). Analisis Kinerja Campuran Aspal Porus Menggunakan Aspal Pen 60/70 dan Aspal Modifikasi Polimer Elvaloy. Magister Sistem Teknik dan Jalan Raya, Institute Teknologi Bandung. Bandung.
- Prabowo, A. H. (2003). Pengaruh Rendaman Air Laut Pasang (ROB) Terhadap Kinerja Lataston (HRS-WC) berdasarkan Uji Marshall dan Uji Durabilitas. *Pilar*, 12 (2), 89-98.
- Prastanto, H., A. Cifriadi dan A. Ramadhan (2015). Karakteristik dan Hasil Uji Marshall Aspal Termodifikasi Dengan Karet Alam Terdepolimerisasi Sebagai Aditif. *Jurnal Penelitian Karet*, 33 (1), 75-82.
- Prawiro, B. dan N. Pasca (2014). Pengaruh Penggunaan Limbah Beton sebagai Agregat Kasar pada Campuran Aspal Porus dengan Tambahan Gilsonite. *Jurnal Tugas Akhir*, 1-10.
- Rahmad, S., N. I. Yusoff, S. A. Rosyidi, K. H. Badri dan I. Widyatmoko (2020). Effects of Rediset on the Adhesion, Stripping, Thermal and Surface Morphologies of PG76 Binder. *Construction and Building Materials journal*, 241, 1-12.
- Rahmad, S., S. M. Fadzil, N. I. M. Yosuff dan K. H. Badri (2020), The Effects of Polymer Modified Asphalt Binder Incorporating with Chemical Warm Mix Additive Towards Water Quality Degradation. *Journal of Cleaner Production*, 279, 1-14.
- Ramadhan, N. dan R. Reza (2014). Pengaruh Penambahan Additive Gilsonite HMA Modifier Grade Terhadap Kinerja Aspal Porus. *Jurnal Tugas Akhir*, 1-12, Universitas Brawijaya, Malang.

- Saleh, S., R. Anggraini dan H. Aquina (2014). Karakteristik Campuran Aspal Porus dengan Substitusi Styrofoam pada Aspal Penetrasi 60/70. *Jurnal Teknik Sipil*, 21 (3), 241-250, Universitas Syiah Kuala, Banda Aceh
- Shukry, N. A., N. A. Hassan, M. R. Hainin, M. E. Abdullah, N. M. Abdullah dan N. Mashros (2016). Experimental Evaluation Of Anti- Stripping Additives On Porous Asphalt Mixtures. *Jurnal Teknologi*, 2 (78), 113-119.
- Standar Nasional Indonesia. (2003). *RSNI M-01-2003, Metode Pengujian Campuran Beraspal Panas dengan Alat Marshall*. Badan Standarisasi Nasional. Jakarta.
- Standar Nasional Indonesia. (2015). *SNI 6753:2015, Cara Uji Ketahanan Campuran Beraspal Panas Terhadap Kerusakan Akibat Rendaman*. Badan Standarisasi Nasional, Jakarta.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor. Indonesia.
- Suparma. (2001). The Use of Recycled Waste Plastics in Bituminous Composites. *Thesis*. The University of Leeds School of Civil Engineering, UK.
- Tahir, A. dan A. Setiawan (2009). Kinerja durabilitas campuran beton aspal ditinjau dari faktor variasi suhu pemadatan dan lama perendaman. *Jurnal SMARTek*, 7 (1), 45-61, Universitas Tadulako, Palu.
- Tajudin, A. dan L. Suparma (2017). Pengaruh Rendaman pada Indirect Tensile Strength Campuran AC-BC dengan Limbah Plastik sebagai Agregat. *Media Komunikasi Teknik Sipil*, 23 (2), 166-173, Universitas Gajah Mada, Yogyakarta.
- Vahora, S. I dan C. B. Mishra (2017). Investigating the Performance of Warm Mix Additives. *International Journal of Current Engineering and Technology*, 7 (3), 1-5.
- Widyastuti, S., A. Setyawan dan A. Sumarsono (2013). Desain Aspal Porus Menggunakan Gravel Bergradasi Seragam yang Ramah Lingkungan. *e-Jurnal Matriks Teknik Sipil*, 192-198.
- Xie, Z. dan J. Shen (2014). Laboratory Investigation of the Effect of Warm Mix Asphalt (WMA) Additives on the Properties of WMA Used in China. *Journal of Testing and Evaluation*, 42 (5), 1 - 8.

- Yongchun, C., C. Chai, C. Liang dan Y. Chen (2019). Mechanical Performance of Warm-Mixed Porous Asphalt Mixture with Steel Slag and Crumb-Rubber-SBS Modified Bitumen for Seasonal Frozen Regions. *Materials*, 12 (857).
- Zhang, J., G. D. Airey, J. Grenfell dan Z. Yao (2017). Laboratory Evaluation of Rediset Modified Bitumen Based on Rheology and Adhesion Properties. *Construction Build*, 152, 683–692.
- Zhang, J., P. Li, C. Sun, M. Liang, Y. Li, Z. Yao dan X. Zhang (2019). Effects of Composite Warm Mix Additive (CAR) on the Physical and Rheological Performance of Bitumen and the Pavement Performance of Its Concrete. *Materials*, 12, 1-16.
- Zuliansyah, A. dan Z. Muis (2011). Pengaruh Penggunaan Rubberized Asphalt Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Porus. *Jurnal Teknik Sipil*, Universitas Sumatera Utara, Medan.





LAMPIRAN

Lampiran 1 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2020

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	12,42	12,7
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	24,56	25,39
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	12,14	12,69
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	12,78	13,3
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	0,36	0,6
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	24,54	25,47
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	11,76	12,17
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	0,38	0,52
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	0,9474	1,1538
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,0506	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 2 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Modifikasi

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	24,8	23,69
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	49,31	48,9
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	24,51	25,21
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	25,6	23,89
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	0,8	0,2
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	49,34	48,91
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	23,74	25,02
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	0,77	0,19
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	1,039	1,052
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,0458	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 2%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	13,58	12,44
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	25,97	24,51
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	12,39	12,07
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	15,87	14,75
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	2,29	2,31
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	25,69	24,85
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	9,82	10,01
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2,57	1,97
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	0,89	1,17
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,038	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL MODIFIKASI


Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

No.	Pemeriksaan	Sampel	
		1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	13,58	12,44
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	26,87	24,51
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	13,29	12,07
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	16,03	14,67
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	2,45	2,23
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	26,35	24,92
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	10,32	10,25
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2,97	1,82
9	Berat Jenis Aspal = Berat / Vol (5/8)	0,82	1,22
10	Rata-Rata Berat Jenis Aspal	1,025	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 3 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap


Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27 ^o C	13.00 WIB
	Selesai	50 ^o C	13.30 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	50 ^o C	13.30 WIB
	Selesai	27 ^o C	15.00 WIB
3.	Diperiksa		
	Mulai	5 ^o C	15.00 WIB
	Selesai	51 ^o C	15.45 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	5 ^o C				
2.	10 ^o C	137	137,4		
3.	15 ^o C	208	207,6		
4.	20 ^o C	308	307,8		
5.	25 ^o C	371	371,4		
6.	30 ^o C	442	442,2		
7.	35 ^o C	514	513,6		
8.	40 ^o C	610	609,6		
9.	45 ^o C	678	669,6		
10.	50 ^o C	732	732	49	49
Rata-rata				49	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 4 Pemeriksaan Titik Lembek Aspal Modifikasi

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji	Mulai	27 ^o C
		Selesai	50 ^o C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	50 ^o C
		Selesai	27 ^o C
3.	Diperiksa	Mulai	5 ^o C
		Selesai	51 ^o C

HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^o C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	5 ^o C				
2.	10 ^o C	103	103		
3.	15 ^o C	209	209		
4.	20 ^o C	301	301		
5.	25 ^o C	386	386		
6.	30 ^o C	464	464		
7.	35 ^o C	664	664		
8.	40 ^o C	666	666		
9.	45 ^o C	766	766		
10.	50 ^o C	823	823	50	50
Rata-rata				50	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

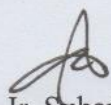
Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27 ^o C	13.00 WIB
	Selesai	50 ^o C	13.30 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	50 ^o C	13.30 WIB
	Selesai	27 ^o C	15.00 WIB
3.	Diperiksa		
	Mulai	5 ^o C	15.00 WIB
	Selesai	51 ^o C	15.45 WIB


HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^o C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	5 ^o C				
2.	10 ^o C	181	181		
3.	15 ^o C	275	275		
4.	20 ^o C	376	376		
5.	25 ^o C	488	488		
6.	30 ^o C	604	604		
7.	35 ^o C	727	727		
8.	40 ^o C	807	807		
9.	45 ^o C	859	859	45	45
Rata-rata				45	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T

Peneliti


Eza Marizka

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap


Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	27 ^o C	13.00 WIB
	Selesai	50 ^o C	13.30 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	50 ^o C	13.30 WIB
	Selesai	27 ^o C	15.00 WIB
3.	Diperiksa		
	Mulai	5 ^o C	15.00 WIB
	Selesai	51 ^o C	15.45 WIB

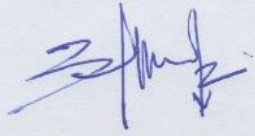
HASIL PENGAMATAN

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (^o C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	5 ^o C				
2.	10 ^o C	192	192		
3.	15 ^o C	278	278		
4.	20 ^o C	379	379		
5.	25 ^o C	492	492		
6.	30 ^o C	607	607		
7.	35 ^o C	694	694		
8.	40 ^o C	807	807		
9.	45 ^o C	963	963	42	42
Rata-rata				42	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T

Peneliti


Eza Marizka

Lampiran 5 Pemeriksaan Daktilitas

PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

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

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1.	Sampel 1	164 cm	Tidak putus
2.	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T

Peneliti


Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 6 Pemeriksaan Daktilitas Aspal Modifikasi

PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%, 2% dan 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

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

HASIL PEMERIKSAAN

No	Benda uji	Hasil Pengujian	Keterangan
1.	Sampel 1	164 cm	Tidak putus
2.	Sampel 2	164 cm	Tidak putus

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 7 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan benda uji	Mulai	25 °C
		Selesai	150 °C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	150 °C
		Selesai	25 °C
3.	Diperiksa	Mulai	25 °C
		Selesai	331 °C

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1.	Benda uji 1	285 °C	295 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 8 Pemeriksaan Titik Nyala & Titik Bakar Aspal Modifikasi
PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan benda uji	Mulai	25 °C
		Selesai	150 °C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	150 °C
		Selesai	25 °C
3.	Diperiksa	Mulai	25 °C
		Selesai	331 °C

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1.	Benda uji 1	289 °C	298 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 2228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 2%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan benda uji	Mulai	25 °C
		Selesai	150 °C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	150 °C
		Selesai	25 °C
3.	Diperiksa	Mulai	25 °C
		Selesai	331 °C

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1.	Benda uji 1	303 °C	310 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN TITIK NYALA & TITIK BAKAR ASPAL MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. Waktu
1.	Pemanasan benda uji	Mulai	25 °C
		Selesai	150 °C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	150 °C
		Selesai	25 °C
3.	Diperiksa	Mulai	25 °C
		Selesai	331 °C

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala	Titik Bakar
1.	Benda uji 1	310 °C	319 °C

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 9 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1.	Penimbangan	Mulai	11.00 WIB	27°C
2.	Pelarutan	Mulai	11.05 WIB	27°C
3.	Penyaringan	Mulai	11.10 WIB	27°C
		Selesai	11.30 WIB	27°C
4.	Dioven	Mulai	11.30 WIB	110°C
5.	Penimbangan	Selesai	11.52 WIB	27°C

HASIL PEMERIKSAAN


No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat erlen meyer kosong	68,87	73,49
2.	Berat erlen meyer kosong + Aspal	69,79	75,01
3.	Berat Aspal (2-1)	0,92	1,52
4.	Berat kertas saring bersih	0,61	0,6
5.	Berat kertas saring bersih + mineral	0,62	0,61
6.	Berat mineral (5-4)	0,01	0,01
7.	Persentase mineral (6/3x100%)	1,08	0,65
8.	Aspal yang larut (100%-7)	98,91	99,34
9.	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,12	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 10 Pemeriksaan Kelarutan Aspal Dalam CCL4/TCE Aspal

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL
MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1.	Penimbangan	Mulai	11.00 WIB	27 ^o C
2.	Pelarutan	Mulai	11.05 WIB	27 ^o C
3.	Penyaringan	Mulai	11.10 WIB	27 ^o C
		Selesai	11.30 WIB	27 ^o C
4.	Di Oven	Mulai	11.30 WIB	110 ^o C
5.	Penimbangan	Selesai	11.52 WIB	27 ^o C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat erlen meyer kosong	75,21	73,46
2.	Berat erlen meyer kosong + Aspal	77,29	75,48
3.	Berat Aspal (2-1)	2,08	2,02
4.	Berat kertas saring bersih	0,58	0,6
5.	Berat kertas saring bersih + mineral	0,6	0,62
6.	Berat mineral (5-4)	0,02	0,02
7.	Persentase mineral (6/3x100%)	0,962	0,990
8.	Aspal yang larut (100%-7)	99,038	99,010
9.	Rata-rata Aspal yang larut (%)	99,024	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL
MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 2%
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tahun Uji : 2021


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1.	Penimbangan	Mulai	11.00 WIB	27 ^o C
2.	Pelarutan	Mulai	11.05 WIB	27 ^o C
3.	Penyaringan	Mulai	11.10 WIB	27 ^o C
		Selesai	11.30 WIB	27 ^o C
4.	Di Oven	Mulai	11.30 WIB	110 ^o C
5.	Penimbangan	Selesai	11.52 WIB	27 ^o C

HASIL PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat erlen meyer kosong	75,22	75,22
2.	Berat erlen meyer kosong + Aspal	77,3	77,31
3.	Berat Aspal (2-1)	2,08	2,09
4.	Berat kertas saring bersih	0,55	0,56
5.	Berat kertas saring bersih + mineral	0,62	0,61
6.	Berat mineral (5-4)	0,07	0,05
7.	Persentase mineral (6/3x100%)	3,365	2,392
8.	Aspal yang larut (100%-7)	96,635	97,608
9.	Rata-rata Aspal yang larut (%)	97,121	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN KELARUTAN ASPAL DALAM CCL4/TCE ASPAL
MODIFIKASI

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021


PERSIAPAN PEMERIKSAAN

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu	Suhu
1.	Penimbangan	Mulai	11.00 WIB	27°C
2.	Pelarutan	Mulai	11.05 WIB	27°C
3.	Penyaringan	Mulai	11.10 WIB	27°C
		Selesai	11.30 WIB	27°C
4.	Di Oven	Mulai	11.30 WIB	110°C
5.	Penimbangan	Selesai	11.52 WIB	27°C

HASIL PEMERIKSAAN

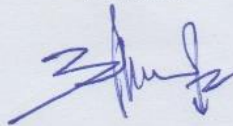
No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1.	Berat erlen meyer kosong	68,9	68,9
2.	Berat erlen meyer kosong + Aspal	70,99	71,01
3.	Berat Aspal (2-1)	2,09	2,11
4.	Berat kertas saring bersih	0,55	0,55
5.	Berat kertas saring bersih + mineral	0,61	0,62
6.	Berat mineral (5-4)	0,06	0,07
7.	Persentase mineral (6/3x100%)	2,871	3,318
8.	Aspal yang larut (100%-7)	97,129	96,682
9.	Rata-rata Aspal yang larut (%)	96,906	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 11 Pemeriksaan Penetrasi Aspal

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106*

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	
1.	Pemanasan Benda Uji			
		Mulai	25 °C	10.45 WIB
		Selesai	130 °C	11.10 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang			
		Mulai	130 °C	11.00 WIB
		Selesai	25 °C	13.30 WIB
3.	Diperiksa			
		Mulai	25 °C	13.30 WIB
		Selesai	25 °C	14.00 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	(mm)	(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	63	64		
2.	64	62		
3.	62	63		
4.	63	64		
5.	63	63		
Rata2	63	63,2		
Rerata	63,1			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 12 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Modifikasi

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI


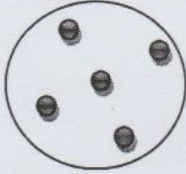
Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 1%

Sumber : Pertamina, Cilacap


Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu
1.	Pemanasan Benda Uji	Mulai	25 °C
		Selesai	130 °C
			10.45 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	130 °C
		Selesai	25 °C
			11.10 WIB
3.	Diperiksa	Mulai	11.00 WIB
		Selesai	25 °C
			13.30 WIB
		Mulai	25 °C
		Selesai	25 °C
			13.30 WIB
			14.00 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	(mm)	(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	61	62		
2.	61	63		
3.	60	61		
4.	60	60		
5.	62	61		
Rata2	60,8	61,4		
Rerata	61,1			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI



Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 2%

Sumber : Pertamina, Cilacap

Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu	
1.	Pemanasan Benda Uji			
		Mulai	25 °C	10.45 WIB
		Selesai	130 °C	11.10 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang			
		Mulai	130 °C	11.00 WIB
		Selesai	25 °C	13.30 WIB
3.	Diperiksa			
		Mulai	25 °C	13.30 WIB
		Selesai	25 °C	14.00 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	(mm)	(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	67	70		
2.	65	72		
3.	68	74		
4.	66	67		
5.	67	68		
Rata2	66,6	67		
Rerata	66,8			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 8228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL MODIFIKASI



Material : Aspal Pertamina Pen 60/70 + Aditif *Rediset LQ-1106* 3%

Sumber : Pertamina, Cilacap


Tahun Uji : 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu
1.	Pemanasan Benda Uji	Mulai	25 °C
		Selesai	130 °C
2.	Didiamkan pada suhu ruang	Mulai	130 °C
		Selesai	25 °C
3.	Diperiksa	Mulai	25 °C
		Selesai	25 °C

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	(mm)	(mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1.	70	70		
2.	70	72		
3.	71	74		
4.	72	72		
5.	69	74		
Rata2	69	72,4		
Rerata	71,4			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

**Lampiran 13 Kekekalan Bentuk Agregat Terhadap Larutan Natrium Sulfat
PEMERIKSAAN KEKEKALAN BENTUK AGREGAT TERHADAP
LARUTAN NATRIUM SULFAT**

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

Jumlah Benda Uji	No. Saringan	Berat Benda Uji Awal (g)	Berat Benda Uji Setelah Rendaman (g)	Persentase Kehilangan Berat (%)
Benda Uji I	9,5 mm-4,75 mm	300,3	284,1	5,39
Benda Uji II	12,5,0 mm-9,5 mm	675,8	36,77	5,44
Rata-rata				5,42

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya

Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 14 Kelekatatan Agregat Terhadap Aspal

PEMERIKSAAN KELEKATAN AGREGAT TERHADAP ASPAL


Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu	Pemb. waktu
1.	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai	25 °C	09.00 WIB
	Selesai	150 °C	09.15 WIB
2.	Didiamkan pada suhu ruang		
	Mulai	150 °C	09.15 WIB
	Selesai	25 °C	10.50 WIB
3.	Diperiksa		
	Mulai	25 °C	10.50 WIB
	Selesai	25 °C	11.30 WIB

HASIL PENGAMATAN

No	Benda uji	% Terselimuti Aspal	Keterangan
1.	Sampel 1	98 %	Memenuhi
2.	Sampel 2	98 %	Memenuhi

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka


Lampiran 15 Keausan Agregat dengan Mesin Los Angeles

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Jenis gradasi		F	
	Saringan		Benda uji (gram)	
	Lolos	Tertahan	I (500 putaran)	II (100 putaran)
1.	72,2 mm (3'')	63,5 mm (2,5'')		
2.	63,5 mm (2,5'')	50,8 mm (2'')		
3.	50,8 mm (2'')	37,5 mm (1,5'')		
4.	37,5 mm (1,5'')	25,4 mm (1'')		
5.	25,4 mm (1'')	19 mm (3/4'')		
6.	19 mm (3/4'')	12,5 mm (0,5'')	2500	2500
7.	12,5 mm (0,5'')	09,5 mm (3/8'')	2500	2500
8.	09,5 mm (3/8'')	06,3 mm (1/4'')		
9.	06,3 mm (1/4'')	04,75 mm (No. 4)		
10.	04,75 mm (No. 4)	02,36 mm (No. 8)		
11.	JUMLAH BENDA UJI (A)		5000	5000
12.	JUMLAH TERTAHAN DI SIEVE 12 (B)		3815	4698,5
13.	KEAUSAN = (A-B)/A X 100		23,70%	6,03 %

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 16 Butiran Kasar Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BUTIRAN KASAR AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Uraian	Pengujian	
		Kecil dari Satu Bidang Pecah (g)	Dua Bidang Pecah atau Lebih (g)
1	Massa benda uji + takaran	-	500,4
2	Massa butir pecah + takaran	-	500,4
3	Massa takaran	-	84,5
4	Massa benda uji	-	415,9
5	Massa butir pecah dengan jumlah bidang pecah yang disyaratkan	-	415,9
6	Persentase butir pecah	-	100

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 17 Partikel Pipih dan Lonjong

PEMERIKSAAN PARTIKEL PIPIH DAN LONJONG

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Ukuran Saringan (mm)	Berat Benda Uji (g)	Berat Setelan Pengujian (g)		Presentase (%)	
			Pipih	Lonjong	Pipih	Lonjong
1	12,7	2500	99,12	142,41	3,96	5,70
2	9,53	1000	32,51	72,56	3,25	7,26
Rata-rata					3,61	6,48
					5,04	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 18 Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji (gram)		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1603,18	1383,86	1493,52
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	997,12	860,18	928,65
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1570,6	1366,11	1468,35
5	Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$	2,59	2,60	2,60
6	Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$	2,64	2,64	2,64
7	Berat Jenis (Semu) = $BK/(BK-BA)$	2,73	2,70	2,71
8	Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$	2,07	1,29	1,68
9	Berat Cawan	304,55	291,62	
10	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,66	2,65	
11	Berat Jenis Efektif Rata-rata	2,6601		
12	Penyerapan Rata-rata	1,687 %		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 19 Material Lolos Saringan 200

PEMERIKSAAN MATERIAL LOLOS SARINGAN 200

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Parameter	Satuan	Benda Uji I	Benda Uji II
1	Berat Agregat + wadah	gram	1343,6	1322,21
2	Berat wadah	gram	342,45	321,01
3	Berat kering benda uji awal	gram	1001,15	1001,21
4	Berat benda uji sesudah pencucian + wadah	gram	1322,16	1302,89
5	Berat Kering benda uji sesudah pencucian	gram	994,71	991,89
6	Persen lolos saringan No. 200	%	0,64	0,93
Rata-rata			0,78	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

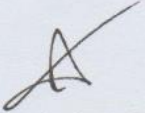
Lampiran 20 Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji		Rata-rata
		1	2	
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500,00	500,05	500,025
2	Berat Vicnometer + Air (B)	689,37	664,71	677,04
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	996,90	973,44	985,17
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	488,21	488,83	488,52
5	Berat Jenis (Bulk) = $(BK)/((B+500)-BT)$	2,53	2,55	2,54
6	Berat Jenis (SSD) = $(500)/((B+500)-BT)$	2,59	2,61	2,60
7	Berat Jenos (Semu) = $(BK)/((B+BK)-BT)$	2,70	2,71	2,70
8	Penyerapan Air = $(500-BK)/BK \times 100\%$	2,41	2,28	2,34
	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,61	2,63	
	Berat Jenis Efektif Rata2	2,627		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T

Peneliti


Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 5228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

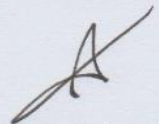
Lampiran 21 Nilai Setara Pasir

PEMERIKSAAN SETARA PASIR

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No.	Keterangan	Benda Uji			
		1	2	Rata - Rata	
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (± 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	3,7	3,8	3,75	
4	Sand Reading (Pembacaan Pasir)	3,1	3,8	3,45	
5	Sand Equivalent ($4/3 \times 100\%$)	0,838	1,000	91,892	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

Lampiran 22 Material Lolos Saringan No. 200

PEMERIKSAAN MATERIAL LOLOS SARINGAN NO. 200

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Parameter	Satuan	Benda Uji I	Benda Uji II
1	Berat Agregat + wadah	gram	585,9	587,39
2	Berat wadah	gram	85,25	87,2
3	Berat kering benda uji awal	gram	500,65	500,19
4	Berat benda uji sesudah pencucian + wadah	gram	522,68	505,9
5	Berat Kering benda uji sesudah pencucian	gram	457,43	468,7
6	Persen lolos saringan No. 200	%	8,63	6,30
Rata-rata			7,46	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka


**Lampiran 23 Gumpalan Lempung dan Gumpalan Butir-butir Mudah Pecah
dalam Agregat**

**PEMERIKSAAN GUMPALAN LEMPUNG DAN KUMPALAN BUTIR-
BUTIR MUDAH PECAH DALAM AGREGAT**

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng, Kulonprogo
Tahun Uji : 2020

No	Parameter	Satuan	Benda Uji I	Benda Uji II
1	Berat Agregat + wadah	gram	200,3	200,1
2	Berat wadah	gram	85,25	87,2
3	Berat kering benda uji awal	gram	115,05	112,9
4	Berat benda uji sesudah pencucian + wadah	gram	199,51	199,18
5	Berat Kering benda uji sesudah pencucian	gram	114,26	111,98
6	Persen lolos saringan No. 200	%	0,69	0,81
Rata-rata			0,75	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 24 Pengujian Marshall dalam Mencari KAO pada Campuran Aspal Porus

PENGUJIAN MARSHALL DALAM MENCARI KAO PADA CAMPURAN ASPAL PORUS

Tipe Campuran : Aspal Porus
 Tahun Pengujian : 2020

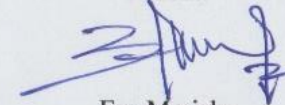
SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
	(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Korelasi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (Kg/mm)
5A	7,640	5,263	5	1173,98	1239,97	653,93	586,04	2,0032	2,4637	9,5392	71,772	18,688	28,228	33,794	18,688	49	724,7508	0,757458333	548,968	4,1	133,895
5B	7,624	5,263	5	1176,65	1246,92	655,84	591,08	1,9907	2,4637	9,4794	71,322	19,198	28,678	33,055	19,198	51	754,3324	0,7595	572,915	3,1	184,811
5C	7,548	5,263	5	1179,33	1247,76	659,89	587,87	2,0061	2,4637	9,5529	71,875	18,572	28,125	33,966	18,572	47	695,1691	0,769	534,585	3,6	148,496
								2,0000					28,343	33,605	18,820		724,7508		552,156	3,600	155,734
5.5A	7,622	5,820	5,5	1160,13	1242,85	660,93	581,92	1,9936	2,4463	10,4428	71,052	18,505	28,948	36,074	18,505	55	813,4957	0,749625	609,817	3,4	179,358
5.5B	7,604	5,820	5,5	1169,68	1247,05	669,94	577,11	2,0268	2,4463	10,6165	72,234	17,150	27,766	38,235	17,150	52	769,1232	0,762041667	586,104	3,7	158,406
5.5C	7,618	5,820	5,5	1166,25	1257,43	668,58	588,85	1,9806	2,4463	10,3743	70,586	19,040	29,414	35,270	19,040	50	739,5416	0,760208333	562,206	4,2	133,858
								2,0003					28,709	36,527	18,232		774,0535		586,042	3,767	157,208
6A	7,618	6,383	6	1170,43	1246,89	667,95	578,94	2,0217	2,4292	11,5524	71,670	16,777	28,330	40,779	16,777	56	828,2866	0,760291667	629,739	3,4	185,217
6B	7,621	6,383	6	1159,77	1209,69	639,85	569,84	2,0353	2,4292	11,6300	72,152	16,218	27,848	41,762	16,218	54	798,7049	0,759833333	606,883	3,6	168,579
6C	7,631	6,383	6	1162,21	1217,88	640,12	577,76	2,0116	2,4292	11,4947	71,312	17,193	28,688	40,069	17,193	49	724,7508	0,758583333	549,784	4,7	116,975
								2,0228					28,288	40,870	16,729		783,9141		595,469	3,900	156,924
6.5A	7,616	6,952	6,5	1160,43	1205,65	629,48	576,17	2,0140	2,4124	12,4679	71,020	16,512	28,980	-43,022	16,512	48	709,9599	0,760458333	539,895	-4	134,974
6.5B	7,614	6,952	6,5	1156,39	1209,8	625,23	584,57	1,9782	2,4124	12,2459	69,756	17,998	30,244	40,490	17,998	45	665,5874	0,760708333	506,318	4,2	120,552
6.5C	7,624	6,952	6,5	1163,13	1214,54	668,15	546,39	2,1288	2,4124	13,1780	75,065	11,757	24,935	52,849	11,757	44	650,7966	0,7595	494,280	4,1	120,556
								2,0403					28,053	45,454	15,423		675,448		513,498	4,100	125,361
7A	7,682	7,527	7	1159,75	1202,48	631,79	570,69	2,0322	2,3958	13,5479	71,277	15,175	28,723	47,167	15,175	45	665,5874	0,75225	500,688	4,3	116,439
7B	7,651	7,527	7	1161,35	1206,71	638,54	568,17	2,0440	2,3958	13,6268	71,692	14,682	28,308	48,137	14,682	47	695,1691	0,756125	525,635	4,1	128,204
7C	7,522	7,527	7	1163,93	1209,94	649,96	559,98	2,0785	2,3958	13,8568	72,902	13,242	27,098	51,135	13,242	42	621,2149	0,772208333	479,707	4,5	106,602
								2,0516					28,043	48,813	14,366		660,6571		502,010	4,300	117,081

Mengetahui,
 Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

**Lampiran 25 Pengujian *Cantabro Loss* dalam Mencari KAO pada Campuran
Aspal Porus**

**PENGUJIAN *CANTABRO LOSS* DALAM MENCARI KAO PADA
CAMPURAN ASPAL PORUS**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Eza Marizka

Tahun Pengujian : 2020

Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D

Ir. Subarkah, M.T

Sampel	Berat Benda Uji		Berat Sebelum Di Abrasi	Kehilangan Berat	Rata-Rata Kehilangan Berat (%)
	Mo	Mi	(Mo-Mi)	L	
5	A	1172,98	710,55	462,43	39,42
	B	1163,05	706,45	456,6	
	C	1170,41	721,18	449,23	
5,5	A	1158,94	803,56	355,38	30,66
	B	1163,27	815,38	347,89	
	C	1145,15	805,41	339,74	
6	A	1145,19	888,12	257,07	22,45
	B	1151,29	891,93	259,36	
	C	1156,03	878,64	277,39	
6,5	A	1138,66	896,07	242,59	21,30
	B	1129,73	901,12	228,61	
	C	1149,54	921,3	228,24	
7	A	1146,64	978,14	168,5	14,70
	B	1161,08	996,79	164,29	
	C	1152,91	984,58	168,33	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Kampus Terpadu : Jl. Kaliurang km 14,5 Pswt 3228, Yogyakarta, e-mail kamtahm71@gmail.com

**Lampiran 26 Pengujian Asphalt Flow Down dalam Mencari KAO pada
Campuran Aspal Porus**

**PENGUJIAN ASPHALT FLOW DOWN DALAM MENCARI KAO PADA
CAMPURAN ASPAL PORUS**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Eza Marizka

Tahun Pengujian : 2020

Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D

Ir. Subarkah, M.T

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				
5	1	324,8	1502,8	325,91	1,11	1178	0,09
	2	323,35	1503,4	324,4	1,05	1180,05	0,09
	3	327,77	1499,62	329,32	1,55	1171,85	0,13
5,5	1	336,11	1508,38	338,98	2,87	1172,27	0,24
	2	332,2	1511,77	334,87	2,67	1179,57	0,23
	3	329,12	1507,09	332,65	3,53	1177,97	0,30
6	1	330,8	1490,12	338,6	7,8	1159,32	0,67
	2	330,53	1470,13	337,8	7,27	1139,6	0,64
	3	315,08	1466,13	322,89	7,81	1151,05	0,68
6,5	1	306,13	1476,74	320,13	14	1170,61	1,20
	2	301,01	1483,16	315,99	14,98	1182,15	1,27
	3	311,12	1441,77	325,15	14,03	1130,65	1,24
7	1	305,04	1449,08	320,38	15,34	1144,04	1,34
	2	298,78	1454,36	314,23	15,45	1155,58	1,34
	3	310,77	1461,2	327,45	16,68	1150,43	1,45

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 27 Pengujian Marshall Pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif Rediset LQ-1106


PENGUJIAN MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF REDISSET LQ-1106

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Pengujian : 2020

CAMPURAN ADITIF	SAMPEL	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)
0%	A	7,67	6,01	5,67	1176,12	1209,11	619,6	589,51	1,995	2,44	10,77	70,98	18,25	29,02	37,12	18,25	54	798,70	0,75	601,69	3,5	171,91
	B	7,91	6,01	5,67	1173,7	1208,39	615,19	593,2	1,979	2,44	10,68	70,39	18,93	29,61	36,08	18,93	51	754,33	0,72	540,29	3,8	142,18
	C	7,67	6,01	5,67	1176,94	1210,33	618,78	591,55	1,990	2,44	10,74	70,78	18,48	29,22	36,77	18,48	50	739,54	0,75	557,12	3,7	150,57
									1,988					29,28	36,66	18,55			566,37	3,67	154,89	
1%	A	7,51	6,01	5,67	1176,44	1209,52	616,63	592,89	1,984	2,44	10,71	70,59	18,69	29,41	36,43	18,69	66	976,19	0,77	755,74	3,3	229,01
	B	7,87	6,01	5,67	1173,49	1211,61	615,43	596,18	1,968	2,44	10,63	70,02	19,35	29,98	35,46	19,35	60	887,45	0,72	641,18	3,7	173,29
	C	7,83	6,01	5,67	1178,74	1203,69	618,11	585,58	2,013	2,44	10,87	71,61	17,52	28,39	38,29	17,52	64	946,61	0,73	691,03	3,2	215,95
									1,999					29,26	36,73	18,52			695,98	3,4	206,08	
2%	A	7,89	6,01	5,67	1175,09	1210,47	617,9	592,57	1,983	2,44	10,71	70,55	18,74	29,45	36,36	18,74	60	887,45	0,72	638,96	3,5	182,56
	B	7,86	6,01	5,67	1174,29	1208,12	618,82	589,3	1,993	2,44	10,76	70,89	18,35	29,11	36,97	18,35	57	843,08	0,72	610,70	4	152,68
	C	7,64	6,01	5,67	1176,23	1207,84	618,52	589,32	1,996	2,44	10,78	71,01	18,22	28,99	37,17	18,22	59	872,66	0,76	661,04	3,7	178,66
									1,991					29,19	36,83	18,44			636,90	3,73	171,30	
3%	A	7,77	6,01	5,67	1179,86	1207,13	614,79	592,34	1,992	2,44	10,76	70,86	18,38	29,14	36,91	18,38	55	813,50	0,74	603,34	3,8	158,77
	B	7,49	6,01	5,67	1185,18	1213,26	620,52	592,74	1,999	2,44	10,80	71,13	18,07	28,87	37,40	18,07	53	783,91	0,78	608,84	4	152,21
	C	7,74	6,01	5,67	1183,35	1211,65	619,77	591,88	1,999	2,44	10,80	71,13	18,08	28,87	37,39	18,08	48	709,96	0,74	528,62	3,9	135,54
									1,997					28,96	37,24	18,18			580,27	3,90	148,84	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya


Ir. Subarkah, M.T

Peneliti


Eza Marizka

Lampiran 28 Pengujian Perendaman Marshall Pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif Rediset LQ-1106

PENGUJIAN PERENDAMAN MARSHALL PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF REDISSET LQ-1106

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Pengujian : 2020

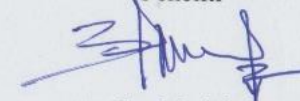
CAMPURAN ADITIF	SAMPSEL	Tinggi	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T
		(cm)	(%)	(%)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	Density					VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Meas		Koreksi	Stabilitas (kg)	Flow (cm)	MQ (kg/mm)
0%	A	7,51	6,01	5,67	1152,18	1198,26	621,81	576,45	1,999	2,44	10,79	71,11	18,10	28,89	37,36	18,10	45	665,59	0,77	514,72	4,3	119,70
	B	7,54	6,01	5,67	1156,52	1205,72	628,24	577,48	2,003	2,44	10,81	71,25	17,94	28,75	37,61	17,94	47	695,17	0,77	534,99	4	133,75
	C	7,53	6,01	5,67	1152,34	1202,76	626,77	575,99	2,001	2,44	10,80	71,17	18,02	28,83	37,48	18,02	43	636,01	0,77	490,25	4,2	116,73
									2,001					28,82	37,48	18,02				513,32	4,17	123,39
1%	A	7,45	6,01	5,67	1151,02	1199,83	623,99	575,84	1,999	2,44	10,79	71,11	18,10	28,89	37,36	18,10	56	828,29	0,78	648,13	3,3	196,40
	B	7,32	6,01	5,67	1158,3	1203,62	624,53	579,09	2,000	2,44	10,80	71,16	18,04	28,84	37,45	18,04	53	783,91	0,81	631,54	3,5	180,44
	C	7,63	6,01	5,67	1155,18	1203,42	625,44	577,98	1,999	2,44	10,79	71,10	18,10	28,90	37,35	18,10	55	813,50	0,76	616,90	3,3	186,94
									1,999					28,90	37,35	18,08				632,19	3,37	187,93
2%	A	7,77	6,01	5,67	1151,31	1201,04	624,48	576,56	1,997	2,44	10,78	71,04	18,18	28,96	37,23	18,18	56	828,29	0,74	615,00	3,1	198,39
	B	7,68	6,01	5,67	1157,89	1203,63	625,46	578,17	2,003	2,44	10,81	71,25	17,94	28,75	37,61	17,94	51	754,33	0,76	569,52	3,5	162,72
	C	7,78	6,01	5,67	1155,29	1200,67	623,76	576,91	2,003	2,44	10,81	71,24	17,94	28,76	37,60	17,94	50	739,54	0,74	545,87	3,4	160,55
									2,001					28,82	37,48	18,02		0,00		576,80	3,33	173,89
3%	A	7,78	6,01	5,67	1150,38	1199,88	622,95	576,93	1,994	2,44	10,77	70,94	18,30	29,06	37,05	18,30	48	709,96	0,74	526,26	3,3	159,47
	B	7,24	6,01	5,67	1153,55	1200,46	624,45	576,01	2,003	2,44	10,81	71,25	17,94	28,75	37,61	17,94	45	665,59	0,82	543,56	3,3	164,72
	C	7,64	6,01	5,67	1152,45	1202,51	627,89	574,62	2,006	2,44	10,83	71,35	17,82	28,65	37,80	17,82	45	665,59	0,76	503,91	3	167,97
									2,001					28,82	37,49	18,02				524,58	3,20	164,05

Mengetahui,
 Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

**Lampiran 29 Pengujian IRS pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif
Rediset LQ-1106**

Tipe Campuran : Aspal Porus

Dikerjakan Oleh : Eza Marizka

Tahun Pengujian : 2020

Diperiksa Oleh : Miftahul Fauziah S.T., M.T., Ph.D

Ir. Subarkah, M.T

Kadar <i>Wetfix Be</i> (%)	Immersion (Jam)	Nilai IKS (%)	Nilai IDP (%)
0	0,5	100	0,399
	24	90,63	
0,2	0,5	100	0,390
	24	90,83	
0,3	0,5	100	0,402
	24	90,56	
0,4	0,5	100	0,408
	24	90,40	

Kadar <i>Rediset LQ-1106</i> (%)	Immersion (Jam)	Nilai IKS (%)	Penurunan (%)	Waktu (Jam)	IDK (%)	Sa (%)
0	0,5	100	9,37	23,5	4,585	95,415
	24	90,63				
1	0,5	100	9,17	23,5	4,487	95,513
	24	90,83				
2	0,5	100	9,44	23,5	4,620	95,380
	24	90,56				
3	0,5	100	9,60	23,5	4,699	95,301
	24	90,40				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 30 Pengujian ITS pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif Rediset LQ-1106

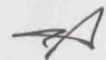
PENGUJIAN ITS PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF REDISSET LQ-1106

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Pengujian : 2020

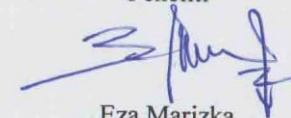
CAMPURAN ADITIF	SAMPEL	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa)	ITS RATA-RATA (Kpa)
		1	2	3						
0%	A	7,79	7,79	7,78	7,79	10,14	28	410,96	278,76	281,45
	B	7,69	7,71	7,66	7,69	10,12	25	366,93	294,74	
	C	7,54	7,59	7,62	7,58	10,27	27	396,29	270,84	
1%	A	7,71	7,67	7,56	7,65	10,16	33	484,35	330,53	352,44
	B	7,63	7,56	7,61	7,60	10,17	30	440,32	355,96	
	C	7,11	7,08	7,07	7,09	10,12	32	469,67	370,84	
2%	A	7,8	7,81	7,8	7,80	10,13	28	410,96	301,65	296,60
	B	7,66	7,65	7,6	7,64	10,20	25	366,93	294,34	
	C	7,71	7,74	7,73	7,73	10,13	28	410,96	292,92	
3%	A	7,67	7,67	7,66	7,67	10,16	18	264,19	211,93	227,56
	B	7,72	7,72	7,74	7,73	10,16	22	322,90	233,65	
	C	7,61	7,61	7,6	7,61	10,17	20	293,54	237,10	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka

Lampiran 31 Pengujian TSR pada Campuran Aspal Porus dengan Aditif Rediset LQ-1106

PENGUJIAN TSR PADA CAMPURAN ASPAL PORUS DENGAN ADITIF REDISSET LQ-1106

Tipe Campuran : Aspal Porus

Tahun Pengujian : 2020

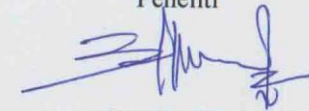
CAMPURAN ADITIF	SAMPEL	TINGGI			TINGGI RATA-RATA	DIAMETER RATA-RATA	PEMBACAAN DIAL	STABILITAS (Kg)	INDIRECT TENSILE STRENGTH (Kpa)	ITS RATA-RATA (Kpa)	TSR (%)
		1	2	3							
0%	A	7,38	7,38	7,4	7,39	10,18	16	258,68	214,95	198,36	70,48
	B	7,72	7,75	7,7	7,72	10,20	14	226,34	179,53		
	C	7,47	7,38	7,39	7,41	10,19	14	226,34	200,59		
1%	A	7,31	7,35	7,34	7,33	10,14	19	307,18	285,12	255,93	72,61
	B	7,54	7,47	7,5	7,50	10,16	18	291,01	238,12		
	C	7,21	7,27	7,33	7,27	10,25	20	323,35	271,13		
2%	A	7,53	7,53	7,53	7,53	10,17	17	274,84	224,25	204,28	68,94
	B	7,69	7,7	7,69	7,69	10,18	15	242,51	193,48		
	C	7,54	7,54	7,54	7,54	10,30	15	242,51	195,11		
3%	A	7,8	7,74	7,76	7,77	10,22	12	194,01	152,72	150,54	66,15
	B	7,73	7,71	7,71	7,72	10,21	12	194,01	153,86		
	C	7,57	7,56	7,54	7,56	10,14	11	177,84	145,02		

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah, M.T

Peneliti



Eza Marizka



LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN &
PERKERASAN JALAN

FORMULIR

PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS

No. Formulir

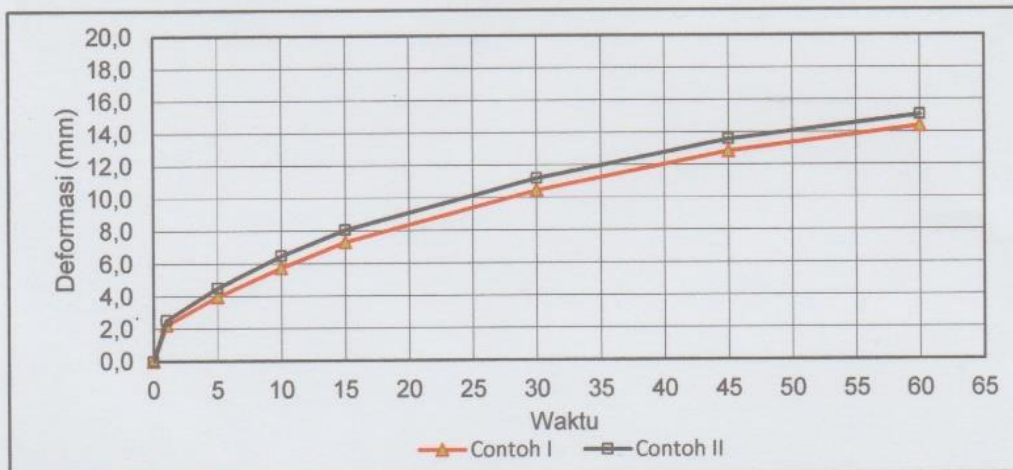
Terbitan/Revisi

Tanggal Revisi

Halaman 1 dari 4

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 0% Rediset LQ-1106
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 1 Desember 2020
5. Di uji Tanggal : 3 Desember 2020
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

Waktu	Passing	Jenis Contoh Uji		Satuan
		Contoh I	Contoh II	
0	0	0	0	mm
1	21	2,23	2,54	mm
5	105	3,97	4,51	mm
10	210	5,73	6,47	mm
15	315	7,31	8,05	mm
30	630	10,44	11,18	mm
45	945	12,84	13,58	mm
60	1260	14,37	15,06	mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,102	0,099	mm/menit
DS = Stabilitas Dinamis		411,76	425,68	lintasan/menit





LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN &
PERKERASAN JALAN

FORMULIR

PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS

No. Formulir

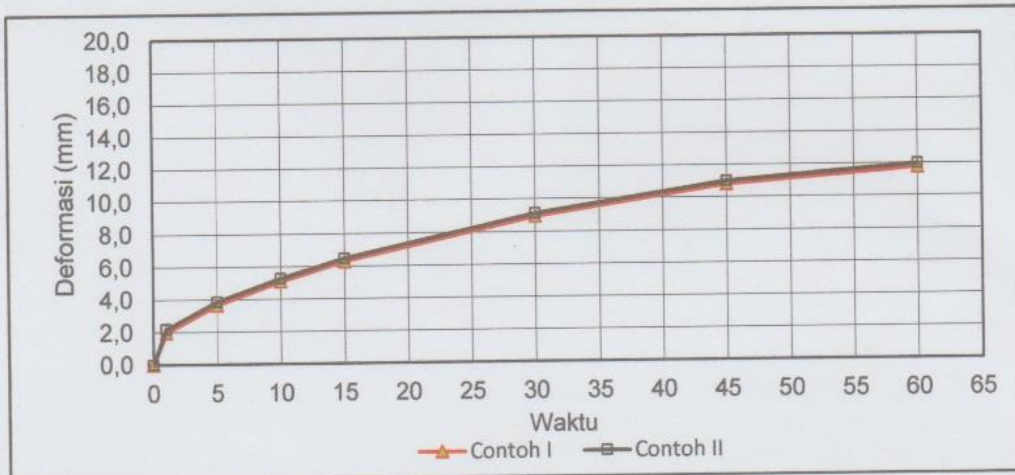
Terbitan/Revisi

Tanggal Revisi

Halaman 2 dari 4

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 1% Rediset LQ-1106
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 1 Desember 2020
5. Di uji Tanggal : 3 Desember 2020
6. Metode Uji : JRA, 1980
7. Hasil Pengujian :

Waktu	Passing	Jenis Contoh Uji		Satuan
		Contoh I	Contoh II	
0	0	0,00	0,00	mm
1	21	1,98	2,19	mm
5	105	3,64	3,85	mm
10	210	5,07	5,28	mm
15	315	6,26	6,47	mm
30	630	8,91	9,12	mm
45	945	10,80	11,01	mm
60	1260	11,76	11,98	mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,06	0,06	mm/menit
DS = Stabilitas Dinamis		656,25	649,48	lintasan/menit





LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN &
PERKERASAN JALAN

FORMULIR

PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS

No. Formulir

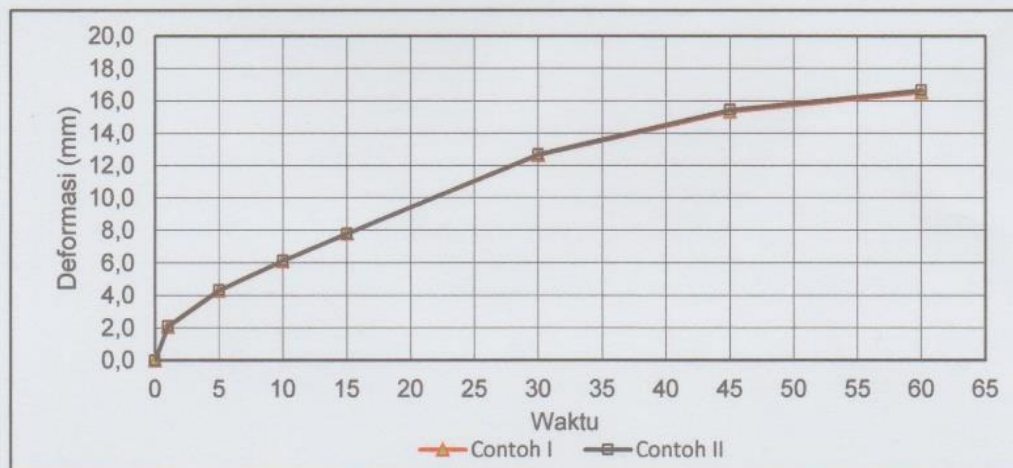
Terbitan/Revisi

Tanggal Revisi

Halaman 3 dari 4

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 2% Rediset LQ-1106
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 1 Desember 2020
5. Di uji Tanggal : 3 Desember 2020
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

Waktu	Passing	Jenis Contoh Uji		Satuan
		Contoh I	Contoh II	
0	0	0	0	mm
1	21	2,07	2,11	mm
5	105	4,29	4,32	mm
10	210	6,11	6,15	mm
15	315	7,79	7,80	mm
30	630	12,63	12,69	mm
45	945	15,32	15,45	mm
60	1260	16,52	16,66	mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,080	0,081	mm/menit
DS = Stabilitas Dinamis		525,00	520,66	lintasan/menit





LAB. PENGUJIAN BALAI BAHAN &
PERKERASAN JALAN

FORMULIR

PENGUJIAN STABILITAS DINAMIS

No. Formulir

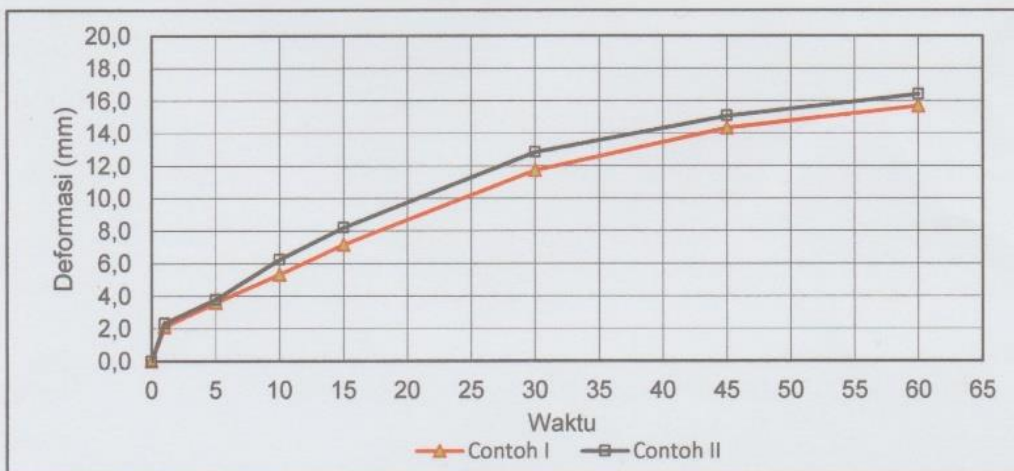
Terbitan/Revisi

Tanggal Revisi

Halaman 4 dari 4

1. No. Order/Contoh : Penelitian Tesis (S2) Univ. Islam Indonesia Yogyakarta
2. Jenis Contoh Uji : Campuran Aspal Porus, Aspal Pen 60/70 + 3% Rediset LQ-1106
3. Jenis Pekerjaan : Perencanaan Campuran Aspal Panas
4. Diterima Tanggal : 1 Desember 2020
5. Di uji Tanggal : 3 Desember 2020
6. Metode Uji : **JRA, 1980**
7. Hasil Pengujian :

Waktu	Passing	Jenis Contoh Uji		Satuan
		Contoh I	Contoh II	
0	0	0	0	mm
1	21	2,12	2,33	mm
5	105	3,6	3,81	mm
10	210	5,33	6,25	mm
15	315	7,16	8,20	mm
30	630	11,73	12,85	mm
45	945	14,33	15,07	mm
60	1260	15,68	16,41	mm
RD = Kecepatan Deformasi		0,090	0,089	mm/menit
DS = Stabilitas Dinamis		466,67	470,15	lintasan/menit



Lampiran 33 Hasil Uji Statistik Anova

		ANOVA				
		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
VIM	Between Groups	.262	3	.087	.322	.809
	Within Groups	2.166	8	.271		
	Total	2.427	11			
VFMA	Between Groups	.598	3	.199	.306	.821
	Within Groups	5.209	8	.651		
	Total	5.807	11			
VMA	Between Groups	.196	3	.065	.318	.812
	Within Groups	1.640	8	.205		
	Total	1.836	11			
Density	Between Groups	.000	3	.000	.297	.827
	Within Groups	.001	8	.000		
	Total	.001	11			
Stabilitas	Between Groups	30489.664	3	10163.221	11.118	.003
	Within Groups	7313.240	8	914.155		
	Total	37802.904	11			
Flow	Between Groups	.553	3	.184	5.825	.021
	Within Groups	.253	8	.032		
	Total	.807	11			
MQ	Between Groups	6133.273	3	2044.424	9252.533	.000
	Within Groups	1.768	8	.221		
	Total	6135.040	11			
IRS	Between Groups	.565	3	.188	.005	1.000
	Within Groups	328.304	8	41.038		
	Total	328.869	11			
IDP	Between Groups	.565	3	.188	.005	1.000
	Within Groups	328.277	8	41.035		
	Total	328.842	11			
IDK	Between Groups	.135	3	.045	.005	1.000
	Within Groups	78.691	8	9.836		
	Total	78.826	11			
ITS	Between Groups	23728.659	3	7909.553	40.990	.000
	Within Groups	1543.716	8	192.964		
	Total	25272.375	11			
TSR	Between Groups	66.033	3	22.011	.560	.656
	Within Groups	314.387	8	39.298		
	Total	380.419	11			
Stabilitas Dinamis	Between Groups	61013.077	3	20337.692	601.384	.000
	Within Groups	135.273	4	33.818		
	Total	61148.350	7			
Kecepatan Deformasi	Between Groups	.001	3	.000	322.944	.000
	Within Groups	.000	4	.000		
	Total	.001	7			