

TUGAS AKHIR

**PERBANDINGAN KINERJA ANTARA CAMPURAN
ASPAL EMULSI DINGIN CSS-1h DENGAN DAN
TANPA PENUNDAAN PEMADATAN TERHADAP
CAMPURAN LASTON
(*PERFORMANCE COMPARISON BETWEEN COLD
EMULSION ASPHALT MIXES CSS-1h WITH AND
WITHOUT COMPACTION DELAY OF ASPHALT
CONCRETE MIXES*)**

**Diajukan Kepada Universitas Islam Indonesia Yogyakarta Untuk Memenuhi
Persyaratan Memperoleh Derajat Sarjana Teknik Sipil**



**Muna Muthia
16511239**

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA
2021**

TUGAS AKHIR

PERBANDINGAN KINERJA ANTARA CAMPURAN ASPAL EMULSI DINGIN CSS-1h DENGAN DAN TANPA PENUNDAAN PEMADATAN TERHADAP CAMPURAN LASTON (*PERFORMANCE COMPARISON ANALYSIS BETWEEN COLD EMULSION ASPHALT MIXES CSS-1h WITH AND WITHOUT DELAY OF COMPACTION OF LASTON MIXES*)

Disusun oleh

Muna Muthia
16511239

Telah diterima sebagai salah satu persyaratan
untuk memperoleh derajat Sarjana Teknik Sipil

Diuji pada tanggal 28 Desember 2021

Oleh Dewan Penguji:

Pembimbing



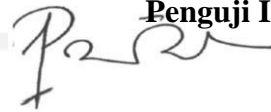
Subarkah, Ir., M.T.
NIK: 865110101

Penguji I



Berlian K., S.T., M.Eng.
NIK: 015110101

Penguji II



Prima J Romadhona, S.T., M.Sc.
NIK:135111103



Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Sipil



Dr. Ir. Sri Amni Yuni Astuti, M.T.
NIK: 885110101

PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME

Saya menyatakan dengan sesungguhnya bahwa laporan Tugas Akhir yang saya susun sebagai syarat untuk penyelesaian program Sarjana di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia merupakan hasil karya saya sendiri. Adapun bagian-bagian tertentu dalam penulisan laporan Tugas Akhir yang saya kutip dari hasil karya orang lain telah dituliskan dalam sumbernya secara jelas sesuai dengan norma, kaidah dan etika penulisan karya ilmiah. Apabila kemudian hari karya saya sendiri atau adanya pencabutan gelar akademik yang saya sandang sesuai dengan perundang-undangan yang berlaku.

Yogyakarta, 11 Oktober 2021

Yang membuat pernyataan



Muna Muthia
(16511239)

DEDIKASI

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Alhamdulillahirabbil'alaamiin, puji syukur saya panjatkan kepada Allah SWT, atas segala rahmat dan juga kesempatan dalam menyelesaikan tugas akhir skripsi saya dengan segala ketidak sempurnaanya. Segala puji dan syukur saya panjatkan kepada-Mu Yaa Rabb, karena sudah menganugerahi saya kesehatan lahir dan batin serta menghadirkan orang-orang yang sangat berarti di sekeliling saya, yang selalu memberikan semangat dan doa, sehingga skripsi Tugas Akhir ini dapat diselesaikan dengan baik. Pada kesempatan ini saya ingin mengucapkan terimakasih untuk.

1. H. Muslim dan Hj. Rina Supiartinah

Sepasang orang tua yang sangat hebat, yang sabar dan tabah menghadapi saya sebagai anak semata wayang, yang selalu memberi dukungan berupa doa, materiil dan emosional.

2. Bapak Subarkah Ir, M.T

Selaku dosen pembimbing tugas akhir saya, yang selalu mengarahkan saya keluar dari kebingungan dan ketidakpahaman saya.

3. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu.

KATA PENGANTAR

Puji syukur kita panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, sehingga penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir yang berjudul Analisis Perbandingan Kinerja Antara Campuran Aspal Emulsi Dingin CSS-1h Dengan dan Tanpa Penundaan Pemadatan Terhadap Campuran Laston. Laporan Tugas Akhir merupakan salah satu syarat dalam menyelesaikan Program Studi Sarjana pada Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia.

Dalam penyusunan laporan Tugas Akhir penulis mendapatkan banyak hambatan saat penyusunan dan banyak mendapatkan bantuan dari lingkungan sekitar, seperti bantuan bimbingan, saran dan kritik untuk menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini dengan hasil yang maksimal. Pada kesempatan kali ini penyusun ingin menyampaikan ucapan terimakasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Ibu Dr. Ir. Sri Amini yuni Astuti, M.T., selalu Ketua Prodi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta,
2. Bapak Subarkah, Ir. M.T, selaku Dosen Pembimbing,
3. Bapak Berlian Kushari, S.T., M.Eng., selaku Dosen Penguji I,
4. Ibu Prima Juanita Romadhona, S.T., M.Sc., selaku Dosen Penguji II,
5. Bapak Sukamto dan Bapak Pranoto, selaku Laboran Laboratorium Jalan Raya, Fakultas Teknik Sipil dan Perencanaan, Universitas Islam Indonesia
6. Orang-orang yang selalu ada di samping saya saat pengerjaan Tugas Akhir ini.

Akhirnya penulis berharap agar laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi berbagai pihak yang membacanya.

Yogyakarta, 11 Oktober 2021
Penulis,



Muna Muthia
(16511239)

DAFTAR ISI

TUGAS AKHIR	i
TUGAS AKHIR	ii
PERNYATAAN BEBAS PLAGIARISME	iii
DEDIKASI	iv
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vi
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN	xiii
DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN	xvi
ABSTRAK	xviii
<i>ABSTRACT</i>	xix
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Penelitian	4
BAB II STUDI PUSTAKA	5
2.1 Lapis Aspal Beton (Laston)	5
2.2 Aspal Emulsi	5
2.2.1 Komponen Aspal Emulsi	6
2.2.2 Kecocokan (<i>Affinity</i>) Aspal Emulsi dengan Agregat	7
2.2.3 Mekanisme Penggabungan Butiran Aspal Emulsi dan Pelekatan ke Permukaan Agregat	7
2.3 Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	8
2.3.1 Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)	8
2.3.2 Kinerja Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	9
2.3.3 Kekuatan Maksimal Campuran	9

2.4	Perbandingan Penelitian	9
BAB III LANDASAN TEORI		11
3.1	Perkerasan Jalan	11
3.1.1	Lapis Aspal Beton (Laston)	11
3.2	Aspal Emulsi	13
3.2.1	Pemeriksaan Kadar Residu Aspal Emulsi	13
3.2.2	Syarat Aspal Emulsi	14
3.3	Material Penyusun Perkerasan AC-WC	16
3.3.1	Aspal	16
3.3.2	Agregat	17
3.3.3	Bahan Pengisi (<i>Filler</i>)	18
3.4	Material Penyusun Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)	19
3.4.1	Agregat	19
3.4.2	Aspal Emulsi	21
3.4.3	Air	21
3.4.4	Semen Sebagai Bahan Aditif	22
3.5	Desain Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	22
3.5.1	Pemeriksaan Kadar Residu Aspal Emulsi	22
3.5.2	Estimasi Kadar Aspal Emulsi Awal	23
3.5.3	Tes Penyelimutan (<i>Coating Test</i>)	23
3.5.4	Persiapan Campuran dan Energi Pematatan	24
3.5.8	<i>Setting</i>	26
3.5.9	Penyerapan Air (<i>Water Absorption</i>)	27
3.5.10	Tebal Film Aspal (TFA)	27
3.5.11	Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)	28
3.6	Karakteristik <i>Marshall Test</i>	29
3.6.1	Berat Jenis Asphalt	29
3.6.2	Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat	29
3.6.3	Rongga dalam Agregat (<i>VMA</i>)	31
3.6.4	Rongga dalam Campuran (<i>VITM</i>)	31
3.6.5	Rongga Terisi Aspal (<i>VFWA</i>)	32
3.6.6	Stabilitas	32

3.6.7	Kepadatan (<i>density</i>)	33
3.6.8	Kelelehan (<i>Flow</i>)	33
3.6.9	<i>Marshall Quotient</i>	33
3.7	<i>Indirect Tensile Strength (ITS) Test</i>	34
3.8	Pengujian Perendaman (<i>Immersion Test</i>)	35
3.9	Permeabilitas (<i>Permeability</i>)	35
BAB IV METODE PENELITIAN		37
4.1	Bagan Alir Metode Penelitian	37
4.2	Metode Penelitian	39
4.3	Metode Pengambilan Data	39
4.4	Bahan	40
4.5	Tahap Penelitian	40
4.6	Pemeriksaan Bahan dan Persiapan Alat	41
4.6.1	Pemeriksaan Bahan	41
4.6.2	Pemeriksaan Agregat	41
4.6.3	Pemeriksaan Aspal	42
4.6.4	Pemeriksaan Aspal Emulsi	42
4.6.5	Persiapan Alat	43
4.7	Rencana Campuran	44
4.7.1	Rencana Campuran Laston	45
4.7.2	Rencana Campuran CAED Tipe IV	49
4.7.3	Rekapitulasi Sampel Benda Uji	51
4.8	Pembuatan Benda Uji	51
4.8.1	Pembuatan Benda Uji Laston	51
4.8.2	Tes Penyelimutan (<i>Coating Test</i>)	52
4.8.3	Pembuatan Benda Uji CAED dengan Tundaan Pematatan dan Penentuan Energi Pematatan	53
4.8.4	Setting CAED	54
4.9	Pengujian yang Dilakukan	55
4.9.1	Pengujian <i>Marshall</i> Standar	55
4.9.2	Pengujian <i>Marshall</i> Rendaman (<i>Immersion Test</i>)	56
4.9.3	Pengujian <i>Indirect Tensile Strength (ITS)</i>	57

4.9.4 Pengujian Permeabilitas	57
4.10 Analisis Data	57
BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN	59
5.1 Pengujian Sifat Fisik Material	59
5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat	59
5.1.2 Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70	62
5.1.3 Pengujian Karakteristik Aspal Emulsi CSS-1h	63
5.2 Pengujian pada Campuran Aspal Emulsi Dingin	66
5.2.1 Perhitungan Kebutuhan Aspal	66
5.2.2 Kadar Air Penyelimutan (<i>Coating Test</i>)	67
5.2.3 Penentuan Energi Pemasatan	68
5.2.4 Penentuan Kadar Air Optimum Pemasatan dengan Penundaan Pemasatan	68
5.3 Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)	70
5.3.1 KAO Hot Mix	70
5.3.2 KAO Campuran Aspal Emulsi Dingin	71
5.4 Karakteristik <i>Marshall</i> pada Campuran	73
5.4.1 Karakteristik <i>Marshall</i> pada <i>Hot Mix</i>	73
5.4.2 Karakteristik <i>Marshall</i> pada CAED	75
5.5 Kekuatan Tarik Tak Langsung pada Campuran	81
5.6 Stabilitas Sisa pada Campuran	83
5.7 Permeabilitas pada Campuran	85
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN	87
6.1 Kesimpulan	87
6.2 Saran	88
DAFTAR PUSTAKA	89

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian	10
Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston	12
Tabel 3.2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal	13
Tabel 3.3 Persyaratan Aspal Emulsi Kationik	15
Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras	17
Tabel 3.5 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar	18
Tabel 3. 6 Persyaratan Pemeriksaan agregat Halus	18
Tabel 3.7 Ketentuan Filler	19
Tabel 3.8 Spesifikasi Gradasi Agregat CEBR/DGEM	19
Tabel 3.9 Syarat Gradasi Agregat Kasar CEBR/DGEM	20
Tabel 3.10 Syarat Gradasi Agregat Halus CEBR/DGEM	20
Tabel 3.11 Persyaratan Sifat Campuran Gradasi CEBR/DGEM	21
Tabel 3.12 Faktor Luas Permukaan (surface area factor) Agregat	28
Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Campuran	45
Tabel 4.2 Rencana Gradasi Agregat Campuran AC-WC	45
Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%	47
Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%	47
Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%	48
Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5 %	48
Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%	49
Tabel 4.8 Rencana Gradasi Agregat Campuran CEBR Tipe IV	49
Tabel 4.9 Rekapitulasi Jumlah Sampel Benda Uji	51
Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar	59
Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	60
Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus	61
Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70	62
Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Emulsi CSS-1h	64

Tabel 5.6 Kebutuhan Aspal Emulsi Berdasarkan Variasi Kadar Aspal Residu	66
Tabel 5.7 Stabilitas Marshall Rendaman dan Porositas terhadap Energi Pemadatan	68
Tabel 5. 8 Kehilangan Kadar Air terhadap Kepadatan Optimum	69
Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Mencari KAO	71
Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik Marshall untuk Mencari KARO	72
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik Marshall pada KAO	75
Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian CAED pada KARO	81
Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	82
Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas Sisa pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	83
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar 3. 1 Contoh Penentuan KARO	29
Gambar 4.1 Flowchart Tahapan Penelitian	39
Gambar 4.2 Rencana Gradasi Agregat Campuran AC-WC	46
Gambar 4.3 Rencana Gradasi Agregat CAmputran CEBR Tipe IV	50
Gambar 5.1 Penentuan Kadar Air Penyelimutan	67
Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kehilangan Kadar Air	70
Gambar 5.3 Penentuan KAO Hot Mix	71
Gambar 5.4 Penentuan KARO CAED	72
Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Nilai Stabilitas dengan Waktu Setting	76
Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Porositas dengan Waktu Setting	77
Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Penyerapan Air dengan Waktu Setting	78
Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara VMA dengan Waktu Setting	79
Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara VFB dengan Waktu Setting	80
Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara Flow dengan Waktu Setting	81
Gambar 5.11 Perbandingan Hasil Pengujian Indirect Tensile Strength pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	83
Gambar 5. 12 Perbandingan Hasil Pengujian Immersion Test pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	84
Gambar 5.13 Perbandingan Hasil Pengujian Permeabilitas pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas	86

DAFTAR LAMPIRAN

LAMPIRAN A.1 Hasil Pengujian Aspal Emulsi CSS-1h	91
LAMPIRAN B.1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70	93
LAMPIRAN B.2 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar	94
LAMPIRAN B.3 Pemeriksaan Titik Lembek	95
LAMPIRAN B.4 Pemeriksaan Daktilitas Aspal	96
LAMPIRAN B.5 Pemeriksaan Kelarutan dalam <i>TCE</i>	97
LAMPIRAN B.6 Pemeriksaan Kelekatan Aspal Terhadap Batuan	98
LAMPIRAN B.7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70	99
LAMPIRAN B.8 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Emulsi CSS-1h	100
LAMPIRAN B.9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar	101
LAMPIRAN B.10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus	102
LAMPIRAN B.11 Pemeriksaan Berat Jenis Filler	103
LAMPIRAN B.12 Pemeriksaan Keausan Agregat	104
LAMPIRAN B.13 Pemeriksaan <i>Sand Equivalent</i>	105
LAMPIRAN C.1 Proporsi Campuran untuk <i>Coating Test</i>	107
LAMPIRAN D.1 Proporsi Campuran untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan	109
LAMPIRAN D.2 Perhitungan <i>SG_{mix}</i> untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan	110
LAMPIRAN D.3 Perhitungan <i>SG_{agg}</i> untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan	110
LAMPIRAN D.4 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Penentuan Energi Pemadatan	111
LAMPIRAN D.5 Pemeriksaan Kadar Air Saat <i>Testing</i> pada Energi Pemadatan	112
LAMPIRAN D.6 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Penentuan Penundaan Pemadatan	113
LAMPIRAN D.7 Pemeriksaan Kadar Air Saat <i>Testing</i> pada Penundaan Pemadatan	114

LAMPIRAN E.1 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu 5,5%	116
LAMPIRAN E.2 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu 6%	116
LAMPIRAN E.3 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu 6,5%	117
LAMPIRAN E.4 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu 7 %	117
LAMPIRAN E.5 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu 7,5%	118
LAMPIRAN E.6 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu 5,5 %	119
LAMPIRAN E.7 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu 6 %	119
LAMPIRAN E.8 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu 6,5%	120
LAMPIRAN E.9 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu 7 %	120
LAMPIRAN E.10 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu 7,5 %	121
LAMPIRAN E.11 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> untuk Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum	122
LAMPIRAN E.12 Pemeriksaan Kadar Air Saat <i>Testing</i> pada Penundaan Pemadatan	123
LAMPIRAN E.13 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Kadar Aspal Residu 5,5 %	124
LAMPIRAN E.14 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Kadar Aspal Residu 6%	125
LAMPIRAN E.15 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Kadar Aspal Residu 6,5 %	126
LAMPIRAN E.16 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Kadar Aspal Residu 7%	127
LAMPIRAN E.17 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Kadar Aspal Residu 7,5%	128
LAMPIRAN E.18 Perhitungan Tebal Lapis Aspal Pada CAED	129
LAMPIRAN F.1 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> pada Laston <i>Hot Mix</i> untuk menentukan Kadar Aspal Optimum	131
LAMPIRAN F.2 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> pada Kdar Aspal Optimum Laston <i>Hot Mix</i>	132
LAMPIRAN G.1 Perhitungan <i>SGmix</i> pada Kadar Aspal Residu Optimum	134
LAMPIRAN G.2 Perhitungan <i>SGagg</i> pada Kadar Aspal Residu Optimum	134
LAMPIRAN G.3 Perhitungan Karakteristik <i>Marshall</i> Pada Kadar Aspal Residu Optimum	135
LAMPIRAN G.4 Pemeriksaan Kadar Air Saat <i>Testing</i> pada Kadar Aspal Residu Optimum	136
LAMPIRAN G.5 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Waktu <i>Setting</i> 1 hari	137

LAMPIRAN G.6 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Waktu Setting 3 hari	138
LAMPIRAN G.7 Perhitungan <i>VMA</i> dan <i>VFB</i> pada Waktu Setting 6 hari	139
LAMPIRAN H.1 Tabel Koreksi Tinggi Benda Uji <i>Marshall</i>	141
LAMPIRAN H.2 Tabel A0 untuk perhitungan <i>ITS</i>	142
LAMPIRAN I.1 Hasil Pengujian <i>ITS</i>	145
LAMPIRAN I.2 Hasil Pengujian <i>IRS</i>	146
LAMPIRAN I.3 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 6 Hari	148
LAMPIRAN I.4 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 6 Hari	149
LAMPIRAN I.5 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 6 Hari	149
LAMPIRAN I.6 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 3 Hari	150
LAMPIRAN I.7 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 3 Hari	150
LAMPIRAN I.8 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 3 Hari	151
LAMPIRAN I.9 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 1 Hari	151
LAMPIRAN I.10 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 1 Hari	152
LAMPIRAN I.11 Permeabilitas CAED pada Waktu <i>Setting</i> 1 Hari	152
LAMPIRAN I.12 Permeabilitas Laston <i>Hot Mix</i>	153
LAMPIRAN I.13 Permeabilitas Laston <i>Hot Mix</i>	153
LAMPIRAN I.14 Permeabilitas Laston <i>Hot Mix</i>	154

DAFTAR NOTASI DAN SINGKATAN

A_0	: Konstanta
AASHTO	: <i>American Association of State Highway Transportation</i>
AC	: <i>Asphalt Concrete</i> , lapisan aspal beton, Laston.
ASTM	: <i>American Society for testing and Materials</i>
CA	: Agregat kasar tertahan saringan No. 4
CAED	: Campuran aspal emulsi dingin
CEBR	: Campuran aspal emulsi dengan agregat bergradasi rapat
Dd	: Kepadatan <i>bulk</i> kering
FA	: Agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan No.200
FF	: Agregat halus lolos saringan No.200
h1	: Tinggi batas air paling atas pada tabung (cm)
h2	: Tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm)
ITS	: Kuat tarik tidak langsung (kg/cm ²)
KAO	: Kadar aspal optimum
KARO	: Kadar Aspal Residu Optimum.
Laston	: Lapisan aspal beton, beton aspal bergradasi menerus.
LPA	: Luas permukaan agregat
MF	: <i>Flow Marshall</i>
MQ	: <i>Marshall Quotient</i> (kg/mm)
MS	: <i>Marshall Stability</i> (kg)
Pb	: Kadar aspal perkiraan
P _{runtu}	: Beban puncak (kg)
RBC	: <i>Residual Bitumen Content</i> (kadar aspal)
SG_{Aspal}	: Berat jenis aspal
SG_{CA}	: Berat jenis agregat kasar
SG_F	: Berat jenis <i>filler</i>
SG_{FA}	: Berat jenis agregat halus

- SG_{mix} : Berat jenis campuran
TFA : Tebal film aspal,
VFWA : Rongga udara terisi aspal (%)
VITM : Rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%)
VMA : Rongga udara pada mineral agregat (%)



ABSTRAK

Penelitian mengenai penggunaan Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) di Indonesia masih belum banyak. Hal ini dapat diketahui dengan masih sedikitnya peneliti yang mengadakan penelitian dengan bahan aspal emulsi. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan Kadar Aspal Residu Optimum Campuran (KARO) pada Aspal Emulsi Dingin (CAED) menggunakan agregat dari wilayah Clereng, Kulonprogo dengan menganalisis kinerjanya jika pematatannya ditunda serta waktu settingnya divariasikan.

Campuran Aspal Emulsi Dingin menggunakan proporsi agregat bergradasi rapat Tipe IV. Pada campuran ditambahkan bahan aditif semen 1 % dengan penundaan pematatan 6 jam dan variasi waktu *setting* 1, 3, dan 6 hari. Campuran di bandingkan terhadap *Hot Mix* Laston AC-WC Nilai Stabilitas *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, Stabilitas Sisa dan Uji Permeabilitas.

Hasil dari penelitian yang sudah dilakukan menunjukkan bahwa penundaan pematatan pada CAED memberikan kepadatan optimum sehingga diperoleh porositas yang disyaratkan. Pada nilai Stabilitas *Marshall* terjadi peningkatan pada waktu *setting* hari 1 ke hari 3 sebesar 26% dan pada hari 3 ke hari 6 sebesar 4%. Pada nilai Stabilitas Sisa terjadi peningkatan pada waktu *setting* pada hari 1 ke hari 3 hari sebesar 17% dan pada hari 3 ke hari 6 sebesar 1%. Pada nilai *ITS* terjadi peningkatan nilai pada waktu *setting* hari 1 ke hari 3 sebesar 58% dan hari 3 ke hari 6 sebesar 10%, dan Koefisien Permeabilitas terjadi peningkatan pada waktu *setting* hari 1 ke hari 3 hari sebesar 25% dan pada hari 3 ke hari 6 sebesar 22%. Namun jika dibandingkan dengan hasil dari pengujian serupa yang dilakukan pada *Hot Mix*, kinerja Campuran Aspal Emulsi Dingin tidak lebih baik dari pada campuran panas.

Kata Kunci: Emulsi, CSS-1h, *Settiing*, Stabilitas, Tundaan Pematatan

ABSTRACT

Research on the use of Cold Asphalt Emulsion Mixtures (CAEM) in Indonesia is still limited. This is known since only a few researchers conduct research utilizing asphalt emulsion. The research aims to determine the optimum Residual Asphalt of Cold Asphalt Emulsion Mixture (CAEM) using local aggregates from Clereng, Kulonprogo by performance analyzing if the CAEM compaction is delayed and the curing time is variate.

The cold asphalt mixtures use the aggregates type IV. At the mixtures added with 1% cement as the additive with 6 hours delayed compaction and cured at 1, 3, and 6 days. compared to Asphalt Concrete Hot Mixture AC-WC of Marshall Stability value, Immersion test, Indirect Tensile strength test, and permeability test.

The research give the following result that the delay of the compaction of CAEM produced the best compaction so that the Porosity requirement is reached. In Marshall Stability value the increment of setting times on day 1 to day 3 is 26% and on day 3 to day 6 is 4%. In Immersion Test value the increment of setting times on day 1 to day 3 is 17% and on day 3 to day 6 is 1%. In Indirect Tensile Strength value the increment of setting times on day 1 to day 3 is 58% and on day 3 to day 6 is 10% and the Permeability Coefficient the increment of setting times on day 1 to day 3 is 25% and on day 3 to day 6 is 22%. But when compared to a similar test to Asphalt Concrete Hot Mixtures, the performance of Cold Asphalt Emulsion Mixtures is not as better as Asphalt Corencret Hot Mixtures.

Keywords: *Emulsion, CSS-1h, Setting, Stability, Delayed Compaction*

BAB I PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Perkembangan zaman banyak mempengaruhi konstruksi terutama di bidang jalan pada perkerasan lentur. Perkerasan lentur (*Flexible Pavement*) adalah sistem perkerasan jalan dimana konstruksinya terdiri atas beberapa lapisan. Pada perkerasan lentur banyak terjadi modifikasi dan teknologi baru di dalamnya, seperti pemanfaatan bahan limbah sebagai *filler* dan masih banyak lainnya.

Kondisi iklim dan keadaan alam juga menjadi faktor penunjang adanya inovasi dalam bidang konstruksi jalan, salah satunya adalah Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). Campuran aspal emulsi dingin adalah bahan untuk perkerasan lentur yang di mana agregat dan aspal dicampur dalam kondisi dingin atau tidak memerlukan pemanasan. Bahan perkerasan lentur yang umum digunakan di Indonesia adalah Campuran Aspal Panas, di mana aspal dan agregat dicampur dalam kondisi panas agar aspal dapat menyelimuti agregat dengan sempurna.

Aspal merupakan salah satu bahan pengikat perkerasan yang paling banyak dipakai. Aspal banyak tersedia di Indonesia, yang biasa diperoleh dari pengolahan minyak mentah yang banyak mengandung aspal. Aspal merupakan bahan *thermoplastis*, yaitu suatu sifat viskositas/kekentalan yang sangat dipengaruhi oleh temperatur. Pada saat temperatur rendah (dingin) aspal akan menjadi keras, dan sebaliknya saat temperatur tinggi (panas) aspal akan menjadi lebih lunak dan bersifat plastis.

Aspal emulsi merupakan aspal dalam bentuk emulsi pada suhu ruang. Aspal emulsi tidak memerlukan pemanasan untuk menjadikannya cair, sehingga lebih hemat. Aspal emulsi memiliki tingkat viskositas yang rendah, sehingga tidak perlu dipanaskan, tidak menimbulkan polusi, hemat biaya dan waktu. Aspal emulsi bersifat tidak akan mengeras jika disimpan, tetapi akan mengendap namun kondisi tersebut tidak akan mempengaruhi mutunya.

Campuran Aspal Emulsi Dingin dapat dipergunakan sebagai bahan konstruksi jalan atau bahan perkerasan lainnya sama halnya dengan campuran aspal panas. Kelebihan CAED dalam menghemat biaya pemanasan, kemudahan pelaksanaan pekerjaan dan ramah lingkungan memberi nilai tambah tersendiri dalam pelaksanaan konstruksi jalan beraspal. Dalam hal penghematan, CAED lebih efisien secara umum dari campuran aspal panas. Selain itu CAED juga memiliki kelebihan lain seperti tidak adanya bahaya kebakaran atau bahaya keselamatan pekerja akibat panas karena dalam prosesnya sendiri tidak membutuhkan pemanasan. Selama ini aspal emulsi hanya digunakan untuk keperluan khusus seperti *tack coat* dan *prime coat* (Thanaya & Wibawa, 2019).

Selain memiliki kelebihan, Aspal emulsi juga memiliki beberapa kekurangan seperti memerlukan waktu yang cukup lama untuk meningkatkan kekuatan dan kurang kuat pada umur awal. Hal ini dikarenakan komposisi dari aspal emulsi itu sendiri terdiri dari kandungan aspal (60%-70%), air (30%-40%), dan emulsifier (0,2%-0,50%). Untuk mempercepat peningkatan kekuatan, CAED bisa ditambahkan bahan aditif berupa semen sebanyak 1-2% dari berat agregat. Kadar semen yang lebih besar 2% dapat menyebabkan campuran terlalu kaku sehingga menjadi getas (Leech, 1994). CAED bisa digunakan di Indonesia karena Indonesia berada pada iklim tropis, hal ini akan sangat membantu mempercepat peningkatan kekuatan CAED setelah pemadatan akibat penguapan air didalamnya. Jika terjadi cuaca hujan yang biasa menghambat pekerjaan konstruksi pada campuran aspal panas maka hal ini tidak akan terjadi pada CAED karena bisa dilakukan penundaan pemadatan dengan mengesampingkan risiko campuran aspal akan menjadi keras.

Aspal emulsi mengandung aspal, *emulsifier*, dan air, penguapan air dalam kandungan campuran aspal emulsi akan menjadikan aspal emulsi menjadi keras. Pada penelitian ini aspal emulsi yang digunakan berupa CSS-1h, penggunaan CSS-1h dikarenakan aspal emulsi ini bersifat mengikat lambat dan sifatnya lebih cair sehingga memudahkan dalam pengerjaan. Campuran Aspal Emulsi Dingin dengan aspal emulsi CSS-1h akan dilakukan percobaan pemadatan langsung dan penundaan pemadatan selama 6 jam, 12 jam, dan 24 jam, di mana hasil spesimen dengan kekuatan dan porositasnya terbaik yang akan digunakan. Hasil pemadatan

akan dibandingkan kinerjanya terhadap Laston. Pemeriksaan lain yang dilakukan yaitu karakteristik *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Immersion Test*, dan Uji Permeabilitas. Aspal Emulsi CSS-1h merupakan aspal emulsi berjenis kationik, yaitu di mana aspal emulsi yang bermuatan listrik positif.

Pada penelitian ini diharapkan hasil dari pengujian CAED menggunakan aspal emulsi CSS-1h dengan dan tanpa penundaan pemadatan dapat memiliki nilai kestabilan yang mendekati atau sama dengan Laston, agar bisa menjadi pilihan alternatif metode konstruksi jalan beraspal di Indonesia pada daerah atau kondisi yang tidak memungkinkan untuk menggunakan Campuran Aspal Panas atau pada kondisi di mana pemadatan tidak bisa dilakukan karena pengaruh cuaca dan hal lainnya.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah yang akan menjadi objek penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Bagaimana kinerja CAED dengan pengujian *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Immersion Test* dan Uji Permeabilitas terhadap Laston?
2. Bagaimana pengaruh penundaan pemadatan terhadap kinerja CAED terhadap Laston?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan perumusan masalah di atas, maka penelitian ini memiliki tujuan sebagai berikut.

1. Membandingkan kinerja CAED dengan pengujian *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Immersion Test*, dan Uji Permeabilitas terhadap Laston.
2. Membandingkan pengaruh penundaan pemadatan CAED terhadap Laston.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah untuk mengetahui kinerja CAED menggunakan aspal emulsi CSS-1h terhadap Laston yang umum digunakan di Indonesia. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi metode alternatif konstruksi jalan beraspal pada daerah atau kondisi yang tidak memungkinkan untuk

menggunakan Campuran Aspal Panas, dan menjadi salah satu metode pilihan dalam meminimalisir polusi, bahaya kecelakaan pekerja akibat panas dan biaya pemanasan dalam suatu proyek konstruksi jalan.

1.5 Batasan Penelitian

Mengingat waktu penelitian yang terbatas dan untuk lebih terarahnya penelitian ini sehingga tidak menyimpang dari tujuan penelitian, maka penelitian ini dibatasi hal-hal berikut:

1. penelitian dilakukan pada Campuran *Asphalt Concrete Wearing Course* (AC-WC),
2. pengujian dilakukan berdasarkan standar Indonesia, yaitu Bina Marga,
3. bahan pengikat yang digunakan adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70,
4. agregat kasar dan halus yang digunakan diperoleh dari Clereng, Kulon Progo,
5. *filler* yang digunakan berupa abu batu,
6. aspal emulsi berjenis CSS-1h diperoleh dari PT Aspal Polimer Emulsindo, Demak,
7. pengujian dan analisis kimia terhadap CSS-1h tidak dilakukan,
8. penundaan pemadatan dilakukan dengan variasi 6 jam, 12 jam, dan 24 jam,
9. variasi kadar aspal pen 60/70 yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%,
10. variasi kadar aspal emulsi yang digunakan adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%,
11. waktu setting benda uji selama 24 jam, 72 jam, dan 144 jam di dalam ruangan,
12. pengujian terdiri dari *Marshall*, *Indirect Tensile Strength (ITS)*, *Immersion Test* dan Uji Permeabilitas, dan,
13. penelitian dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia.

BAB II STUDI PUSTAKA

2.1 Lapis Aspal Beton (Laston)

Lapis beton aspal (Laston) adalah suatu lapisan pada konstruksi jalan raya, yang terdiri dari campuran aspal keras dan agregat yang bergradasi menerus, dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu (Sukirman, 1999). Material agregatnya terdiri dari campuran agregat kasar, agregat halus dan filler yang bergradasi baik yang dicampur dengan *penetration grade asphalt*. Laston dikenal pula dengan nama *AC (Asphalt Concrete)*.

2.2 Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan suatu bahan campuran antara aspal keras, air dan tambahan bahan kimia lainnya yang diproses dalam suatu peralatan yang prinsipnya berupa koloid. Aspal emulsi mengandung muatan listrik, aspal emulsi dapat dibedakan atas beberapa jenis berikut.

1. Aspal kationik, disebut juga aspal emulsi asam, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik positif.
2. Aspal anionik, disebut juga aspal emulsi alkali, merupakan aspal emulsi yang bermuatan arus listrik negatif.
3. Aspal nionik, merupakan aspal emulsi yang tidak menghantarkan arus listrik.

Berdasarkan kecepatan mengerasnya aspal emulsi dapat dibedakan atas beberapa jenis berikut.

1. *Rapid Setting (RS)*, aspal yang mengandung sedikit bahan pengemulsi sehingga pengikatan yang terjadi cepat.
2. *Medium Setting (MS)*.
3. *Slow Setting (SS)*, aspal emulsi yang paling lama menguap.

2.2.1 Komponen Aspal Emulsi

Aspal emulsi terdiri dari beberapa komponen, meliputi aspal penetrasi, air dan pengemulsi. Aspal penetrasi merupakan komponen utama pada aspal emulsi sebagai bahan dasar pengikat. Aspal penetrasi yang digunakan harus memenuhi spesifikasi. Berikut komponen dari aspal emulsi.

1. Aspal Penetrasi (Aspal Keras)

Aspal penetrasi merupakan komponen utama yang penting untuk aspal emulsi. Aspal penetrasi yang umumnya digunakan untuk aspal emulsi adalah aspal penetrasi 60/70 atau aspal penetrasi 80/100. Aspal dengan nilai penetrasi 100, 200, atau 300 umumnya dipakai yaitu diemulsikan pada temperature di bawah titik didih air sehingga tidak memerlukan teknologi yang khusus (Whiteoak, 1990). Semakin tinggi nilai penetrasi aspal penetrasi yang digunakan, maka nilai titik lembek aspal emulsi akan cenderung rendah, namun bila menggunakan aspal penetrasi yang lebih keras kekuatan campuran menjadi lebih tinggi, diperlukan temperatur pencairan aspal dan temperatur pengemulsian yang lebih tinggi (Thanaya & Wibawa, 2019).

2. Air

Air merupakan komponen penting dalam komposisi aspal emulsi. Air berfungsi untuk melarutkan aspal emulsi sehingga aspal emulsi dapat diaplikasikan tanpa melalui proses pemanasan. Umumnya air dan aspal penetrasi tidak mudah bercampur dan homogen sehingga dibutuhkan pengemulsi agar air dan aspal penetrasi menjadi homogen (Thanaya & Wibawa, 2019).

3. Pengemulsi (*Emulsifier*)

Pengemulsi berupa larutan dipergunakan untuk memberikan muatan listrik pada permukaan butiran aspal dalam sistim emulsi. Larutan pengemulsi ini juga akan mempermudah penyebaran butiran aspal ke dalam air dan mempertahankan supaya butiran-butiran aspal tidak melekat satu sama lain, sehingga terbentuk larutan suspensi yang homogen (AkzoNobel, 2002).

2.2.2 Kecocokan (*Affinity*) Aspal Emulsi dengan Agregat

Penggunaan aspal emulsi untuk campuran aspal dingin, memiliki elemen kecocokan (*affinity*) (AkzoNobel, 2002). Pengaruh yang paling utama yaitu kandungan muatan listrik pada permukaan agregat. Secara teori aspal emulsi memiliki ikatan yang lebih baik dengan agregat yang memiliki muatan listrik berlawanan. Namun dengan perkembangan teknologi emulsi, aspal emulsi kationik juga bisa cocok dengan jenis agregat lain. Untuk mendapatkan hasil yang baik, perlu dilakukan tes penyelimutan aspal (*coating test*).

2.2.3 Mekanisme Penggabungan Butiran Aspal Emulsi dan Pelekatan ke Permukaan Agregat

Mekanisme melekatnya aspal pada agregat diawali dengan diserapnya pengemulsi bebas ke permukaan agregat, kemudian diikuti oleh emulsifier lain sesuai dengan luas permukaan agregat. Terserapnya pengemulsi bebas pada permukaan agregat mengakibatkan kestabilan butir aspal semakin berkurang dan akhirnya menggabung. Penguapan cairan mengakibatkan butiran-butiran aspal yang sudah menggabung menjadi melekat pada permukaan agregat.

Beberapa faktor yang mempengaruhi penggabungan butir aspal emulsi adalah sebagai berikut.

1. Penyerapan bahan pengemulsi ke permukaan agregat, mekanisme ini terjadi akibat adanya muatan listrik berlawanan pada bahan pengemulsi dan permukaan agregat yang dapat mengakibatkan tidak stabilnya butiran aspal dalam emulsi sehingga aspal menggabung satu sama lain.
2. Pergerakan butiran aspal menuju permukaan agregat, butiran aspal yang dikelilingi bahan pengemulsi bergerak menuju permukaan agregat yang bermuatan listrik berlawanan. Konsentrasi butiran aspal pada permukaan agregat mengakibatkan terjadinya penggabungan dan penyelimutan permukaan agregat.
3. Perubahan pH pada beberapa jenis agregat seperti batu kapur, *filler* dari batu kapur atau semen dapat menetralkan asam pada aspal emulsi kationik dan

meningkatkan nilai pH. Hal ini dapat mengakibatkan tidak stabilnya emulsi sehingga terjadinya penggabungan butiran aspal.

4. Penguapan air membuat butiran aspal jadi terkonsentrasi, sehingga butiran aspal menjadi bergabung. Penguapan bisa menjadi mekanisme penggabungan butir aspal yang paling utama untuk jenis aspal emulsi yang bereaksi sangat lambat.

2.3 Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)

Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) menggunakan aspal emulsi untuk mengikat agregat dan mencampurnya pada temperatur ruangan tanpa memerlukan pemanasan. Tidak diperlukannya proses pemanasan menjadikan CAED memiliki kelebihan seperti tingkat risiko yang lebih rendah, penghematan dan ramah lingkungan. Selain memiliki kelebihan CAED juga memiliki beberapa kelemahan yaitu kekuatan lemah pada umur awal, dan waktu *setting* yang lama.

CAED memerlukan proses penguapan kandungan air yang ada dalam campurannya agar kekuatan campuran meningkat, hal ini akan lebih cepat tercapai pada keadaan dengan temperatur hangat. Penambahan zat aditif berupa semen (1-2%) akan mempercepat proses peningkatan kekuatan pada CAED, penambahan kadar semen maksimal 2% dimaksudkan untuk menjaga campuran agar tidak kaku, sehingga menjadi getas (Leech, 1994).

2.3.1 Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)

Campuran emulsi bergradasi rapat (CEBR)/ *Dense Graded Emulsion Mixture* (DGEM) merupakan campuran aspal yang terdiri dari campuran agregat bergradasi rapat dengan aspal emulsi sebagai pengikat. CEBR memiliki gradasi baik untuk lapisan permukaan perkerasan jalan karena gradasi rapat mengandung semua ukuran agregat dari agregat kasar sampai agregat halus pada seluruh rentang ukuran butiran agregat dengan komposisi rapat saling mengunci (*interlock*). Aspal emulsi yang umumnya digunakan pada CEBR adalah aspal emulsi berjenis CSS (*Cationic Slow Setting*).

2.3.2 Kinerja Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)

CAED memerlukan penguapan kandungan air yang ada dalam campuran untuk meningkatkan kekuatan campuran, di mana hal ini akan lebih cepat tercapai pada keadaan temperatur hangat. Untuk mencapai kekuatan CAED setara dengan kekuatan *hot mix* (*Indirect Tensile Stiffness Modulus-ITSM*: 2000-2500 Mpa) diperlukan waktu 16 minggu. Bila spesimen CAED diberi 2% *rapid setting* semen-RSC, kekuatan akan tercapai dalam waktu 1,5 minggu (Thanaya & Wibawa, 2019).

2.3.3 Kekuatan Maksimal Campuran

Kekuatan pada umur awal CAED masih lemah karena aspal emulsi belum mengikat maksimal akibat kandungan air dalam campuran belum menguap total (Thanaya, Wibawa, Ariawan, & Purbanto, 2019). Pada akhir *setting* spesimen masih mengandung kadar air karena belum pada kondisi menguap total/ *full setting*, sehingga kekuatannya belum maksimal. Menurut Thanaya (2003), dengan pemadatan berat kadar air yang masih dalam sample setelah di *setting* masih sekitar 1% dari berat kering sample, disarankan agar spesimen CAED di *setting* dalam oven pada suhu 40°C sampai semua kadar airnya menguap (*full setting*), sehingga didapatkan kekuatan maksimal (*ultimate*). Spesimen bisa dikatakan dalam kondisi *full setting* jika beratnya sudah konstan.

2.4 Perbandingan Penelitian

Perbedaan penelitian pada Tugas Akhir ini dengan penelitian sebelumnya dapat dilihat pada Tabel 2.1 berikut.

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian

No	Aspek	Penelitian Terdahulu			
		Balqis (2014)	Hartanto (2016)	Muliawan (2011)	Muthia (2021)
1	Judul	Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Menggunakan Agregat Gradasi Rapat Tipe IV Tanpa dan Dengan Tundaan Pematatan 12 Jam Dengan Variasi Aditif Semen 1%	Analisa Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin dan Perbandingan Stabilitas Aspal Emulsi Dingin Dengan Laston	Analisis Karakteristik dan Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)	Perbandingan Kinerja Antara Campuran Aspal Emulsi Dingin C _{ss} -1h Dengan Dan Tanpa Penundaan Pematatan Terhadap Campuran Laston
2	Jenis Campuran	CAED Tipe IV	AC-WC	CAED Tipe V	CAED Tipe IV
3	Jenis Aspal	CSS-1h	CSS-1h, CMS-1, CRS-1	CSS-1h	CSS-1h
4	Metode	Campuran menggunakan variasi kadar aspal emulsi 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, dan 7,5%	Campuran menggunakan variasi kadar aspal emulsi 7%, 7,5%, 8%, 8,5%, 9% dan laston dengan kadar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%	Campuran menggunakan variasi aspal emulsi 6%, 6,5%, 7%, 7,5%, dan 8%	Campuran menggunakan variasi kadar aspal emulsi 5,5%, 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan laston dengan kadar 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%
5	Hasil Penelitian	Semen sebagai bahan aditif berpengaruh terhadap peningkatan nilai stabilitas dan nilai porositas. CAED tanpa tundaan pematatan dengan bahan aditif semen (1%) peningkatan stabilitas sebesar 29%, 46,2% dan 110,9% terhadap waktu setting 0 hari.	Perbandingan nilai rata-rata stabilitas aspal emulsi dan laston, aspal emulsi memiliki stabilitas lebih tinggi dari pada aspa; panas tipe laston kecuali aspal emulsi tipe CRS-1, tetapi aspal emulsi membutuhkan kadar aspal lebih tinggi dari pada laston agar stabilitasnya tinggi.	Perbandingan lama waktu <i>setting</i> dari 3 hari ke 6 hari memberikan hasil yang terbaik terhadap peningkatan stabilitas tanpa dan dengan penambahan semen 2%.	penundaan pematatan pada CAED memberikan kepadatan optimum sehingga diperoleh porositas yang disyaratkan. Lama waktu setting mempengaruhi nilai Stabilitas Marshall, Stabilitas Sisa, ITS, dan Koefisien Permeabilitas pada CAED peningkatan terjadi seiring dengan lama waktu setting. Kinerja Campuran Aspal Emulsi Dingin tidak lebih baik dari pada campuran panas

Sumber: Balqis, Hartanto dan Muliawan

BAB III

LANDASAN TEORI

3.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang terletak di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan, yang berfungsi memberikan pelayanan kepada sarana transportasi, dan selama masa pelayanan diharapkan tidak terjadi kerusakan. Agar perkerasan mempunyai daya dukung dan keawetan yang baik saat pelayanan jalan, maka perkerasan dibuat berlapis-lapis yang diletakkan di atas tanah dasar yang telah dipadatkan. Lapisan-lapisan tersebut berfungsi untuk menerima beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Lapisan paling atas disebut juga lapisan permukaan, merupakan lapisan yang paling baik mutunya, kemudian lapis pondasi yang terletak di atas lapisan tanah dasar (Sukirman, 2003).

5.1.1 Lapis Aspal Beton (Laston)

Aspal beton adalah jenis perkerasan jalan yang terdiri dari agregat dan aspal, dengan dan tanpa tambahan bahan (*additive*) yang dicampur dengan suhu tertentu. Campuran aspal beton memiliki sifat stabilitas, durabilitas, fleksibilitas, tahan terhadap geser, tahan terhadap kelelahan, kedap air dan mudah dilaksanakan.

Aspal beton dapat dibedakan berdasarkan suhu pencampuran dan fungsinya. Berdasarkan temperatur ketika mencampur dan memadatkan campuran, aspal beton dapat dibedakan menjadi tiga macam yaitu aspal beton campuran panas (*hot mix*), aspal beton campuran sedang (*warm mix*), aspal beton campuran dingin (*cold mix*) (Sukirman, 2003). Kemudian berdasarkan fungsinya, aspal beton dapat dibedakan menjadi aspal untuk lapisan aus (*wearing course*), aspal beton untuk lapisan pondasi (*binder course*) dan aspal beton untuk pembentuk dan perata lapisan aspal beton yang sudah lama (*overlay*).

Berdasarkan fungsinya, campuran laston dibedakan menjadi 3 jenis yaitu:

1. beton aspal lapis aus (*AC-WC*) dengan tebal minimum 4,0 cm,
2. beton aspal lapis fondasi atas (*AC-BC*) dengan tebal minimum 7,5 cm, dan

3. beton lapis fondasi (*AC-Base*) dengan tebal minimum 6,0 cm.

Karakteristik campuran yang harus dimiliki oleh aspal beton menurut Sukirman (2003), adalah stabilitas umur rencana, durabilitas, fleksibilitas, tahanan geser, kedap air, ketahanan kelelahan, dan mudah dilaksanakan (*workability*). Merujuk kepada karakteristik tersebut maka ketentuan campuran laston harus sesuai dengan standar yang ada di Indonesia, ketentuan sifat-sifat campuran aspal panas dan spesifikasi agregat menurut Bina Marga 2018 untuk Laston (AC) dapat dilihat pada Tabel 3.1 dan Tabel 3.2 berikut.

Tabel 3.1 Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Laston

Sifat-sifat Campuran		Laston		
		AC-WC	AC-BC	AC-Base
Jumlah tumbukan perbidang		75		112
Rasio partikel lolos ayakan 0,075 mm dengan kadar aspal efektif	Min	0,6		
	Maks	1,2		
Rongga dalam Campuran (VITM) (%)	Min	3,0		
	Maks	5,0		
Rongga dalam Agregat (VMA) (%)	Min	15	14	13
Rongga Terisi Aspal (VFWA) (%)	Min	65	65	65
Stabilitas <i>Marshall</i> (kg)	Min	800		1800
Pelelehan (<i>Flow</i>) (mm)	Min	2		3
	Maks	4		6
Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam, 60 °C	Min	90		
Rongga dalam Campuran (%) pada Kepadatan Membal (<i>refusal</i>)	Min	2		

Sumber: Bina Marga (2018)

Tabel 3.2 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Aspal

No Saringan	Ukuran Ayakan (mm)	LASTON (AC)		
		WC	BC	Base
1,5"	37,5			100
1"	25		100	90-100
3/4"	19	100	90-100	76-90
1/2"	12,5	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	77-90	66-82	52-71
#4	4,75	53-69	46-64	35-54
#8	2,36	33-53	30-49	23-41
#16	1,18	21-40	18-38	13-30
#30	0,600	14-30	12-28	10-22
#50	0,300	9-22	7-20	6-15
#100	0,150	6-15	5-13	4-10
#200	0,075	4-9	4-8	3-7

Sumber: Bina Marga (2018)

3.2 Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan hasil dispersi bahan aspal penetrasi dalam air secara merata dengan menggunakan pengemulsi yang berfungsi mengikat molekul aspal dan molekul air. Aspal emulsi merupakan jenis aspal dalam bentuk emulsi pada suhu ruang dengan komposisi kandungan aspal (60%-70%), air (30%-40%), dan pengemulsi (0,5%-1%) (Thanaya & Wibawa, 2019). Berikut pengujian yang umumnya dilakukan untuk aspal emulsi.

3.2.1 Pemeriksaan Kadar Residu Aspal Emulsi

Pemeriksaan kadar residu aspal emulsi dimaksudkan untuk memperoleh nilai kadar residu aspal emulsi. Pemeriksaan kadar residu aspal emulsi dilakukan dengan cara penyulingan atau penguapan. Nilai kadar residu aspal emulsi dengan cara penguapan merupakan persentase berat residu aspal emulsi dengan berat benda uji

aspal emulsi. Pemeriksaan kadar residu aspal emulsi dengan cara penguapan menggunakan rujukan metode SNI 03-6829-2002.

3.2.2 Syarat Aspal Emulsi

Aspal emulsi yang digunakan untuk keperluan konstruksi jalan harus memenuhi syarat-syarat spesifikasi. Karakteristik yang telah didapat melalui pemeriksaan aspal emulsi dikontrol dengan spesifikasi agar sesuai dengan persyaratan yang berlaku. Pengujian mutu aspal emulsi harus memenuhi Spesifikasi aspal emulsi menurut SNI 03-4798-2011 tercantum pada Tabel 3.3 berikut.



Tabel 3.3 Persyaratan Aspal Emulsi Kationik

Jenis Pengujian	Satuan	Metode Uji	Tipe															
			Mengikat Lambat				Mengikat Sedang				Mengikat Cepat				Mengikat lebih Cepat			
			Kelas															
			CSS-1		CSS-1h		CMS-2		CMS-2h		CRS-1		CRS-2		CQS-1h			
Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks	Min	Maks			
A. Aspal emulsi																		
1	Viskositas; <i>Sybolt Furol</i> : 25°C	detik	SNI 03-6721	20	100	20	100	-	-	-	-	-	-	-	-	20	100	
2	Viskositas; <i>Sybolt Furol</i> : 50°C	detik	SNI 03-6722	-	-	-	-	50	450	50	450	20	100	100	400	-	-	
3	Stabilitas penyimpanan 24 jam	%	SNI 03-6828	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	1	-	-	
4	Pemisahan; 35 mL; 0,8% <i>dioktyl sodium sulfosucinat</i> .	%	AASTO T-59 Butir 7	-	-	-	-	-	-	-	-	40	-	40	-	-	-	
5	Kemampuan penyelimutan & ketahanan thd air	-	SNI 03-3645	-	-	-	-	Baik	Baik	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Penyelimutan, agregat kering	-		-	-	-	-	-	Sedang	Sedang	-	-	-	-	-	-	-	-
	- Penyelimutan, agregat kering, setelah disemprot air	-		-	-	-	-	-	Sedang	Sedang	-	-	-	-	-	-	-	-
	- Penyelimutan, agregat basah	-		-	-	-	-	-	Sedang	Sedang	-	-	-	-	-	-	-	-
	- Penyelimutan, agregat basah, setelah disemprot air	-		-	-	-	-	-	Sedang	Sedang	-	-	-	-	-	-	-	-
6	Muatan Partikel	%	SNI 03-3644	Positif		Positif		Positif		Positif		Positif		Positif		Positif		
7	Analisis saringan	%	SNI 03-3643	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	-	0,10	
8	Uji Campuran semen	%	SNI 03-6830	-	2,0	-	2,0	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
9	Penyulingan:		SNI 03-3642	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	
	- Destilat minyak;	% Vol Emulsi		-	-	-	-	-	12	-	12	-	3	-	3	-	-	
	- Residu penyulingan; %	%		57	-	57	-	65	-	65	-	60	-	65	-	57	-	
B. Pengujian residu penyulingan																		
1	Penetrasi; 25°C; 100 gram; 5 detik	0,1 mm	SNI 06-2456	100	250	40	90	100	250	40	90	100	250	100	250	40	90	
2	Daktalitas; 25°C; 5 cm/menit	Cm	SNI 06-2432	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	40	-	
3	Kelarutan dalam <i>trikoloroetilena</i>	%	SNI 06-2438	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	97,5	-	

Sumber: SNI 03-4798-2011

3.3 Material Penyusun Perkerasan AC-WC

3.3.1 Aspal

Aspal adalah material *thermoplastis* yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau viskositas yang sama pada temperatur tertentu. Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan (Sukirman, 2007).

Berdasarkan tempat diperolehnya, aspal dibedakan menjadi aspal minyak dan aspal alam.

1. Aspal Minyak bumi adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi. Hasil destilasi minyak bumi menghasilkan bensin, minyak tanah, dan solar yang diperoleh pada temperatur berbeda, sedangkan aspal merupakan residunya. Residu aspal berbentuk padat, tetapi dapat pula berbentuk cair atau emulsi pada temperatur ruang.
2. Aspal Alam adalah aspal yang diperoleh di gunung-gunung seperti aspal di pulau buton, dan ada pula yang diperoleh di pulau Trinidad berupa aspal danau. Aspal alam terbesar di dunia terdapat di Trinidad, berupa aspal danau. Indonesia memiliki aspal alam yaitu di Pulau Buton, yang terkenal dengan nama Asbuton (Aspal Pulau Buton).

Pada penelitian ini akan digunakan aspal pen 60/70. Aspal Pertamina Pen 60/70 termasuk aspal hasil residu minyak bumi yang berbentuk padat atau biasa disebut aspal keras. Adapun persyaratan aspal keras terdapat pada Bina Marga 2018 dan dapat dilihat pada Tabel 3.4 berikut.

Tabel 3.4 Persyaratan Aspal Keras

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Tipe I Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi	
				Elastomer Sintetis	
				PG70	PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70		
2	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 1,0$ kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	70	76
3	Viskositas kinematis 135°C (cSt)	ASTM D2170-10	≥ 300	≤ 3000	
4	Titik Lembek (°C)	SNI 2434:2011	≥ 48		
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-	
6	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230	
7	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	AASHTO TAA-14	≥ 99	≥ 99	
8	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-	
9	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek (°C)	ASTM D 5976-60 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\leq 2,2$	
10	Kadar Parafin Lilin (%)	SNI 03-3639-2002	≤ 2		
Pengujian Residu TFOF (SNI-2440-1991) atau RTFOF (SNI-03-6835-2002)					
11	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441-1991	$\leq 0,8$	$\leq 0,8$	
12	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik $\geq 2,2$ kPa, (°C)	SNI 06-2442-2000	-	70	76
13	Penetrasi pada 25°C (% semula)	SNI 2456:2011	≥ 54	≥ 54	≥ 54
14	Daktilitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥ 50	≥ 50	≥ 25
Residu aspal segar setelah PAV (SNI 03-6837-2002) pada temperature 100°C dan tekanan 2,1 MPa					
15	Temperatur yang menghasilkan Geser Dinamis ($G^*/\sin\delta$) pada osilasi 10 rad/detik ≤ 5000 kPa, (°C)	SNI 06-6442-2000	-	31	34

Sumber: Bina Marga 2018

3.3.2 Agregat

Agregat merupakan sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya dengan ukuran yang bervariasi, agregat bisa diperoleh dari hasil alam atau buatan. Agregat yang dipakai dalam campuran aspal harus memenuhi persyaratan standar yang sudah ditentukan pada Bina Marga 2018, berikut Tabel 3.5 dan Tabel 3.6 yang mencakup persyaratan agregat kasar dan halus.

Tabel 3.5 Persyaratan Pemeriksaan Agregat Kasar

Pengujian		Metode Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan		natrium sulfat	Maks 12%
		magnesium sulfat	Maks 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 7619:2012	100/95*
	Lainnya		95/90**
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material lolos Ayakan no.200		SNI ASTM C117: 2012	Maks 1%

Sumber: Bina Marga 2018

Tabel 3. 6 Persyaratan Pemeriksaan agregat Halus

No	Pengujian	Satuan	Standar	Syarat
1	Nilai setara pasir	%	SNI 03-4428-1997	Min 50%
2	Angularitas dengan uji kadar rongga	-	SNI 0306877-2002	Min 45
3	Gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat	%	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
4	Agregat lolos ayakan no. 200	%	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

Sumber: Bina Marga 2018

3.3.3 Bahan Pengisi (*Filler*)

Bahan pengisi (*filler*) berfungsi sebagai pengisi rongga udara pada material sehingga membuat lapisan aspal menjadi lebih kaku. *Filler* agregat merupakan material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm). Bahan yang sering digunakan

untuk *filler* adalah semen, *fly ash*, abu, sekam, debu batu kapur dan semen *portland* atau bahan lainnya yang sesuai standar dan mampu mengisi bagian-bagian kosong dari aspal beton. Adapun persyaratan *filler* dapat dilihat pada Tabel 3.7 berikut.

Tabel 3.7 Ketentuan *Filler*

Pengujian	Standar	Nilai
Material lolos saringan no.200	SNI ASTM C136: 2012	Min 75%

Sumber: Bina Marga 2018

3.4 Material Penyusun Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR)

3.4.1 Agregat

Gradasi agregat CEBR dibagi menjadi 5 tipe (tipe I-V), pada penelitian ini gradasi agregat yang akan digunakan adalah tipe IV yang agregatnya diperoleh dari Clereng, Kulon Progo. Spesifikasi agregat CEBR/DGEM berdasarkan penelitian sebelumnya adalah Asphalt Institute (1979) dapat dilihat pada Tabel 3.8 sampai Tabel 3.10 berikut.

Tabel 3.8 Spesifikasi Gradasi Agregat CEBR/DGEM

Ukuran Ayakan		Tipe CEBR/DGEM					Tipe VI
No	mm	I	II	III	IV	V	<i>Sand mix</i>
2"	50	100					
1 ½"	37,5	90-100	100				
1"	25		90-100	100			
¾"	19	60-80		90-100	100		
½"	12,5		60-80		90-100	100	100
3/8"	9,5			60-80		90-100	
No.4	4,75	20-55	25-60	35-65	45-70	60-80	75-100
No.8	2,36	10-40	15-45	20-50	25-55	35-65	
No.16	1,18						
No.30	0,6						
No.50	0,3	2-16	3-18	3-20	5-20	6-25	15-30
No.100	0,15						

Lanjutan Tabel 3.8 Spesifikasi Gradasi Agregat CEBR/DGEM

Ukuran Ayakan		Tipe CEBR/DGEM					Tipe VI
No	mm	I	II	III	IV	V	Sand mix
No.200	0,075	0-5	1-7	2-8	2-9	2-10	5-12
Sand equivalent (%)		35 min	35 min	35 min	35 min	35 min	30 min
Los angeles test 50 putaran		40 max	40 max	40 max	40 max	40 max	
Bidang pecah (%)		65 min	65 min	65 min	65 min	65 min	65 min

Sumber: *Asphalt Institute* (1979)

Tabel 3.9 Syarat Gradasi Agregat Kasar CEBR/DGEM

Ukuran Ayakan		Persentase Berat Agregat Lolos
No	mm	Untuk semua Tipe CEBR/DGEM
2"	50	100
1 1/2"	37,5	90-100
1"	25	20-100
1/2"	12,5	5-100
3/8"	9,5	0-100
No.4	4,75	0-30
No.8	2,36	0-10
No.200	0,075	0-5

Sumber: *Asphalt Institute* (1979)

Tabel 3.10 Syarat Gradasi Agregat Halus CEBR/DGEM

Ukuran Ayakan		Persentase Berat Agregat Lolos
No	mm	Untuk semua Tipe CEBR/DGEM
3/8"	9,5	100
No.4	4,75	90-100
No.8	2,36	20-100
No.30	0,6	5-100
No.200	0,075	1-11

Sumber: *Asphalt Institute* (1979)

Menurut MPW RI (1990) dan Dep. PU pada Thanaya & Wibawa, 2019 karakteristik CEBR/DGEM di antaranya meliputi: kadar bitumen efektif, kadar bitumen terserap, kadar bitumen total, kadar emulsi total, stabilitas rendaman, stabilitas sisa, kadar rongga potensial campuran/VIM, penyerapan air, dan tebal film bitumen/TFA (Tebal Film Aspal). Kriteria syarat sifat campuran gradasi CEBR/DGEM berdasarkan MPW RI (1990) dan Dep. PU (1991) dapat dilihat pada Tabel 3.11 berikut.

Tabel 3.11 Persyaratan Sifat Campuran Gradasi CEBR/DGEM

Sifat Campuran	Batasan	Tipe CEBR/DGEM					<i>Sand mix well graded</i>
		I	II	III	IV	V	
Kadar bitumen efektif (%)	minimal	4	4,5	5	5,5	6	7,5
Kadar bitumen terserap (%)	maksimal	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7	1,7
Kadar bitumen total (%)	minimal	4,5	5	5,5	6	6,5	8,0
Stabilitas rendaman (kg)	minimal	300	300	300	300	300	300
Stabilitas sisa (% thd stabilitas kering semula sesudah 48 jam)	minimal	50	50	50	50	50	50
Kadar rongga potensial/VIM (% thd berat total campuran padat)	rentang	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10	5-10
Penyerapan air (% thd berat total campuran padat)	maksimal	4	4	4	4	4	4
Tebal film bitumen	minimal	8	8	8	8	8	8
Tingkat penyelimutan (% thd total permukaan agregat)	minimal	75	75	75	75	75	75

Sumber: MPW RI (1990), dan Dep. PU (1991)

3.4.2 Aspal Emulsi

Aspal emulsi yang digunakan untuk CAED disesuaikan dengan tipe CAED tersebut. Aspal emulsi yang digunakan untuk CEBR/DGEM umumnya aspal emulsi berjenis *Cationic Slow Setting* (CSS), seperti: CSS-1 dan CSS-1h. Pada penelitian ini digunakan aspal emulsi berjenis CSS-1h.

3.4.3 Air

Air merupakan komponen penting untuk membantu aspal emulsi menyelimuti agregat. Air berperan sebagai *viscosity reducing* agar aspal lebih mudah menyelimuti agregat dalam campuran. Air yang digunakan adalah air bersih

yang tidak menyebabkan penurunan kualitas campuran. Menurut (Thanaya & Wibawa, 2019) syarat spesifik air yang digunakan untuk campuran CAED adalah sebagai berikut:

1. air harus bersih, tidak keruh, dan tidak terdapat endapan zat terlarut,
2. air tidak berwarna dan berasa,
3. air tidak meninggalkan bahan kimia yang mengandung zat beracun,
4. pH air normal dan tidak cenderung bersifat asam atau basa, dan
5. air tidak bersifat korosif.

3.4.4 Semen Sebagai Bahan Aditif

Semen berfungsi untuk mempercepat peningkatan kekuatan, CAED bisa ditambahkan bahan aditif berupa semen sebanyak 1-2% dari berat agregat. Kadar semen yang lebih besar 2% dapat menyebabkan campuran terlalu kaku sehingga menjadi getas (Leech, 1994). CAED setara dengan kekuatan *hot mix (Indirect Tensile Stiffness Modulus-ITSM: 2000-2500 Mpa)* diperlukan waktu 16 minggu. Bila spesimen CAED diberi 1%-2% *rapid setting* semen-RSC atau Semen *Portland* Tipe III, kekuatan akan tercapai dalam waktu 1,5 minggu (Thanaya & Wibawa, 2019).

3.5 Desain Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)

3.5.1 Pemeriksaan Kadar Residu Aspal Emulsi

Pemeriksaan kadar residu aspal emulsi dilakukan untuk menentukan persentase kadar residu yang terkandung dalam aspal emulsi (Thanaya I. N., 2003). Kadar residu pada aspal emulsi dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$X = \frac{(WC-WA)}{(WB-WA)} \times 100\% \quad (3.1)$$

di mana:

WA = berat wadah,

WB = berat benda uji + wadah (sebelum di oven), dan

WC = berat benda uji + wadah (setelah di oven).

3.5.2 Estimasi Kadar Aspal Emulsi Awal

Penentuan kadar aspal emulsi awal dapat menggunakan cara-cara empiris, antara lain menggunakan rumus (*Asphalt Cold Mix Manual MS-14, 1989*) berikut.

$$P = (0,05A + 0,1B + 0,5C) \times (0,7) \quad (3.2)$$

di mana:

- P = % kadar aspal residu awal,
- A = % agregat kasar,
- B = % agregat halus, dan
- C = % *filler*.

Langkah selanjutnya adalah menentukan kadar aspal emulsi (KAE) awal terhadap berat total campuran, dengan rumus sebagai berikut.

$$\text{KAE awal} = (P/X) \% \quad (3.3)$$

di mana :

- P = % kadar aspal residu awal, dan
- X = % kadar residu dari aspal emulsi.

3.5.3 Tes Penyelimutan (*Coating Test*)

Tes penyelimutan (*coating test*) dilakukan dengan menggunakan agregat kering yang sudah ditakar sesuai gradasi, kemudian agregat dibuat menjadi lembab secara merata dengan beberapa variasi kadar air yang bertujuan untuk memudahkan aspal emulsi menyelimuti permukaan agregat. Air berperan sebagai *viscosity reducing agent* yang berfungsi untuk menurunkan kekentalan aspal emulsi. Kadar air optimum untuk tes ini diambil pada variasi kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik yang diobservasi secara visual, di mana campuran tidak terlalu encer atau kaku (Thanaya I. N., 2002).

3.5.4 Persiapan Campuran dan Energi Pematatan

Pemeriksaan ini dilakukan untuk mengetahui campuran dengan kadar penyelimutan terbaik dan *workability* yang cukup dan energi pematatan untuk mendapatkan nilai stabilitas terbaik. Campuran CAED gembur sejumlah 1000-1200 gram dituangkan ke dalam *mould* yang sudah diberi lapisan oli tipis. Kemudian campuran ditumbuk sebanyak 15 kali dengan batang besi berdiameter 12 mm pada sekeliling *mould* dan 10 kali pada bagian tengahnya, lalu dipadatkan dengan palu *marshall* seberat 4,5 kg dengan tinggi jatuh 47,5 cm sebanyak 2x50 (MPW-RI, 1990).

Benda uji yang sudah dilakukan pematatan kemudian didiamkan di dalam *mould* selama 24 jam pada suhu ruang. Pada saat *setting*, kedua sisi sampel harus memperoleh efek penguapan yang sama dan tidak tergantung dalam *mould*. Kemudian benda uji dikeluarkan lalu ditimbang dan ditentukan berat keringnya. Penentuan volume pada CAED memerlukan ketelitian, di mana biasanya penentuan volume pada sampel dilaksanakan dengan penimbangan di udara dan penimbangan saat seluruh bagian sampel berada di dalam air. Namun karena kondisi sampel yang masih lemah, maka volume sampel dapat ditentukan dengan mengukur dimensi sampel saja. Karena sampel masih dalam keadaan belum benar-benar kering dan untuk mengeringkan sampel secara penuh memerlukan waktu yang lama untuk efisiensi waktu dalam menentukan kepadatan kering. CAED menjadi semakin kaku saat dipadatkan, karena butiran-butiran aspal emulsi mulai saling berkaitan, maka energi pematatan perlu ditingkatkan agar bisa mencapai kepadatan tertentu yang memberikan porositas yang diinginkan. Kepadatan kering dapat dihitung dengan menggunakan rumus pada Persamaan 3.4 (*Asphalt Cold Mix Manual MS-14, 1989*):

$$D_d = \frac{(100+RBC)}{(100+RBC+w)} \times D \quad (3.4)$$

di mana:

D_d = Kepadatan *bulk* kering,

RBC = *Residual Bitumen Content* (kadar aspal),

- w = kadar air saat *testing*,
 D = *Bulk density* saat *testing* (masih basah).

Untuk kadar air sampel pada saat *testing* (w) dicari dengan menggunakan sekitar 500 gram dari sampel basah yang telah selesai diuji modifikasi *Marshall*. Perhitungan kadar air saat *testing* dapat dihitung dengan persamaan berikut menurut (Asphalt Cold Mix Manual MS-14, 1989).

$$D = \frac{\text{berat sampel basah (gram)}}{\text{berat sampel kering (gram)}} \times (100 + RBC) \quad (3.5)$$

3.5.5 Porositas (*VIM*)

Setelah kepadatan bulk kering diperoleh, maka porositas dapat dihitung dengan persamaan 3.6 berikut. Bila porositas (*VIM*) belum memenuhi spesifikasi, maka energi pemadatan dapat ditingkatkan.

$$P(\%) = \left(1 - \frac{D_d}{SG_{mix}}\right) \times 100\% \quad (3.6)$$

di mana SG_{mix} dihitung dengan rumus berikut.

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\%CA}{SG_{CA}} + \frac{\%FA}{SG_{FA}} + \frac{\%F}{SG_F} + \frac{\%Aspal}{SG_{Aspal}}} \quad (3.7)$$

di mana:

- SG_{mix} = Berat jenis campuran,
 $\%CA$ = Proporsi agregat kasar terhadap campuran (%),
 $\%FA$ = Proporsi agregat halus terhadap campuran (%),
 $\%F$ = Proporsi *filler* terhadap campuran (%),
 $\%Aspal$ = Proporsi aspal terhadap campuran (%),
 SG_{CA} = Berat jenis agregat kasar,
 SG_{FA} = Berat jenis agregat halus,
 SG_F = Berat jenis *filler*,
 SG_{Aspal} = Berat jenis aspal.

3.5.6 Rongga Di antara Agregat (*VMA*)

VMA dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$VMA = 100 - \left(\frac{\%W_{agg}}{SG_{agg}} \right) \times D \quad (3.8)$$

Untuk menghitung nilai *VMA* diperlukan persentase berat agregat dari total campuran dan berat jenis agregat. Berat jenis agregat dihitung berdasarkan berat total agregat dengan menggunakan persamaan berikut.

$$SG_{agg} = \frac{100}{\frac{\%CA}{SG_{CA}} + \frac{\%FA}{SG_{FA}} + \frac{\%F}{SG_F}} \quad (3.9)$$

3.5.7 Rongga Terisi Aspal (*VFB*)

VFB dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$VFB = \frac{VMA - VIM}{VMA} \times 100\% \quad (3.10)$$

3.5.8 *Setting*

Setting adalah keadaan di mana benda uji dikondisikan dalam suhu ruang yang bertujuan untuk mengeluarkan air dalam CAED atau menguapkan air sehingga mencapai kepadatan optimum. Stabilitas atau kekuatan maksimal CAED yang sudah dipadatkan dapat diperoleh jika sudah tidak ada kandungan air di dalam campuran. Untuk memperoleh stabilitas kekuatan maksimal CAED, sampel yang sudah dipadatkan dikondisikan dalam oven pada suhu 40°C sampai seluruh kadar airnya menguap. Suatu campuran bisa dikatakan dalam kondisi seluruh kadar air sudah menguap (*full setting*) jika berat sampel sudah konstan. Berikut proses *setting* CAED.

1. *Setting* dalam *Oven*

Benda uji di *setting* dalam *mould* dengan akses udara yang sama pada kedua sisinya selama 24 jam, kemudian dikeluarkan dari dalam *mould* dan di *oven* dengan suhu 40°C selama 24 jam dan didinginkan pada suhu ruang ($\pm 28^\circ\text{C}$) selama 24 jam juga.

2. *Setting Soaking*

Benda uji dari proses setting dalam oven, direndam dalam bak air yang di dasarnya beralaskan pasir kasar. Benda uji direndam setengah ketinggiannya selama 24 jam lalu di balik dan direndam lagi selama 24 jam. Benda uji dikeringkan dengan lap kemudian timbang untuk pengujian penyerapan air sesudah perendaman. Benda uji dari proses *setting soaking* diuji untuk mendapatkan stabilitas rendaman.

3.5.9 Penyerapan Air (*Water Absorption*)

Penyerapan kadar (*water absorption*) air merupakan persentase air yang diserap pada campuran terhadap berat total campuran sebelum diserap air. Penyerapan kadar air dihitung pada kondisi campuran yang sudah dipadatkan. Penyerapan kadar air pada CAED dihitung berdasarkan persentase selisih berat sampel campuran yang sudah dipadatkan dalam kondisi terendam dengan berat sampel campuran yang sudah dipadatkan sebelum diresapi air terhadap berat sampel campuran yang dipadatkan sebelum diresapi air.

3.5.10 Tebal Film Aspal (TFA)

Tebal Film Aspal (TFA) merupakan tebal aspal efektif menyelimuti permukaan agregat. Berdasarkan (*Asphalt Cold Mix Manual MS-14, 1989*) untuk menentukan tebal film aspal diperlukan data luas permukaan agregat (*aggregate surface area*) yang diperoleh dengan mengalikan antara persentase lolos kumulatif masing-masing ayakan dengan faktor luas permukaan (*surface area factor*). Tebal film aspal dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$TFA = \frac{\% \text{ Aspal}}{100 - \% \text{ Aspal}} \times \frac{1}{SG_{\text{Aspal}}} \times \frac{1}{LPA} \times 100\% \quad (3.11)$$

di mana:

TFA = Tebal film aspal,

% Aspal = Kadar aspal (kadar aspal residu),

SG_{Aspal} = Berat jenis aspal (kadar aspal residu),

LPA = Luas permukaan agregat.

Nilai Luas Permukaan Agregat (LPA) pada perhitungan TFA dimasukkan dalam satuan m^2/kg , akan memberikan nilai TFA dalam mm, di mana 1 mikron 10^{-3} mm. Cara perhitungan luas permukaan agregat dilakukan dengan cara pendekatan empiris. Perhitungan luas permukaan agregat terhadap suatu gradasi dengan kumulatif persentase lolos masing-masing dengan terlebih dahulu menentukan faktor luas permukaan agregat pada Tabel 3.12 berikut.

Tabel 3.12 Faktor Luas Permukaan (*surface area factor*) Agregat

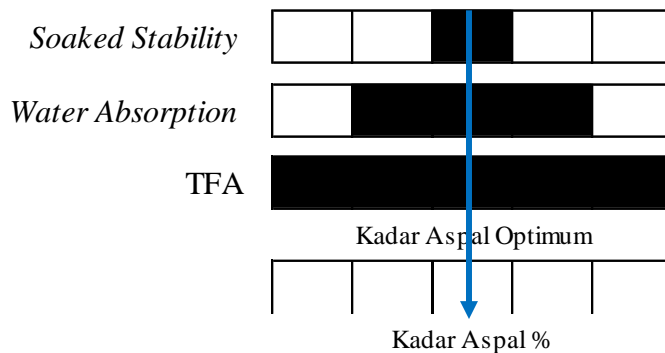
Agregat Lolos Saringan		Faktor Luas Permukaan Agregat
No Saringan	Ukuran (mm)	
No. maksimum (> No.4)	> 4,75	0,41
No. 4	4,75	0,41
No. 8	2,36	0,82
No. 16	1,18	1,64
No. 30	0,6	2,87
No. 50	0,3	6,14
No. 100	0,15	12,29
No. 200	0,075	32,77

Sumber: Asphalt Institute (1989)

3.5.11 Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO)

Kadar aspal residu optimum adalah kadar aspal yang bisa menghasilkan sifat campuran terbaik. Penentuan KARO dengan mengoptimalkan stabilitas rendaman dan kepadatan bulk kering, dan untuk parameter lainnya seperti nilai pori penyerapan air dan tembal film aspal dievaluasi berdasarkan spesifikasi yang ada, sehingga untuk penentuan KARO parameter-parameter tersebut harus memenuhi spesifikasi yang juga akan terlihat pada grafik hubungan antara parameter tersebut terhadap kadar aspal, dalam menentukan KARO.

Dalam menentukan KARO, terlebih dahulu membuat spesimen nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi semua spesifikasi campuran. Variasi dengan beda $\pm 0,5\%$ sebanyak dua variasi di bawah dan dua variasi di atas kadar residu awal (Sukirman, 2003).



Gambar 3. 1 Contoh Penentuan KARO

Sumber: The Asphalt Institute (1989)

3.6 Karakteristik *Marshall Test*

Perhitungan yang menjadi acuan dalam analisis yaitu berdasar dari SNI 06-2489-1991 dan *The Asphalt Institute* sebagai berikut.

3.6.1 Berat Jenis Asphalt

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Berat jenis aspal dapat di peroleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$SG_{Aspal} = \frac{(f-d)}{(e-d)-(g-f)} \quad (3.12)$$

di mana:

d = berat piknometer kosong,

e = berat piknometer dan air,

f = berat piknometer dan benda uji, dan

g = berat piknometer, benda uji dan air.

3.6.2 Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat

Agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda, baik berat jenis kering dan berat jenis semu. Penyerapan terhadap air dan berat jenis efektifnya juga berbeda antara agregat halus dan kasar.

1. Agregat Halus

a. Berat jenis kering

$$S_d = \frac{Bk}{(B+SSD-Bt)} \quad (3.13)$$

b. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{Bk}{(B+Bk-Bt)} \quad (3.14)$$

c. Penyerapan air

$$S_w = \left[\frac{SSD-Bk}{Bk} \times 100\% \right] \quad (3.15)$$

d. Berat jenis efektif

$$SG_{FA} = \frac{S_a+S_d}{2} \quad (3.16)$$

di mana:

S_d = berat jenis kering,S_a = berat jenis semu,S_w = penyimpanan air,B_k = berat pasir kering,

B = berat piknometer + air,

B_t = berat piknometer + pasir + air, dan

SSD = berat pasir kering permukaan.

2. Agregat Kasar

a. Berat jenis kering

$$S_d = \frac{a}{(b-c)} \quad (3.17)$$

b. Berat jenis semu

$$S_a = \frac{a}{(a-c)} \quad (3.18)$$

c. Penyerapan air

$$S_w = \left[\frac{b-a}{a} \times 100\% \right] \quad (3.19)$$

d. Berat jenis efektif

$$SG_{CA} = \frac{S_a+S_d}{2} \quad (3.20)$$

di mana:

- Sd = berat jenis kering,
- Sa = berat jenis semu,
- Sw = penyerapan air,
- a = berat benda uji kering oven,
- b = berat benda uji jenuh kering permukaan, dan
- c = berat benda uji dalam air.

3.6.3 Rongga dalam Agregat (VMA)

Rongga antar mineral agregat (VMA) adalah rongga di antara partikel agregat pada suatu perkerasan, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif yaitu tidak terhadap volume aspal yang diserap agregat. VMA akan meningkat jika aspal menyelimuti agregat lebih tebal atau agregat yang digunakan bergradasi terbuka. VMA dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$VMA = 100 - \frac{(100 - i) \times \text{berat volume benda uji}}{h} \quad (3.21)$$

di mana:

- VMA = rongga udara pada mineral agregat (%),
- i = kadar aspal terhadap campuran (%), dan
- h = berat jenis efektif.

3.6.4 Rongga dalam Campuran (VITM)

Rongga udara dalam campuran (VITM) perkeras beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. VITM dapat dihitung dengan persamaan.

$$VITM = 100 - \frac{100 \times \text{berat volume benda uji}}{j} \quad (3.22)$$

Berat jenis maksimum teoritis dapat dihitung dengan persamaan.

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\% \text{ agregat}}{SG \text{ agregat}} + \frac{\% \text{ aspal}}{SG \text{ aspal}}} \quad (3.23)$$

di mana:

$VITM$ = rongga udara pada campuran aspal setelah pemadatan (%), dan
 j = berat jenis campuran maksimum teoritis setelah pemadatan
 (gr/cc)

3.6.5 Rongga Terisi Aspal (VFWA)

Rongga terisi aspal atau *Voids Filled With Asphalt (VFWA)* adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. $VFWA$ dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$VFWA = 100 \times \frac{(VMA - VITM)}{VMA} \quad (3.24)$$

di mana:

$VFWA$ = rongga udara terisi aspal (%),
 VMA = rongga udara pada mineral agregat (%), dan
 $VITM$ = rongga udara pada campuran setelah pemadatan (%).

3.6.6 Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan suatu perkerasan untuk menahan deformasi atau perubahan yang disebabkan oleh beban lalu lintas. Nilai stabilitas didapat dari pembacaan arloji stabilitas yang kemudian dikalibrasi dengan *proving ring* dan angka koreksi tebal benda uji. Angka stabilitas dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan berikut.

$$S = p \times q \quad (3.25)$$

di mana:

S = angka stabilitas,
 p = pembacaan arloji x kalibrasi alat, dan
 q = angka koreksi tebal benda uji.

Tabel angka koreksi tebal benda uji dilihat pada SNI 06 2489 1991 dan dapat dilihat pada Lampiran H.1.

3.6.7 Kepadatan (*density*)

Nilai *density* merupakan tingkat kerapatan campuran yang telah dipadatkan. Semakin besar nilai *density*, maka kerapatannya semakin baik, semakin meningkatnya kadar aspal, jumlah aspal yang dapat mengisi rongga antar butir semakin besar sehingga campuran menjadi padat dan rapat. Nilai kepadatan dapat dicari dengan menggunakan persamaan berikut.

$$m = \frac{n}{r-s} \quad (3.26)$$

di mana:

- m = nilai *density* (gr/cc),
- n = berat benda uji sebelum direndam (gr),
- r = berat benda uji dalam keadaan jenuh/ *SSD* (gr), dan
- s = berat dalam air (gr).

3.6.8 Kelelahan (*Flow*)

Nilai *flow* ditunjukkan oleh jarum arloji pembacaan *flow* pada alat *Marshall*, apabila nilai *flow* tinggi artinya campuran tersebut bersifat plastis, sebaliknya jika nilai *flow* rendah maka campuran tersebut bersifat kaku. Untuk arloji pembacaan *flow*, nilai yang didapat sudah dalam satuan mm, sehingga tidak perlu dikonversi lebih lanjut.

3.6.9 *Marshall Quotient*

Marshall Quotient adalah perbandingan antara stabilitas dengan kelelahan plastis (*flow*) yang digunakan sebagai pendekatan terhadap tingkat kekakuan campuran. Campuran dengan nilai stabilitas tinggi dan kelelahan plastis yang rendah akan menghasilkan nilai *MQ* yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa campuran tersebut kaku, sehingga perkerasan mudah mengalami perubahan bentuk jika mengalami beban lalu lintas, sebaliknya, campuran dengan stabilitas yang

rendah dengan kelelahan plastis tinggi akan menghasilkan MQ rendah, sehingga cenderung plastis dan tidak stabil. *Marshall Quotient* dapat dihitung dengan menggunakan persamaan berikut.

$$MQ = \frac{MS}{MF} \quad (3.27)$$

di mana:

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

MS = *Marshall Stability* (kg), dan

MF = *Flow Marshall*.

3.7 *Indirect Tensile Strength (ITS) Test*

Kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal beton. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pengujian ini hampir sama dengan pengujian *Marshall*, hal yang membedakannya adalah pada cincin penguji. Gaya tarik terkadang digunakan untuk mengevaluasi potensi retakan (*fatigue*) pada campuran aspal beton. Sifat uji ini adalah kegagalan gaya tarik yang berguna untuk memperkirakan potensial retakan. Campuran penyusun lapisan perkerasan yang baik dapat menahan maksimum sehingga dapat mencegah terjadinya retakan.

Retakan yang disebabkan oleh beban berulang menyebabkan terjadinya gaya tarik yang dialami campuran beton aspal. Berbeda dengan beban tekan yang secara empiris dapat diperoleh dengan pengujian *Marshall* secara langsung. Besarnya beban tarik ini tidak dapat dilakukan pengujian secara langsung dengan *Marshall*, namun metode yang paling sesuai untuk mengetahui gaya tarik dari campuran aspal adalah dengan menggunakan metode *Indirect Tensile Strength Test* di laboratorium.

Nilai *Indirect Tensile Strength (ITS) Test* dihitung dari kuat tarik maksimum yang berada pada puncak beban. Nilai *indirect tensile test* dapat diperoleh dengan persamaan berikut.

$$ITS = \frac{P_{runtuh}}{h} \times A_0 \quad (3.28)$$

di mana:

ITS = kuat tarik tidak langsung (kg/cm²),

P_{runtuh} = beban puncak (kg),

H = tinggi sample (cm), dan

A₀ = konstanta.

Tabel angka konstanta (A₀) dapat dilihat pada Lampiran H.2.

3.8 Pengujian Perendaman (*Immersion Test*)

Pengujian perendaman adalah metode yang digunakan untuk mengevaluasi pengaruh air terhadap campuran perkerasan aspal. Stabilitas ditentukan setelah satu hari perendaman pada suhu 60°C di dalam *waterbath*. Pengujian ini adalah salah satu parameter kinerja campuran beton aspal yang berkaitan dengan keawetan perkerasan terhadap pengaruh air dan temperatur dalam waktu yang lama. Campuran aspal agregat dengan indeks perendaman yang semakin besar dapat menyebabkan tingkat durabilitas campuran semakin besar. Bina Marga 2018 merekomendasikan agar lebih dari 90%. Nilai indeks stabilitas sisa (IRS) dapat dihitung dengan persamaan berikut.

$$IRS = \frac{MSi}{MSS} \quad (3.29)$$

di mana:

IRS = indeks stabilitas sisa (%),

MSi = stabilitas *Marshall* perendaman (24 jam) (kg), dan

Mss = stabilitas *Marshall* standar (1/2 jam) (kg).

3.9 Permeabilitas (*Permeability*)

Permeabilitas merupakan salah satu dari karakteristik campuran aspal. Permeabilitas merupakan kemampuan permukaan perkerasan untuk menahan rembesan air ke dalam perkerasan. Jika nilai permeabilitas campuran aspal semakin

kecil, maka air yang dapat masuk ke dalam konstruksi semakin sedikit pula, sehingga keawetan aspal akan lebih panjang. Pengujian permeabilitas mengacu pada hukum permeabilitas dengan persamaan berikut.

$$k = 2,3 \frac{a.L}{A.T} x \left[\log \left(\frac{h_1}{h_2} \right) \right] \quad (3. 30)$$

di mana:

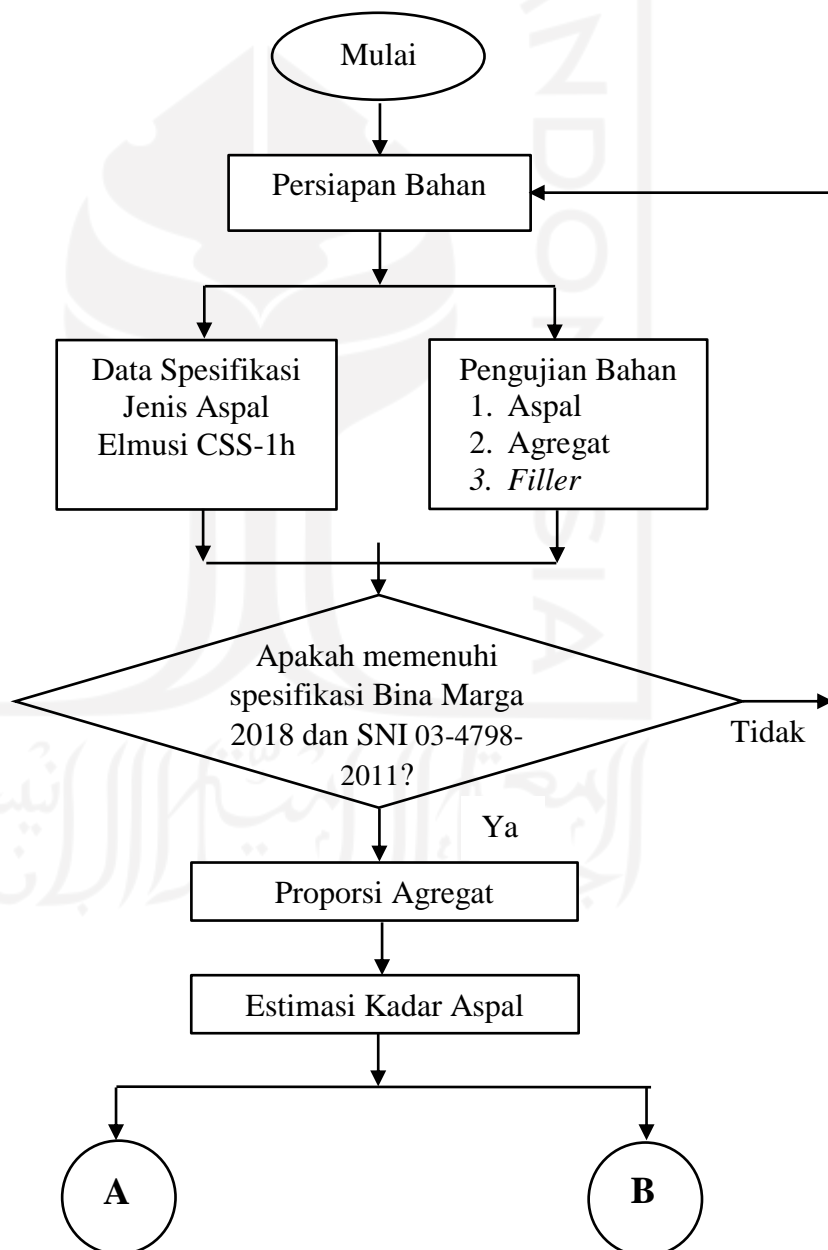
- k = koefisien permeabilitas (cm/dtk),
- a = luas potongan melintang tabung (cm³),
- L = panjang atau tinggi sample (cm),
- A = luas penampang sample (cm²),
- t = berat jenis air (gr/cm³),
- h1 = tinggi batas air paling atas pada tabung (cm), dan
- h2 = tinggi batas air paling bawah pada tabung (cm).

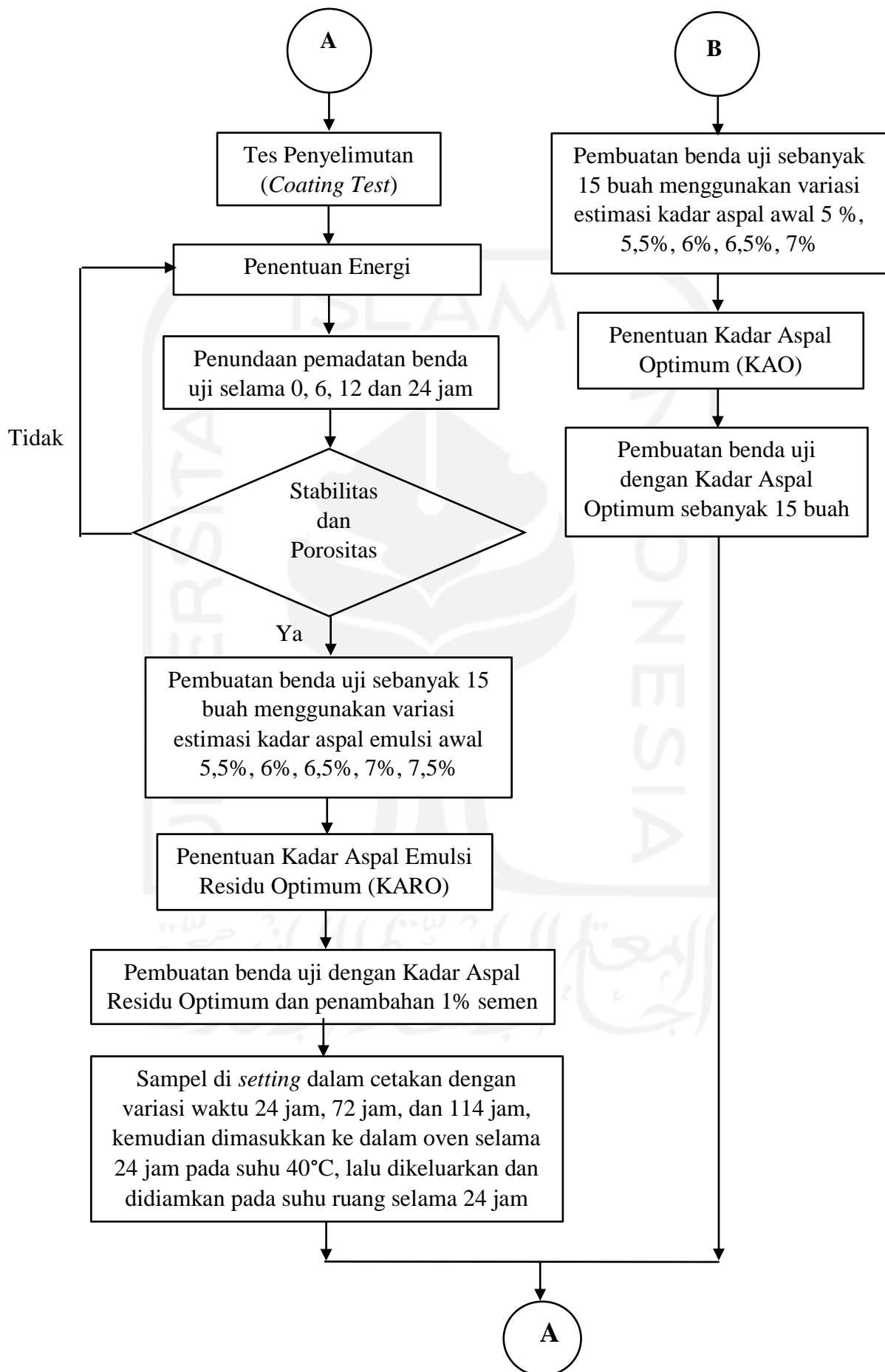
Berdasarkan koefisien permeabilitas campuran aspal dapat di klasifikasikan berdasarkan tingkat permeabilitasnya.

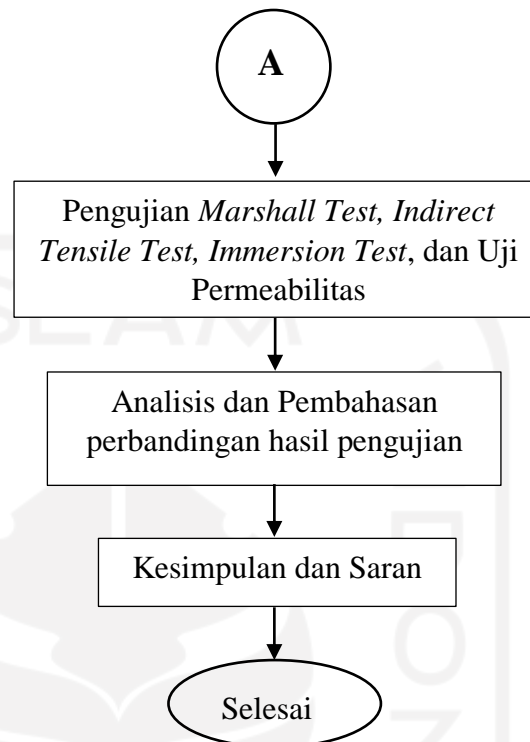
BAB IV METODE PENELITIAN

4.1 Bagan Alir Metode Penelitian

Bagan alir (*flowchart*) adalah gambaran singkat tahapan dalam penelitian, Bagan alir penelitian ini dapat dilihat pada Gambar 4.1 berikut.







Gambar 4.1 Flowchart Tahapan Penelitian

4.2 Metode Penelitian

Metode yang digunakan pada penelitian ini adalah metode penelitian eksperimen dalam pengolahan maupun pengambilan data dengan memperhatikan standar yang ada. Persyaratan tersebut mengacu pada peraturan Standar Nasional Indonesia (SNI) dan Bina Marga 2018.

4.3 Metode Pengambilan Data

Data yang diperoleh dari penelitian ini adalah berupa data primer dan data sekunder, data didapatkan dari berbagai sumber. Berikut sumber data yang digunakan dalam penelitian ini.

1. Data Primer

Data primer merupakan data yang akan didapatkan di lapangan dengan cara eksperimen, baik pengamatan maupun pengukuran di lokasi penelitian secara langsung. Data primer dalam penelitian ini akan didapatkan dengan

melakukan pemeriksaan bahan, mencari kadar aspal optimum (KAO), *Marshall Test*, *Indirect Tensile Strength Test*, *Immersion Test* dan Uji Permeabilitas.

2. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang tidak didapatkan langsung dari sumber data. Data tersebut didapatkan dari instansi-instansi terkait yang berhubungan dengan pelaksanaan pengamatan. Data sekunder ini berfungsi sebagai pendukung data primer. Data Sekunder pada penelitian ini adalah hasil pengujian karakteristik aspal emulsi CSS-1h yang diperoleh dari PT Aspal Polimer Emulsindo yang dapat dilihat pada Lampiran A.1.

4.4 Bahan

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

1. Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan adalah Aspal Pertamina penetrasi 60/70.

2. Aspal Emulsi

Aspal emulsi berasal dari PT Aspal Polimer Elmusindo, Demak.

3. Agregat

Agregat berasal dari Clereng, Kulon Progo.

4. Semen

Semen yang digunakan adalah Portland Tipe I dengan merk dagang Semen Gersik

4.5 Tahap Penelitian

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

Adapun tahapan dalam penelitian adalah sebagai berikut:

1. persiapan bahan,
2. persiapan alat,
3. pemeriksaan bahan,
4. pengujian terhadap aspal emulsi,
5. mencari Kadar Aspal Optimum (KAO),

6. pembuatan sampel benda uji,
7. pengujian *Marshall* Standar,
8. pengujian perendaman (*Immersion Test*),
9. pengujian *Indirect Tensile Strength*, dan
10. pengujian Permeabilitas.

4.6 Pemeriksaan Bahan dan Persiapan Alat

Pengujian terhadap bahan dan alat yang digunakan dalam penelitian ini perlu dilakukan terlebih dahulu sebelum digunakan. Hal ini harus dilakukan untuk mengetahui apakah alat dan bahan yang akan digunakan telah memenuhi standard atau syarat yang berlaku. Pedoman pada penelitian ini mengacu pada SNI, AASHTO, *ASTM* dan Bina Marga 2018.

4.6.1 Pemeriksaan Bahan

Pengujian bahan dilakukan sebelum digunakan pada campuran perkerasan, pengujian ini meliputi pengujian agregat dan pengujian aspal yang akan dijelaskan sebagai berikut.

4.6.2 Pemeriksaan Agregat

Agregat merupakan salah satu dari bahan utama pada campuran lapis perkerasan jalan. Agregat sangat berpengaruh dalam menentukan kualitas, daya dukung, mutu dan keawetan perkerasan, maka diperlukan pengujian agregat sebelum digunakan untuk lapis perkerasan, baik agregat kasar maupun agregat halus.

Pengujian yang perlu dilakukan terhadap agregat adalah sebagai berikut.

1. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air oleh Agregat (SNI 1969 : 2008 dan SNI 1970 : 2008)
2. Pengujian Kelekatan agregat terhadap Aspal (SNI 06-2439-1991)
3. Pengujian Analisa Saringan.
4. Pengujian Keausan Agregat (SNI-2417:2008)
5. Pengujian *Sand Equivalent* (SNI 03-4428-1997)

4.6.3 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang akan digunakan dapat diketahui kualitasnya dari pengujian berikut.

1. Pengujian Berat Jenis Aspal (SNI 06-2441-1991)
2. Pengujian Penetrasi (SNI 06-256-1991)
3. Pengujian Daktilitas (SNI 06-2432-1991)
4. Pengujian Kelarutan dalam TCE (ASTM D5546)
5. Pengujian Titik Lembek (SNI 06-2434-1991)
6. Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar (SNI 06-2433-1991)

4.6.4 Pemeriksaan Aspal Emulsi

Pengujian terhadap aspal emulsi yang akan digunakan tidak seluruhnya dilaksanakan karena beberapa data sudah diperoleh dari PT Aspal Polimer Elmusindo sebagai mana dapat dilihat pada Lampiran A.1. Berikut pengujian-pengujian aspal emulsi yang akan dilakukan.

1. Pemeriksaan Kadar Aspal Residu (SNI 03-6828-2002)
 - a. Peralatan
 - 1) pan
 - 2) *oven*
 - 3) timbangan
 - b. Bahan
 - 1) sampel aspal emulsi homogen sebanyak $(50 \pm 0,1)$ gram.
 - c. Pelaksanaan
 - 1) berat pan ditimbang (WA gram),
 - 2) benda uji dimasukkan sebanyak $(50 \pm 0,1)$ gram ke dalam pan (WB gram),
 - 3) pan yang berisi aspal emulsi dimasukkan ke dalam oven dengan temperatur (110 ± 5) °C selama 24 jam,
 - 4) pan dikeluarkan dari dalam oven lalu timbang (WC gram)
 - 5) kadar residu dihitung dengan rumus pada Persamaan 3.1.

4.6.5 Persiapan Alat

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia, Yogyakarta. Adapun alat-alat yang akan digunakan dalam penelitian adalah sebagai berikut.

1. Peralatan pengujian fisik agregat, seperti saringan standar, mesin *Los Angeles*, *vibrator*, dan tabung *Sand Equivalent*.
2. Peralatan pengujian fisik aspal, seperti alat ukur daktilitas aspal, penetrasi aspal, kelarutan aspal, titik lembek aspal, titik nyala dan titik bakar aspal.
3. Cetakan benda uji berbentuk silinder (*mold*) berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") dilengkapi dengan pelat dan leher sambung.
4. Alat tekan *Marshall* yang terdiri sebagai berikut.
 - a. Kepala penekan yang berbentuk lengkung (*breaking head*).
 - b. Cincin penguji yang berkapasitas 2500 kg (5000 pound) dengan ketelitian 12,5 kg (25 pound) dilekangi arloji tekan dengan ketelitian 0,0025 cm (0,0001").
 - c. Arloji penunjuk kelelahan dengan ketelitian 0,25 mm (0,01") dengan perlengkapannya.
5. *Oven*, untuk memanaskan bahan yang dilengkapi dengan pengatur suhu untuk memanaskan sampai $(200\pm 3)^{\circ}\text{C}$.
6. Cetakan benda uji berbentuk silinder berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") dilengkapi dengan pelat atas dan leher sambung.
7. *Ejector*, untuk mengeluarkan benda uji yang telah dipadatkan di dalam cetakan.
8. *Compactor*, alat penumbuk yang mempunyai permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg (10 pound) dan tinggi jatuh beban 45,7 cm (18").
9. Bak perendam (*waterbath*) dengan pengatur suhu minimum 20°C
10. Timbangan yang dilengkapi penggantung uji berkapasitas 2 kg dengan ketelitian 0,1 gram, timbangan berkapasitas 5 kg dengan ketelitian 1 gram, dan timbangan digital.
11. Alat uji *Indirect Tensile Strength Test*, yang meliputi:

- a. alat ukur tekan (*strip loading*) selebar 0,5",
 - b. arloji pengukuran stabilitas,
 - c. arloji pengukuran kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 mm.
12. Seperangkat alat uji permeabilitas (*Falling Head Permeability Test*), yang meliputi tabung dengan diameter 3,05 cm dan tinggi 80 cm, buah *statif*, klem permeabilitas dan *stopwatch*.
13. Perlengkapan-perengkapan lainnya, seperti:
- a. panci untuk memanaskan agregat, aspal dan campuran aspal,
 - b. pengukur suhu dari logam (*metal thermometer*) berkapasitas 250°C dan 100°C,
 - c. spatula,
 - d. sarung tangan karet,
 - e. sendok pengaduk,
 - f. kompor, dan
 - g. perlengkapan lainnya.

4.7 Rencana Campuran

Dalam penelitian ini, material bahan yang akan digunakan terdiri dari aspal, agregat kasar, agregat halus, dan *filler* yang sebelumnya sudah diuji terlebih dahulu. Penyaringan agregat dengan gradasi ukuran maksimum 25 mm (1") dilakukan terlebih dahulu sebelum ditimbang dengan berat tertentu yang telah ditentukan oleh spesifikasi. Berikut gradasi agregat yang akan digunakan dalam rencana campuran pada penelitian dapat dilihat pada Tabel 4.1 berikut.

Tabel 4.1 Rencana Gradasi Agregat Campuran

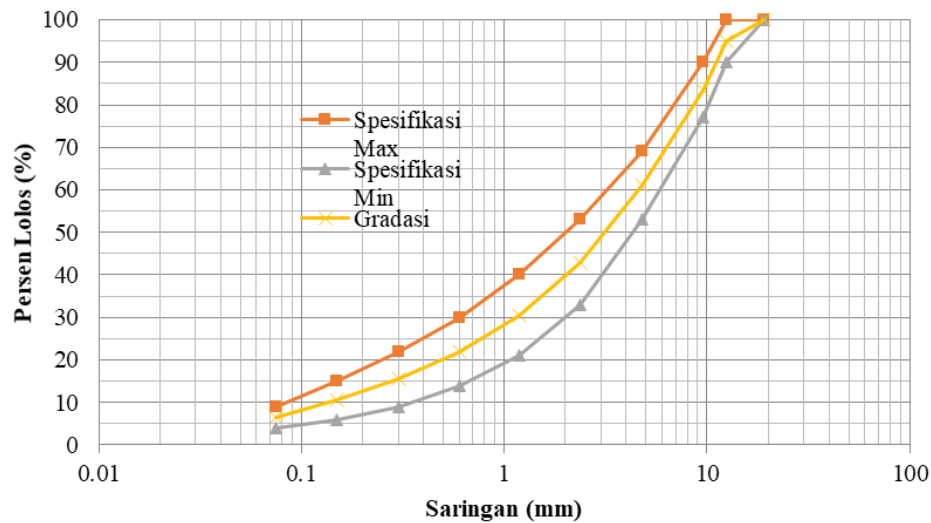
No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	LASTON (AC-WC)		CAED CEBR	
		Min	Max	Min	Max
3/4"	19	100	100	100	100
1/2"	12,5	90	100	90	100
3/8"	9,5	77	90	-	-
#4	4,75	53	69	45	70
#8	2,36	33	53	25	55
#16	1,18	21	40	-	-
#30	0,60	14	30	-	-
#50	0,30	9	22	5	20
#100	0,15	6	15	-	-
#200	0,075	4	9	2	9

4.7.1 Rencana Campuran Laston

Gradasi agregat penyusun campuran AC-WC termasuk jenis lapis tipis aspal beton (Laston). Berikut rencana gradasi campuran AC-WC pada Laston dapat dilihat pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Rencana Gradasi Agregat Campuran AC-WC

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan
3/4"	19	100	100	100	0
1/2"	12,5	90	100	95	5
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5
#4	4,75	53	69	61	39
#8	2,36	33	53	43	57
#16	1,18	21	40	30,5	69,5
#30	0,600	14	30	22	78
#50	0,300	9	22	15,5	84,5
#100	0,150	6	15	10,5	89,5
#200	0,075	4	9	6,5	93,5
pan	0	0	0	0	100



Gambar 4.2 Rencana Gradasi Agregat Campuran AC-WC

Setelah perencanaan gradasi agregat campuran AC-WC, selanjutnya mencari kadar aspal perkiraan. Kadar aspal perkiraan dapat dicari menggunakan persamaan berikut.

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

di mana:

- P_b = kadar aspal perkiraan,
- CA = agregat kasar tertahan saringan No. 4,
- FA = agregat halus lolos saringan No.4 dan tertahan No.200,
- FF = agregat halus lolos saringan No.200,
- K = konstanta 0,5 – 1 untuk Lapis Aspal Beton (Laston).

Dengan menggunakan persamaan 4.1 didapatkan nilai kadar aspal perkiraan sebagai berikut.

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K$$

$$P_b = 0,035 (39\%) + 0,045 (54,5\%) + 0,18 (6,5\%) + 1$$

$$P_b = 5,99\% \text{ dibulatkan menjadi } 6\%$$

Berdasarkan hasil perhitungan perkiraan kadar aspal (P_b), didapat kadar aspal untuk campuran AC-WC dengan bahan ikat aspal Pen 60/70 adalah sebesar 5,99 % dibulatkan ke atas menjadi 6%. Kemudian dilakukan pengujian untuk mencari

kadar aspal optimum (KAO) dengan kadar aspal yang digunakan yaitu 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7% terhadap berat total campuran sebesar 1200 gram. Adapun kebutuhan agregat untuk setiap kadar aspal dapat dilihat pada Tabel 4.3 sampai Tabel 4.7 berikut.

Tabel 4.3 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5%

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	57	57
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5	131,10	188,10
#4	4,75	53	69	61	39	256,50	444,60
#8	2,36	33	53	43	57	205,20	649,80
#16	1,18	21	40	30,5	69,5	142,50	792,30
#30	0,60	14	30	22	78	96,90	889,20
#50	0,30	9	22	15,5	84,5	74,10	963,30
#100	0,15	6	15	10,5	89,5	57,00	1020,30
#200	0,075	4	9	6,5	93,5	45,60	1065,90
pan	0	0	0	0	100	74,10	1140
Jumlah						1140	

Tabel 4.4 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 5,5%

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	56,7	56,7
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5	130,41	187,11
#4	4,75	53	69	61	39	255,15	442,26
#8	2,36	33	53	43	57	204,12	646,38
#16	1,18	21	40	30,5	69,5	141,75	788,13
#30	0,60	14	30	22	78	96,39	884,52
#50	0,30	9	22	15,5	84,5	73,71	958,23
#100	0,15	6	15	10,5	89,5	56,7	1014,93
#200	0,075	4	9	6,5	93,5	45,36	1060,29
pan	0	0	0	0	100	73,71	1134
Jumlah						1134	

Tabel 4.5 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6%

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	56,4	56,4
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5	129,72	186,12
#4	4,75	53	69	61	39	253,8	439,92
#8	2,36	33	53	43	57	203,04	642,96
#16	1,18	21	40	30,5	69,5	141	783,96
#30	0,60	14	30	22	78	95,88	879,84
#50	0,30	9	22	15,5	84,5	73,32	953,16
#100	0,15	6	15	10,5	89,5	56,4	1009,56
#200	0,075	4	9	6,5	93,5	45,12	1054,68
pan	0	0	0	0	100	73,32	1128
Jumlah						1128	

Tabel 4.6 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 6,5 %

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	56,1	56,1
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5	129,03	185,13
#4	4,75	53	69	61	39	252,45	437,58
#8	2,36	33	53	43	57	201,96	639,54
#16	1,18	21	40	30,5	69,5	140,25	779,79
#30	0,600	14	30	22	78	95,37	875,16
#50	0,300	9	22	15,5	84,5	72,93	948,09
#100	0,150	6	15	10,5	89,5	56,1	1004,19
#200	0,075	4	9	6,5	93,5	44,88	1049,07
pan	0	0	0	0	100	72,93	1122
Jumlah						1122	

Tabel 4.7 Kebutuhan Agregat pada Kadar Aspal 7%

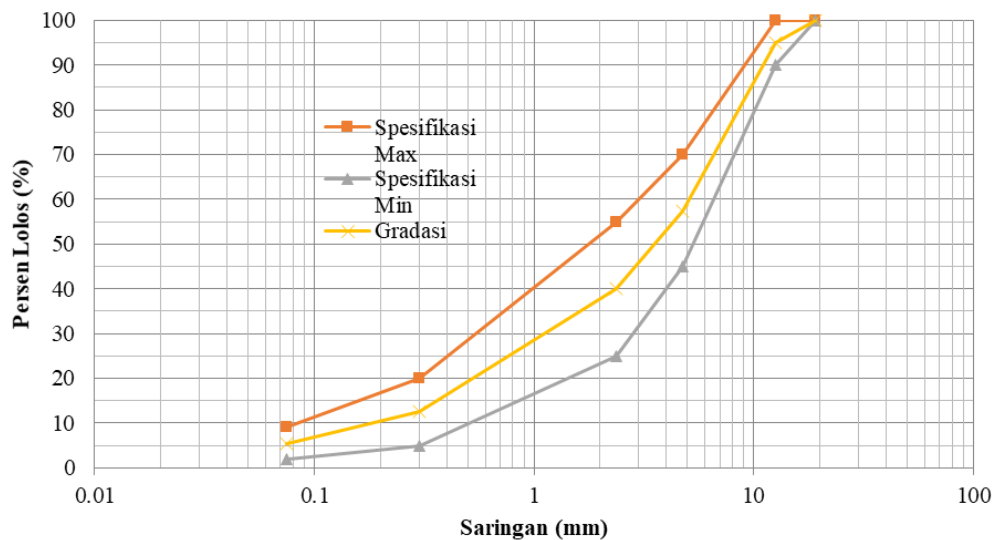
No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	55,8	55,8
3/8"	9,5	77	90	83,5	16,5	128,34	184,14
#4	4,75	53	69	61	39	251,1	435,24
#8	2,36	33	53	43	57	200,88	636,12
#16	1,18	21	40	30,5	69,5	139,5	775,62
#30	0,600	14	30	22	78	94,86	870,48
#50	0,300	9	22	15,5	84,5	72,54	943,02
#100	0,150	6	15	10,5	89,5	55,8	998,82
#200	0,075	4	9	6,5	93,5	44,64	1043,46
pan	0	0	0	0	100	72,54	1116
Jumlah						1116	

4.7.2 Rencana Campuran CAED Tipe IV

Gradasi agregat yang digunakan pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada pengujian kali ini berjenis Campuran Emulsi Bergradasi Rapat Tipe IV (CEBR Tipe IV). Pemilihan CEBR Tipe IV pada pengujian kali ini dikarenakan gradasi agregat terbesar CEBR Tipe IV adalah 3/4" (19 mm) yang berarti sama dengan gradasi agregat terbesar pada Laston. Berikut rencana gradasi agregat pada campuran aspal emulsi dingin CEBR Tipe IV dapat dilihat pada Tabel 4.8 berikut.

Tabel 4.8 Rencana Gradasi Agregat Campuran CEBR Tipe IV

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan
3/4"	19	100	100	100	0
1/2"	12,5	90	100	95	5
#4	4,75	45	70	57,5	42,5
#8	2,36	25	55	40	60
#50	0,300	5	20	12,5	87,5
#200	0,075	2	9	5,5	94,5
pan	0	0	0	0	100



Gambar 4.3 Rencana Gradasi Agregat Campuran CEBR Tipe IV

Setelah perencanaan gradasi agregat campuran CEBR Tipe IV, selanjutnya mencari estimasi kadar aspal emulsi awal. Estimasi kadar aspal emulsi awal dapat dicari menggunakan persamaan 4.2 dan 4.3 berikut.

$$P = (0,05A + 0,1B + 0,5C) \times (0,7) \quad (4.2)$$

di mana:

P = % kadar aspal residu awal,

A = % agregat kasar (lolos saringan No. $\frac{3}{4}$ ", tertahan saringan No.8),

B = % agregat halus (lolos saringan No.8, tertahan saringan No.200),

C = % filler (lolos saringan No.200).

Dengan Persamaan 4.2 didapatkan estimasi Kadar Residu Aspal Emulsi Awal sebagai berikut.

$$P = (0,05A + 0,1B + 0,5C) \times (0,7)$$

$$P = (0,05 \times 60 + 0,1 \times 34,5 + 0,5 \times 5,5) \times 0,7$$

$$P = 6,44 \% \text{ dibulatkan ke atas menjadi } 6,5 \%$$

Berdasarkan hasil perhitungan estimasi Kadar Aspal Emulsi Awal didapat kadar aspal untuk campuran CEBR Tipe IV dengan bahan ikat aspal emulsi CSS-1h adalah 6,44 % dibulatkan ke atas menjadi 6,5%. Variasi yang digunakan pada estimasi kadar aspal residu adalah 5,5%, 6%, 6,5%, 7% dan 7,5% selanjutnya dilakukan pengujian untuk mencari kadar aspal residu optimum (KARO) dengan cara pengujian kadar residu aspal emulsi.

4.7.3 Rekapitulasi Sampel Benda Uji

Berikut rekapitulasi jumlah benda uji Laston dan CAED untuk mendapatkan nilai KAO dan KARO dapat dilihat pada Tabel 4.9 berikut.

Tabel 4.9 Rekapitulasi Jumlah Sampel Benda Uji

Campuran	Kadar Aspal (%)	Banyak Sampel (buah)
Laston	5	3
	5,5	3
	6	3
	6,5	3
	7	3
CAED	5,5	3
	6	3
	6,5	3
	7	3
	7,5	3
Total Sampel		30

4.8 Pembuatan Benda Uji

4.8.1 Pembuatan Benda Uji Laston

Pembuatan benda uji untuk campuran Laston dilakukan dengan tahapan sebagai berikut:

1. Aspal dipanaskan hingga mencapai suhu 160°C dan agregat hingga mencapai suhu 170°C,

2. aspal dicampurkan dengan agregat sesuai variasi kadar aspal dan agregat yang telah direncanakan,
3. campuran agregat dan aspal dipanaskan pada suhu 160°C, aduk campuran hingga aspal menyelimuti seluruh permukaan agregat,
4. cetakan benda uji (*mold*) harus dalam keadaan bersih, dan oleskan minyak pelumas pada sisi dalamnya secara merata agar campuran benda uji tidak lengket pada cetakan,
5. kertas penghisap yang sudah digunting sesuai dengan ukuran diletakkan pada bagian bawah cetakan (*mold*), kemudian benda uji sebanyak 1/3 dari volume dimasukkan ke dalam cetakan dan dipukul menggunakan spatula sebanyak 25x (15x pada pinggirnya, dan 10x pada bagian tengah), masukan benda uji 2/3 dari volume cetakan dan ulangi tahapan penumbukan 25x, masukan benda uji hingga volume cetakan terisi penuh dan ulangi tahapan penumbukan 25x, letakkan kertas penghisap pada permukaan benda uji,
6. cetakan (*mold*) diletakkan di atas dudukannya (landasan) pemadatan. Lakukan pemadatan dengan pukulan sebanyak 75x pada sisi pertama dan 75x pukulan pada sisi kedua,
7. setelah pemadatan dilakukan, diamkan benda uji sampai mencapai suhu ruang, keluarkan benda uji menggunakan *ejector hydrolic pump* dan diamkan sampai mencapai suhu ruang. Ambil kertas penghisap dari kedua sisi benda uji dan berikan kodefikasi pada sampel benda uji.

4.8.2 Tes Penyelimutan (*Coating Test*)

Tes penyelimutan untuk menentukan kadar air penyelimutan mengikuti prosedur pada Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) oleh Thanaya dan Wibawa 2019, dengan tahapan sebagai berikut.

1. Proporsi agregat ditimbang seberat 500 gr \pm 1 pada wadah sebanyak 6 buah,
2. air disiapkan sebanyak 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% dari total campuran,
3. agregat dilembabkan dengan masing-masing kadar air,
4. aspal emulsi dituangkan sebanyak 6% dari total campuran pada agregat yang sudah dilembabkan,

5. pengamatan secara visual dilakukan pada kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik.

4.8.3 Pembuatan Benda Uji CAED dengan Tundaan Pemasatan dan Penentuan Energi Pemasatan

Pembuatan campuran benda uji mengikuti prosedur pada Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) oleh Thanaya dan Wibawa 2019, dengan tahapan sebagai berikut.

1. Agregat dikeringkan pada suhu 105°C-110°C sekurang-kurangnya selama 4 jam dalam *oven*, keluarkan sampai beratnya tetap dan pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara mengayak agregat.
2. Proporsi agregat dan pencampuran agregat dilakukan dengan metode proporsional untuk mencampur fraksi-fraksi agregat. Agregat pada masing-masing fraksi dapat diproporsikan sesuai dengan gradasi rencana.
3. Pencampuran sampel benda uji:
 - a. untuk setiap sampel benda uji diperlukan agregat yang diproporsikan sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji $\pm 63,5$ mm ($\pm 2,5$ inch),
 - b. agregat yang telah diproporsikan di masukan ke dalam cawan untuk dicampur,
 - c. agregat yang sudah diproporsikan dilembabkan secara merata dengan kadar air penyelimutan optimum yang telah ditetapkan, kemudian agregat lembab dicampur dengan aspal emulsi dan diaduk sampai agregat terselimuti aspal secara merata.
 - d. agregat lembab yang sudah bercampur dengan aspal emulsi didiamkan dengan lama waktu tundaan 0 jam, 6 jam, 12 jam, dan 24 jam sebelum di padatkan.
4. Pemasatan sampel benda uji:
 - a. perlengkapan cetakan benda uji dan alat penumbuk harus dipastikan dalam keadaan bersih,

- b. cetakan diletakkan di atas landasan pematat dan tahan dengan pemegang cetakan,
- c. selembat kertas saring atau kertas penghisap yang sudah digunting menurut ukuran cetakan diletakkan ke dasar cetakan,
- d. seluruh campuran dimasukkan ke dalam cetakan benda uji dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula sebanyak 15 kali di sekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya,
- e. kertas saring atau kertas penghisap diletakkan di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan,
- f. pemadatan dilakukan dengan energi pemadatan yang ditetapkan. Selama pemadatan harus diperhatikan agar kedudukan sumbu palu pematat selalu tegak lurus pada alas cetakan,
- g. benda uji dilepaskan dari pelat alas penumbuk.
- h. untuk campuran dingin (*cold mix*) benda uji masih di dalam cetakan dan di *setting* dalam ruangan dengan posisi cetakan ditidurkan selama ± 24 jam pada temperature suhu ruang 28°C - 30°C .
- i. benda uji dikeluarkan dalam cetakan menggunakan alat pengeluar benda uji (*extruder*), timbang benda uji dan beri tanda pengenalan (*kodefikasi*).

4.8.4 Setting CAED

Setting sampel bertujuan untuk mendapatkan nilai stabilitas kering (*dry stability*) dan stabilitas rendaman (*soaked stability*). Pada penelitian ini *setting* dilakukan hanya pada specimen dengan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) dengan waktu selama 24, 72 dan 144 jam (1 hari, 3 hari dan 6 hari). *Setting* sampel mengikuti prosedur pada Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) oleh Thanaya dan Wibawa 2019 dengan tahapan sebagai berikut:

1. sampel yang sudah dipadatkan dikondisikan di dalam cetakan dengan akses udara yang sama terhadap kedua sisi sampel dan cetakan dan posisi cetakan di tidurkan selama ± 24 jam,
2. sampel yang ada di dalam cetakan dikeluarkan dengan alat ekstruder dan ditimbang beratnya,

3. sampel kemudian di oven dengan suhu 40°C selama ± 24 jam dan didiamkan pada temperature ruangan selama ± 24 jam,
4. sampel dari dalam oven kemudian ditimbang berat setelah dioven dan di uji untuk mendapatkan nilai stabilitas kering (*dry stability*),
5. sampel direndam dalam bak yang diberi alas pasir kasar dan sampel direndam dengan ketinggian air setengah dari tinggi sampel selama ± 24 jam, kemudian dibalik dan direndam lagi selama ± 24 jam,
6. setelah sampel direndam, kemudian sampel dikeringkan dengan lap dalam kondisi permukaan kering jenuh, timbang sampel untuk pengujian penyerapan air setelah perendaman. Sampel kemudian di uji untuk mendapatkan nilai penyerapan air dan nilai stabilitas rendaman (*soaked stability*),

4.9 Pengujian yang Dilakukan

4.9.1 Pengujian *Marshall* Standar

Tahapan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. benda uji dibersihkan dari kotoran yang menempel,
2. masing-masing benda uji diberikan tanda pengenal,
3. benda uji di ukur ketinggiannya sebanyak 3 kali dan diambil rata-rata ketinggian dengan ketelitian 0,01 mm,
4. benda uji ditimbang untuk mengetahui berat keringnya,
5. benda uji direndam di dalam air selama 24 jam pada suhu ruang sampai jenuh air,
6. melakukan penimbangan benda uji di dalam air,
7. permukaan benda uji dikeringkan menggunakan kain kering lalu ditimbang pada kondisi kering permukaan (*SSD*),
8. benda uji direndam di dalam waterbath pada suhu 60° selama 0,5 jam
9. kepala penekan benda uji dibersihkan terlebih dahulu dan permukaanya diberi pelembap untuk mempermudah melepas benda uji,
10. *flow* meter dipasang dengan posisi di atas salah satu batang penuntun (*guide road*),

11. kepala penekan dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin pengunci, kemudian diatur pada kedudukan arloji tekan pada angka nol,
12. pembebanan dilakukan dengan kecepatan konstan 50 mm/menit, hingga beban maksimum tercapai. Saat arloji pembebanan berhenti dan mulai berputar turun, maka arloji kelelahan dapat dibaca,
13. benda uji dikeluarkan dari alat uji setelah pembebanan selesai dilakukan, dan
14. hasil percobaan dapat diketahui dari proses pengolahan data.

4.9.2 Pengujian *Marshall* Rendaman (*Immersion Test*)

Pengujian ini memiliki proses yang hampir sama dengan pengujian *Marshall* Standar, hal yang menjadi pembeda adalah pada lama perendaman yang terjadi di dalam *waterbath*. Pada pengujian ini perendaman dilakukan selama 20-24 jam dengan suhu 60°C. Adapun tahapan dalam pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. mempersiapkan bahan,
2. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari *Marshall Test*,
3. melakukan perendaman benda uji selama 20 jam sampai 24 jam,
4. melakukan pengujian benda uji menggunakan alat penekan *Marshall*,
5. menganalisis dan membuat pembahasan dari hasil pengujian, dan
6. membuat kesimpulan dari hasil pengujian.

Pengujian ini juga memiliki nama lain pengujian Stabilitas Sisa, pada CAED pengujian ini memiliki metode yang berbeda, hal yang menjadi pembeda adalah sampel diuji pada kondisi kering atau tanpa rendaman 48 jam. Adapun tahapan pengujian ini adalah sebagai berikut:

1. mempersiapkan bahan,
2. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal residu optimum dari *Marshall test* yang sudah dilakukan,
3. pengkondisian *setting* pada benda uji selama 24 jam, 72 jam dan 144 jam,
4. perendaman benda uji pada *waterbath* dengan suhu 60°C selama 30 menit,
5. melakukan pengujian benda uji menggunakan alat penekan *Marshall*,

6. menganalisis dan membuat pembahasan dari hasil pengujian, dan,
7. membuat kesimpulan dari hasil pengujian.

4.9.3 Pengujian *Indirect Tensile Strength* (ITS)

Tahapan dalam pengujian ITS adalah sebagai berikut:

1. membuat benda uji dengan nilai kadar aspal optimum yang telah didapat dari pengujian *Marshall*,
2. meletakkan benda uji pada alat uji *Indirect Tensile Strength* untuk dilakukan pengujian,
3. mendapatkan nilai dial dari hasil pengujian, dan
4. menganalisis dan membuat pembahasan.

4.9.4 Pengujian Permeabilitas

Tahapan dalam pengujian permeabilitas adalah sebagai berikut:

1. meletakkan benda uji pipa bagian bawah,
2. mengencangkan klem untuk permeabilitas horizontal agar benda uji selalu menempel pada pipa dan mencegah kebocoran,
3. menutup bagian tertentu dengan lilin agar tidak bocor
4. meletakkan pipa dan benda uji yang sudah diklem pada bak air yang sudah terisi penuh air, dan permukaan benda uji bagian atas sama dengan tinggi permukaan air pada bak untuk menjaga tekanan agar tetap konstan,
5. menjepit tabung dengan statif agar posisi tabung tetap tegak,
6. mengisi tabung dengan air hingga mencapai ketinggian 75 cm (h1),
7. mencatat waktu penurunan air setiap 30 menit sampai batas waktu 120 menit (h2).

4.10 Analisis Data

Data yang diperoleh dari hasil pengujian di analisis seperti tahapan di bawah ini.

1. Analisis Penyelimutan (*coating test analysis*)

Coating Test dilakukan untuk mengetahui kadar air terbaik penyelimutan oleh aspal emulsi secara visual.

2. Analisis Energi Pemadatan

Energi Pemadatan dilakukan untuk mengetahui jumlah tumbukan pada benda uji yang memberikan nilai stabilitas dan porositas yang memenuhi syarat.

3. Analisis Tundaan Pemadatan

Penundaan pemadatan dilakukan untuk mendapatkan kadar air pemadatan sehingga diperoleh kepadatan optimum.

4. Analisis karakteristik *Marshall*

Nilai karakteristik *Marshall* didapat dengan cara menganalisis data-data yang didapat dari hasil percobaan laboratorium antara lain sebagai berikut:

- a. berat benda uji sebelum direndam (gram),
- b. berat benda uji di dalam air (gram),
- c. berat benda uji dalam keadaan jenuh air (gram),
- d. tebal benda uji (mm),
- e. pembacaan arloji stabilitas (kg),
- f. pembacaan arloji kelelahan flow (mm).

Nilai karakteristik *Marshall* dapat dihitung dengan menggunakan Persamaan 3.15 sampai dengan Persamaan 3.27.

5. Analisis *Immersion Test*

Nilai *index of retained strength* diperoleh dari hasil *Immersion Test* kemudian dianalisis menggunakan Persamaan 3.29.

6. Analisis *Indirect Tensile Strength Test*

Indirect Tensile Strength adalah kuat tarik maksimum dihitung dari puncak beban kemudian dianalisis menggunakan persamaan 3.28.

7. Analisis Permeabilitas

Nilai permeabilitas didapat dari perhitungan dengan menggunakan Persamaan 3.30.

BAB V ANALISIS DAN PEMBAHASAN

5.1 Pengujian Sifat Fisik Material

Pengujian sifat fisik material terdiri atas pengujian karakteristik agregat dan pengujian karakteristik aspal pen 60/70 maupun aspal emulsi CSS-1h. Tujuan dari pengujian sifat fisik material adalah untuk mengetahui kelayakan material yang akan digunakan dalam penelitian. Hasil pengujian tiap karakteristik material dapat dilihat pada Lampiran B.

5.1.1 Pengujian Karakteristik Agregat

Pengujian karakteristik agregat terdiri dari pengujian agregat kasar dan agregat halus. Data yang diperoleh dari hasil pengujian ini telah memenuhi persyaratan pada spesifikasi Bina Marga 2018.

1. Agregat Kasar

Hasil pengujian karakteristik agregat kasar dapat dilihat pada Tabel 5.1 berikut.

Tabel 5.1 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Kasar

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,60	Min 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	1,37	Maks 3	Memenuhi
3	Kelekatan Agregat thd Aspal (%)	97,5	Min 95	Memenuhi
4	Kearifan dengan mesin <i>Los Angeles</i> (%)	26,71	Maks 40	Memenuhi

Pembahasan mengenai hasil pengujian karakteristik agregat kasar adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan nilai antara berat volume agregat kasar terhadap berat air terhadap volume yang sama pada suhu tertentu. Nilai berat jenis agregat kasar yang kecil akan mempengaruhi volume yang semakin besar sehingga dengan berat yang sama akan membutuhkan aspal yang lebih banyak dan sebaliknya. Hasil dari pengujian berat jenis agregat

kasar Clereng yang sudah dilakukan adalah sebesar 2,597 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 2,5$.

b. Penyerapan Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat untuk dapat menyerap air. Semakin banyak rongga pada agregat maka dibutuhkan lebih banyak aspal karena nilai penyerapannya yang semakin besar. Hasil dari pengujian penyerapan agregat kasar Clereng terhadap air yang sudah dilakukan adalah sebesar 1,37% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 3\%$.

c. Kelekatan Terhadap Aspal

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah persentase luas permukaan agregat yang terselimuti oleh aspal. Hasil dari pengujian kelekatan agregat terhadap aspal adalah sebesar 97,5% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 95\%$.

d. Keausan Agregat (*Los Angeles*)

Pengujian keausan agregat dengan mesin Los Angeles bertujuan untuk mengetahui ketahanan agregat terhadap keausan. Keausan agregat dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lewat saringan no. 12 terhadap berat semula. Hasil dari pengujian keausan agregat kasar Clereng yang sudah dilakukan adalah sebesar 26,71% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 40\%$.

2. Agregat Halus

Hasil pengujian karakteristik agregat halus dapat dilihat pada Tabel 5.2 berikut.

Tabel 5.2 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,55	Min 2,5	Memenuhi
2	Penyerapan Air oleh Agregat (%)	1,67	Maks 3	Memenuhi
3	<i>Sand Equivalent</i> (%)	99,33	Min 50	Memenuhi

Pembahasan mengenai hasil pengujian karakteristik agregat halus adalah sebagai berikut.

a. Berat Jenis Agregat

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume suatu mineral terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis agregat halus Clereng yang sudah dilakukan adalah sebesar 2,551 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 2,5$.

b. Penyerapan Agregat Terhadap Air

Penyerapan agregat terhadap air adalah kemampuan agregat untuk dapat menyerap air. Semakin banyak rongga pada agregat maka dibutuhkan lebih banyak aspal karena nilai penyerapannya yang semakin besar. Hasil dari pengujian penyerapan agregat halus Clereng terhadap air yang sudah dilakukan adalah sebesar 1,673% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\leq 3\%$.

c. *Sand Equivalent*

Pengujian *sand equivalent* bertujuan untuk menentukan kadar lumpur dan lempung yang terkandung pada agregat halus. Hasil pengujian *sand equivalent* agregat halus Clereng adalah sebesar 99,334% dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 60\%$. Hal ini menunjukkan agregat halus clereng tidak banyak memiliki kandungan lumpur atau lempung yang dapat mengganggu kelekatan aspal terhadap agregat.

3. *Filler*

Hasil pengujian karakteristik agregat *filler* dapat dilihat pada Tabel 5.3 berikut.

Tabel 5.3 Hasil Pengujian Karakteristik Agregat Halus

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	2,55	Min 2,5	Memenuhi

Berat jenis adalah perbandingan antara berat volume suatu mineral terhadap berat air terhadap volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil dari pengujian berat jenis *filler* Clereng yang sudah dilakukan adalah sebesar 2,554 dan memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 2,5$.

5.1.2 Pengujian Karakteristik Aspal Pen 60/70

Aspal yang digunakan untuk pembuatan benda uji *Hot Mix* pada penelitian ini adalah aspal Pen 60/70 dari Pertamina yang sudah tersedia di Laboratorium jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia. Data yang diperoleh dari pengujian ini mengacu pada persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018. Hasil pengujian dapat dilihat pada Table 5.4 berikut.

Tabel 5.4 Hasil Pengujian Aspal Pertamina Pen 60/70

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis	1,050	$\geq 1,0$	Memenuhi
2	Penetrasi (0,1 mm)	64,1	60-70	Memenuhi
3	Daktilitas (cm)	164,5	≥ 100	Memenuhi
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	335	≥ 232	Memenuhi
5	Kelarutan TCE (%)	99,3	≥ 99	Memenuhi
6	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	52	≥ 48	Memenuhi

1. Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal merupakan perbandingan antara berat aspal dan berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah dilakukan adalah sebesar 1,050 dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 1,0$.

2. Penetrasi Aspal

Pengujian penetrasi aspal memiliki tujuan untuk menentukan tingkat kekerasan aspal dengan beban dan waktu pada temperatur suhu tertentu. Hasil pengujian penetrasi aspal Pertamina Pen 60/70 rata-rata adalah sebesar 64,1 mm dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu antara 60-70 mm.

3. Daktilitas

Pengujian daktilitas memiliki tujuan untuk mengetahui sifat kohesi aspal sehingga aspal dapat mengikat butir-butir agregat lebih baik. Hasil pengujian daktilitas aspal Pertamina Pen 60/70 yang sudah dilakukan adalah sebesar 164,5 cm dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu ≥ 100 cm.

4. Titik Nyala

Pengujian titik nyala memiliki tujuan untuk menentukan suhu maksimum pemanasan saat aspal mulai terlihat menyala atau terlihat percikan api pada aspal sehingga aspal tidak terbakar. Hasil pengujian titik nyala yang sudah dilakukan adalah sebesar 335°C dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 232^\circ\text{C}$.

5. Kelarutan dalam Karbon Tetra Klorida (CCL_4)

Pengujian kelarutan dengan CCL_4 memiliki tujuan untuk mengetahui persentase kemurnian aspal. Semakin besar nilai kelarutannya maka semakin kecil kandungan mineral lainnya yang dapat mengganggu ikatan aspal dengan agregat. Hasil pengujian kelarutan aspal dengan CCL_4 yang sudah dilakukan adalah sebesar 99,3% dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar $\geq 99\%$.

6. Titik Lembek

Pengujian titik lembek memiliki tujuan untuk mengetahui temperatur suhu saat aspal mulai berubah bentuk menjadi lunak. Hasil pengujian titik lembek aspal yang sudah dilakukan adalah sebesar 52°C dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu sebesar $\geq 48^\circ\text{C}$.

5.1.3 Pengujian Karakteristik Aspal Emulsi CSS-1h

Aspal emulsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah Aspal Emulsi CSS-1h yang diperoleh dari PT. Aspal Polimer Emulsindo, Demak. Data sekunder berupa uji karakteristik aspal dari hasil pengujian contoh Aspal Emulsi CSS-1h diperoleh dari PT. Aspal Polimer Emulsindo dan pengujian di Laboratorium jalan Raya, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Islam Indonesia seperti Tabel 5.5 berikut.

Tabel 5.5 Hasil Pengujian Aspal Emulsi CSS-1h

No	Jenis Pengujian	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Berat Jenis Residu	1,123	$\geq 1,0$	Memenuhi
2	Viskositas; <i>Sybolt Furol</i> 25°C (detik)	25	20-100	Memenuhi
3	Stabilitas penyimpanan 24 jam (%)	0,09	Maks 1	Memenuhi
4	Muatan Partikel	Positif	Positif	Memenuhi
5	Analisis saringan tertahan No.20 (%)	0,04	Maks 0,1	Memenuhi
6	Residu penyulingan (%)	59,5	Min 57	Memenuhi
7	Penetrasi; 25°C; 100 gram; 5 detik (0,1 mm)	103,7	70-110	Memenuhi
8	Daktilitas; 25°C; 5 cm/menit (cm)	119,5	Min 40	Memenuhi
9	Kelarutan dalam <i>trikoloroetilena</i> (%)	98,07	Min 97,5	Memenuhi

1. Berat Jenis Residu

Berat jenis residu aspal emulsi merupakan perbandingan antara berat residu aspal dan berat air dengan volume yang sama pada temperatur tertentu. Hasil pengujian berat jenis residu aspal emulsi yang sudah dilakukan adalah sebesar 1,123 dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi Bina Marga 2018 yaitu $\geq 1,0$.

2. Viskositas

Pemeriksaan kekentalan (*viscosity*)/viskositas aspal emulsi memiliki tujuan untuk mengetahui kekentalan aspal emulsi saat mengalir. Kekentalan *saybolt furol* digunakan sebagai konsistensi ukuran kekentalan aspal emulsi menggunakan alat *saybolt furol*, kekentalannya dihitung berdasarkan waktu yang diperlukan untuk mengalir pada suhu tertentu. Nilai hasil pengujian viskositas aspal emulsi yang diperoleh adalah sebesar 25 detik dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu antara 20-100 detik.

3. Stabilitas Penyimpanan 24 Jam

Pengujian stabilitas penyimpanan 24 jam aspal emulsi memiliki tujuan untuk menentukan kemampuan aspal emulsi untuk tetap homogen selama penyimpanan, dengan menentukan persentase aspal emulsi yang mengendap. Nilai hasil pengujian stabilitas penyimpanan 24 jam aspal emulsi yang

diperoleh adalah sebesar 0,09% dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu maksimal 1%.

4. Muatan Partikel

Pengujian muatan partikel pada aspal emulsi memiliki tujuan untuk menentukan jenis aspal emulsi berdasarkan muatan partikel. Nilai hasil pengujian muatan partikel aspal emulsi yang diperoleh adalah positif dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu Aspal Emulsi CSS-1h bermuatan positif.

5. Analisis Tertahan Saringan No.20

Pengujian aspal emulsi tertahan saringan No.20 memiliki tujuan untuk mengetahui gumpalan aspal emulsi yang tertahan saringan No.20 dan homogenitas aspal emulsi. Nilai hasil pengujian aspal emulsi tertahan saringan No.20 yang diperoleh adalah sebesar 0,04% dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu maksimal 0,1%.

6. Residu Penyulingan

Pengujian kadar residu aspal emulsi memiliki tujuan untuk memperoleh nilai kadar residu aspal emulsi. Nilai hasil pengujian residu aspal emulsi yang diperoleh adalah sebesar 59,7% dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu minimal 57%.

7. Penetrasi

Pengujian penetrasi residu aspal emulsi memiliki tujuan untuk menentukan nilai penetrasi residu aspal emulsi. Nilai hasil pengujian penetrasi residu aspal emulsi yang diperoleh adalah sebesar 103,7 mm dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 2456-2011 yaitu antara 70-110 mm.

8. Daktilitas

Pengujian daktilitas residu aspal emulsi memiliki tujuan untuk mengetahui nilai keelastisan aspal yang diukur dari jarak terpanjang. Nilai hasil pengujian daktilitas residu aspal emulsi yang diperoleh adalah sebesar 119,5 cm dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu minimal 40 cm.

9. Kelarutan dalam *Trikoloroetilena*

Pengujian kelarutan dalam *Trikoloroetilena* memiliki tujuan untuk menentukan derajat kelarutan dalam bahan *trichloroethylene*. Nilai hasil pengujian kelarutan dalam bahan *trichloroethylene* yang diperoleh adalah sebesar 98,07% dan sudah memenuhi persyaratan spesifikasi SNI 03-4798-2011 yaitu minimal 97%.

5.2 Pengujian pada Campuran Aspal Emulsi Dingin

5.2.1 Perhitungan Kebutuhan Aspal

Variasi kadar aspal direncanakan dengan beda 0,5 % sebanyak dua variasi di bawah dan dua variasi di atas kadar aspal residu awal. Perhitungan kebutuhan aspal pada aspal emulsi penting untuk dilakukan mengingat aspal emulsi terdiri dari aspal, air dan *emulsifier*. Berbeda dengan perhitungan kebutuhan aspal pada campuran panas, berat aspal emulsi yang digunakan akan lebih banyak dari campuran panas karena diharapkan saat terjadi penguapan air pada campuran, maka residu aspal yang tertinggal sesuai dengan persentase aspal residu yang dibutuhkan dalam campuran. Tabulasi kebutuhan aspal dengan kadar aspal residu yang bervariasi dapat dilihat pada Tabel 5.6 berikut.

Tabel 5.6 Kebutuhan Aspal Emulsi Berdasarkan Variasi Kadar Aspal Residu

Kadar Aspal (%)	Kadar Aspal Residu (%)	Kadar Aspal Emulsi	Berat Aspal Emulsi Berdasarkan Total Campuran 1200 gr (gr)
P	X	$KAE = P/X$	$BAE = KAE \times 1200$
5,5	60,72	0,091	109
6	60,72	0,099	119
6,5	60,72	0,107	128
7	60,72	0,115	138
7,5	60,72	0,124	148

Persentase kadar aspal residu melalui pengujian kadar residu aspal dengan hasil aspal residu sebanyak 60,72%. Persentase residu pada aspal emulsi CSS-1h sudah sesuai dengan Thanaya & Wibawa, 2019 yang menyatakan komposisi kandungan pada aspal emulsi berkisar 60%-70% aspal, 30%-40% air dan 0,5%-1%

emulsifier. Kebutuhan aspal emulsi dihitung menggunakan Persamaan 3.1 sampai 3.3. Berat aspal yang digunakan dalam campuran aspal emulsi dingin adalah berat aspal emulsi berdasarkan total campuran.

5.2.2 Kadar Air Penyelimutan (*Coating Test*)

Pengujian penyelimutan (*coating test*) bertujuan untuk mencari kadar air untuk penyelimutan terbaik di mana air yang berfungsi untuk memudahkan aspal emulsi menyelimuti permukaan agregat. Air berperan sebagai *viscosity reducing agent* yang berfungsi untuk menurunkan kekentalan aspal emulsi. Kadar air optimum untuk tes ini, diambil pada variasi kadar air terkecil yang memberikan penyelimutan terbaik yang diobservasi secara visual, di mana campuran tidak terlalu encer atau kaku dapat dilihat pada Gambar 5.1.

Variasi kadar air yang digunakan dalam test ini adalah 1%, 2%, 3%, 4%, 5% dan 6% dari berat total campuran. Rencana campuran untuk kadar air penyelimutan dapat dilihat pada Lampiran C.1. Dari hasil pengamatan secara visual ditetapkan bahwa campuran dengan kadar air 3% dari total campuran sebagai kadar air optimum yang akan digunakan sebagai kadar air pada penentuan energi pemadatan maupun untuk menetapkan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO).



Gambar 5.1 Penentuan Kadar Air Penyelimutan

5.2.3 Penentuan Energi Pemadatan

Setelah ditetapkan kadar air optimum penyelimutan, dilanjutkan dengan penentuan energi pemadatan yang dapat memberikan stabilitas *Marshall* dan Porositas sesuai dengan spesifikasi yang ditentukan dalam penelitian. Proporsi campuran yang digunakan untuk penentuan energi pemadatan adalah dengan kadar aspal residu 7% dan kadar air penyelimutan 3% tanpa tundaan pemadatan seperti yang dapat dilihat pada Lampiran D.1. Hasil stabilitas *Marshall* Rendaman dan Porositas terhadap energi pemadatan dapat dilihat pada Tabel 5.7 berikut.

Tabel 5.7 Stabilitas *Marshall* Rendaman dan Porositas terhadap Energi Pemadatan

Jumlah Tumbukan	Stabilitas Rendaman rata-rata (kg)	Spesifikasi (kg)	Porositas (VIM) (%)	Spesifikasi (%)
2 x 50	322	300	13,069	5-10
2 x 75	469	300	11,926	5-10
2 x 2 x 75	580	300	11,242	5-10

Berdasarkan Tabel 5.7 dapat dilihat bahwa dengan pemadatan 2x 50 stabilitas campuran sudah memenuhi spesifikasi namun dari beberapa sampel yang di uji awal nilai stabilitasnya belum memenuhi spesifikasi. Sampel dengan pemadatan 2x75 dan 2x2x75 nilai stabilitasnya sudah memenuhi spesifikasi namun nilai porositas sampel belum memenuhi spesifikasi yang disyaratkan, hal ini mungkin terjadi karena campuran masih dalam keadaan jenuh air saat dipadatkan yang mengakibatkan kinerja aspal berkurang dalam menyelimuti agregat, dan membuat aspal tidak bisa masuk ke dalam pori agregat. Hal ini mengakibatkan nilai porositas campuran menjadi begitu tinggi. Untuk itu perlu dilakukan penundaan pemadatan agar tercapai kadar air optimum untuk campuran dipadatkan.

5.2.4 Penentuan Kadar Air Optimum Pemadatan dengan Penundaan Pemadatan

Penundaan pemadatan campuran dilakukan karena nilai Porositas yang disyaratkan belum memenuhi. Penundaan pemadatan dilakukan dengan cara mencampur agregat dengan aspal dan didiamkan dengan variasi tundaan pemadatan

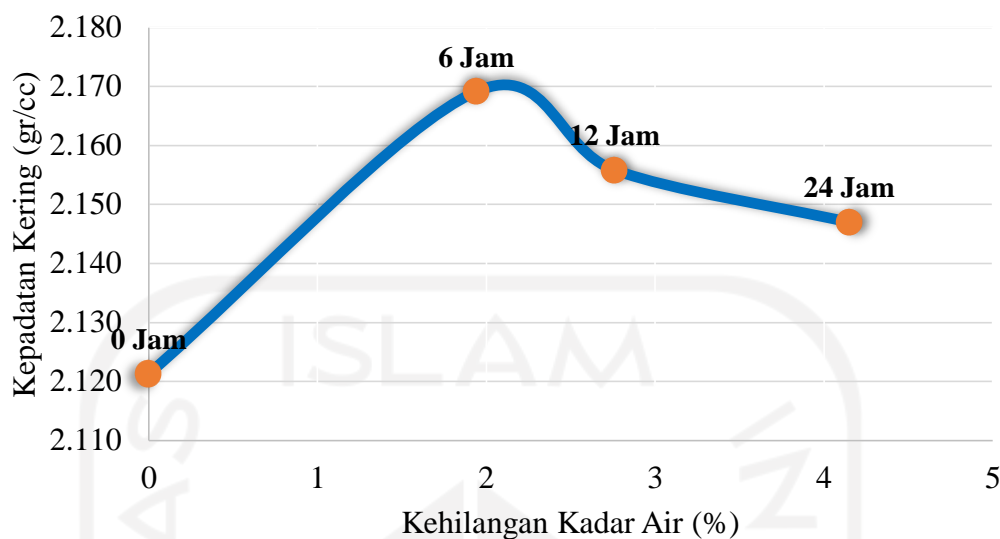
6 jam, 12 jam dan 24 jam dengan keadaan campuran dianginkan/tidak ditutup. Kadar air dalam campuran diharapkan agar menguap sebagian hingga mencapai kadar air pemadatan optimum, kepadatan optimum akan terjadi pada kadar air tertentu di mana kehilangan kadar cairan diukur dengan penimbangan.

Waktu penundaan pemadatan akan dipilih pada waktu tundaan tercepat dengan hasil nilai Stabilitas Rendaman, Porositas dan Kepadatan Kering yang memenuhi syarat. Pada pengujian ini dipilih energi pemadatan 2x75 dengan kadar aspal residu 6,5% dan kadar air penyelimutan 3%, proporsi campuran untuk pengujian ini dapat dilihat pada Lampiran D.1 dan perhitungan pengujian dapat dilihat pada Lampiran D.6. Hasil pengujian penentuan Kadar Air Pemadatan Optimum terhadap Penundaan Pemadatan dapat dilihat pada Tabel 5.8 dan Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5. 8 Kehilangan Kadar Air terhadap Kepadatan Optimum

Penundaan Pemadatan	Kehilangan Kadar Air (%)	Kepadatan Kering (gr/cm ³)	Porositas (%)	Stabilitas Rendaman (kg)
0 jam	0	2,140	11,926	469
6 jam	1,94	2,187	8,791	574
12 jam	2,76	2,173	8,350	583
24 jam	4,15	2,156	9,972	595
Spesifikasi	-	≥ 2	5-10 %	≥ 300

Dari Tabel 5.8 di atas dapat dilihat bahwa semakin lama penundaan pemadatan campuran, kadar air yang terkandung di dalam campuran semakin berkurang, namun nilai kehilangan kadar air yang semakin besar tidak membuat kepadatan campuran semakin tinggi. Pada nilai stabilitas rendaman dapat dilihat bahwa penundaan pemadatan 6 jam memberikan peningkatan stabilitas, namun pada penundaan 12 dan 24 jam peningkatan nilai stabilitas tidak begitu signifikan didukung dengan nilai kepadatan campuran yang juga lebih rendah dari penundaan pemadatan campuran 6 jam. Penundaan pemadatan memberikan nilai porositas campuran yang lebih kecil dibandingkan dengan campuran tanpa penundaan pemadatan, nilai porositas pada penundaan pemadatan 6 jam, 12 jam dan 24 jam sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.



Gambar 5.2 Grafik Hubungan Kepadatan Kering dengan Kehilangan Kadar Air

Pada Gambar 5.2 di atas grafik hubungan antara kadar air pemadatan dengan kepadatan kering, dapat dilihat kepadatan tertinggi terjadi pada nilai kehilangan kadar air 1,94% maka ditentukan untuk pembuatan benda uji selanjutnya pemadatan akan dilakukan pada tundaan pemadatan 6 jam dengan persentase kehilangan kadar air 1,94% dari total campuran. Pada pembuatan benda uji selanjutnya dipilih energi pemadatan 2x75 dengan kadar air penyelimutan 3%, tundaan pemadatan 6 jam dan kadar air pemadatan optimum 1,94%. Hasil analisis kadar air pemadatan sudah sesuai dengan (Balqis, 2014) yaitu kehilangan kadar air dari penambahan kadar air semula memberikan kepadatan optimum bersamaan dengan porositas yang memenuhi syarat yaitu dengan jumlah tumbukan 2x75.

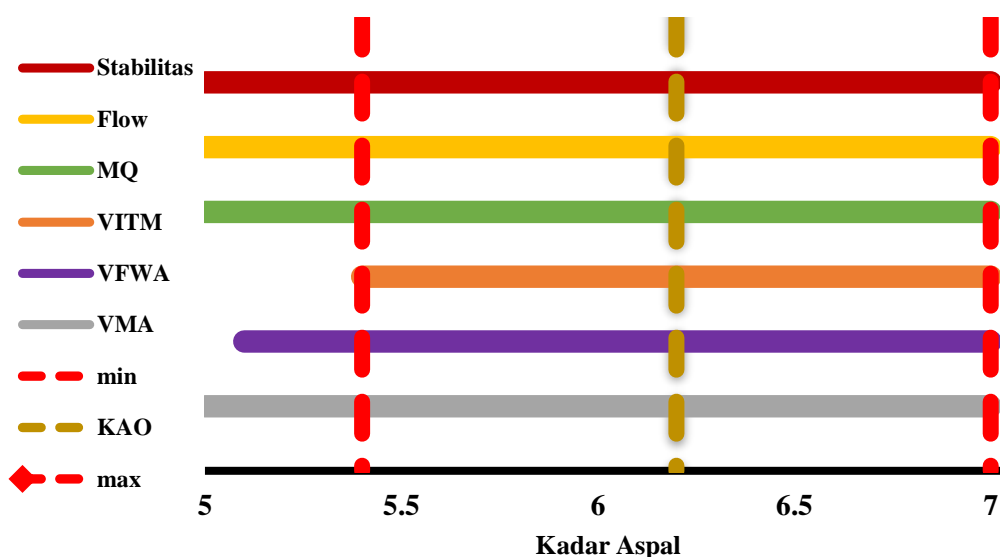
5.3 Pengujian Kadar Aspal Optimum (KAO)

5.3.1 KAO *Hot Mix*

Penentuan kadar aspal optimum pada penelitian ini menggunakan nilai-nilai karakteristik *Marshall* yaitu stabilitas (*stability*), kelelahan (*flow*), VMA (*Void in Mineral Aggregate*), VFWA (*Void Filled With Asphalt*), VITM (*Void in Total Mix*), dan MQ (*Marshall Quotient*) dari campuran AC-WC dengan bahan ikat aspal Pertamina Pen 60/70. Hasil pengujian untuk kadar aspal optimum dapat dilihat pada Lampiran F.1, Tabel 5.9 dan Gambar 5.2 berikut.

Tabel 5.9 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KAO

Kadar Aspal	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)	VITM (%)	VFWA (%)	VMA (%)
5	1098,328	3,30	383,978	7,358	59,476	18,146
5,5	1274,990	3,23	445,987	5,636	68,047	17,640
6	1311,816	3,33	402,384	4,616	74,026	17,761
6,5	1237,383	3,87	319,291	4,714	75,536	18,842
7	1154,042	4,07	291,136	4,159	79,127	19,358
Spesifikasi	≥ 800	2-4	≥ 250	3-5	≥ 65	≥ 15

Gambar 5.3 Penentuan KAO *Hot Mix*

Parameter untuk menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada campuran *AC-WC Laston Hot Mix* adalah berdasarkan nilai-nilai pada karakteristik *Marshall*. Pada penelitian ini diperoleh kadar aspal optimum yang akan digunakan untuk pembuatan sampel selanjutnya adalah sebesar 6,2% dari total campuran.

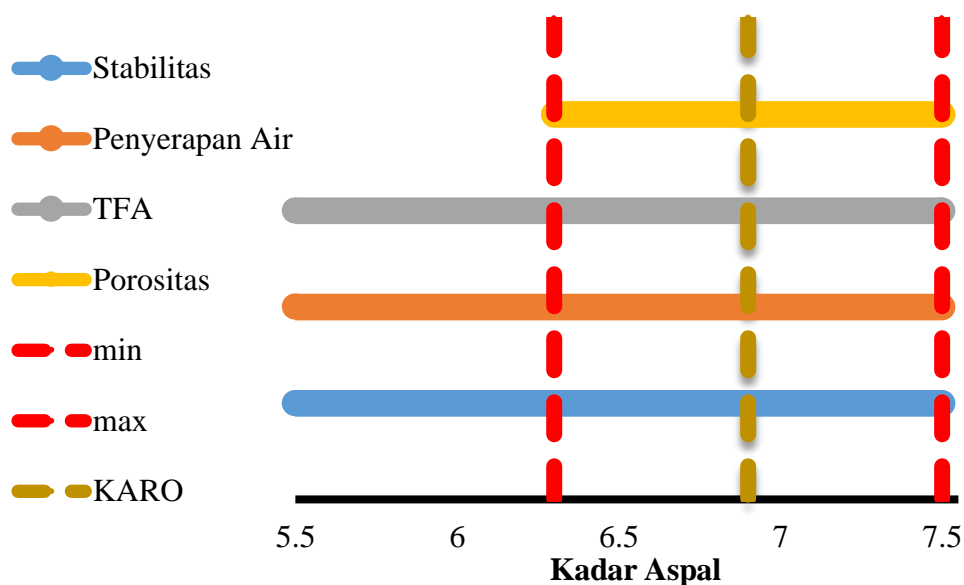
5.3.2 KARO Campuran Aspal Emulsi Dingin

Penentuan kadar aspal residu optimum pada penelitian ini menggunakan nilai-nilai karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) yaitu stabilitas

rendaman (*soaked stability*), Porositas, Tebal Film Aspal, dan Penyerapan Air dari campuran AC-WC dengan bahan ikat aspal Emulsi CSS-1h. Hasil pengujian untuk kadar aspal optimum dapat dilihat pada seluruh Lampiran E, Tabel 5.10 dan Gambar 5.3 berikut

Tabel 5.10 Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* untuk Mencari KARO

Karakteristik Campuran	Kadar Aspal					Spesifikasi
	5,5	6	6,5	7	7,5	
Stabilitas Rendaman (kg)	476,46	488,84	632,59	578,91	472,49	≥ 300
Penyerapan Air (%)	2,145	1,995	1,371	1,348	1,157	Maks 4
Tebal Film Aspal (μm)	13,177	14,451	15,739	17,041	18,357	$\geq 8 \mu\text{m}$
Porositas (%)	11,613	10,497	8,645	8,389	7,951	5-10
VMA (%)	26,323	26,624	26,344	27,360	28,222	-
VFB (%)	55,911	60,842	67,348	69,437	71,913	-
<i>Flow</i> (mm)	4,3	5,6	6,4	6,5	6,8	-



Gambar 5.4 Penentuan KARO CAED

Parameter untuk menentukan kadar aspal Residu Optimum (KARO) pada campuran AC-WC *Cold Mix/Dense Graded Emulsion Mixture Type IV (DGEM Type IV)* adalah berdasarkan nilai-nilai pada karakteristik Campuran Aspal Emulsi

Dingin (CAED). Pada penelitian ini diperoleh kadar aspal residu optimum yang akan digunakan untuk pembuatan sampel selanjutnya adalah sebesar 6,9% dari total campuran. Hasil pengujian untuk penentuan kadar aspal residu optimum pada CAED dengan hasil yang hampir mendekati dengan penelitian (Balqis, 2014) dan (Muliawan, 2011) yaitu sebesar 7%.

5.4 Karakteristik *Marshall* pada Campuran

5.4.1 Karakteristik *Marshall* pada *Hot Mix*

1. Stabilitas

Nilai stabilitas campuran aspal adalah ketahanan campuran aspal beton untuk melawan deformasi karena beban lalu lintas. Stabilitas dinyatakan dalam *kilonewton* (KN) atau kilogram (Kg) di mana $1 \text{ KN} = 100 \text{ kg}$. Pembacaan dial stabilitas pada alat *Marshall* belum merupakan nilai yang sebenarnya, maka nilai hasil pembacaan dial *Marshall* harus dikalikan dengan kalibrasi (*proofing ring*) alat *Marshall* dan faktor koreksi stabilitas. Nilai stabilitas campuran pada campuran Laston *Hot Mix* rata-rata adalah 1791,65 kg. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai stabilitas untuk campuran Laston *Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2% sudah memenuhi syarat yaitu $> 800\text{kg}$.

2. Kelelahan (*Flow*)

Nilai *flow* menunjukkan besarnya nilai deformasi yang terjadi akibat menahan beban yang diterima sampai batas keruntuhan. Besar nilai *flow* dinyatakan dalam satuan panjang. Nilai *flow* yang rendah menunjukkan bahwa campuran sangat kaku dan mudah retak. Sebaliknya jika nilai *flow* semakin tinggi maka campuran akan bersifat plastis dan mudah mengalami deformasi saat menerima beban. Nilai *flow* rata-rata pada campuran Laston *Hot Mix* adalah 3,68 mm. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai *flow* untuk campuran Laston AC-WC *Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2% sudah memenuhi syarat yaitu antara 2-4 mm.

3. *Void in Total Mix (VITM)*

Nilai *VITM* menunjukkan persentase rongga yang tersisa setelah campuran dipadatkan. Rongga tersebut berfungsi sebagai tempat agregat bergeser akibat beban lalu lintas berulang atau sebagai tempat apabila aspal melunak akibat perubahan temperatur. Nilai *VITM* rata-rata pada campuran Laston *Hot Mix* adalah 4,4 %. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai *VITM* untuk campuran Laston *AC-WC Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2 % sudah memenuhi syarat yaitu antara 3-5 %.

4. *Void in Mineral Aggregates (VMA)*

Nilai *VMA* menunjukkan persentase rongga antara butiran agregat dalam suatu campuran. Nilai *VMA* rata-rata pada campuran Laston *Hot Mix* adalah 17,7 %. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai *VMA* untuk campuran Laston *AC-WC Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2 % sudah memenuhi syarat yaitu antara > 15 %.

5. *Void Filled with Asphalt (VFWA)*

Nilai *VFWA* menunjukkan persentase rongga yang terisi aspal, nilai ini tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Nilai *VFWA* rata-rata pada campuran Laston *Hot Mix* adalah 75,18 %. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai *VFWA* untuk campuran Laston *AC-WC Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2 % sudah memenuhi syarat yaitu antara > 65 %.

6. *Marshall Quotient*

Nilai *MQ* merupakan pendekatan terhadap tingkat kekakuan dan fleksibilitas yang menandakan semakin tinggi nilai *MQ* pada suatu campuran, maka semakin kaku campuran tersebut. Sebaliknya jika semakin kecil nilai *MQ*, maka campuran tersebut semakin lentur. Nilai *MQ* rata-rata pada campuran Laston *Hot Mix* adalah 395,9 kg/mm. Berdasarkan persyaratan yang disyaratkan Bina Marga 2018 nilai *MQ* untuk campuran Laston *AC-WC Hot Mix* dengan kadar aspal optimum 6,2 % sudah memenuhi syarat yaitu > 250 mm/kg.

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall* pada Laston *Hot Mix AC-WC* dengan kadar aspal optimum 6,2 %. Berikut rekapitulasi hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 5.11.

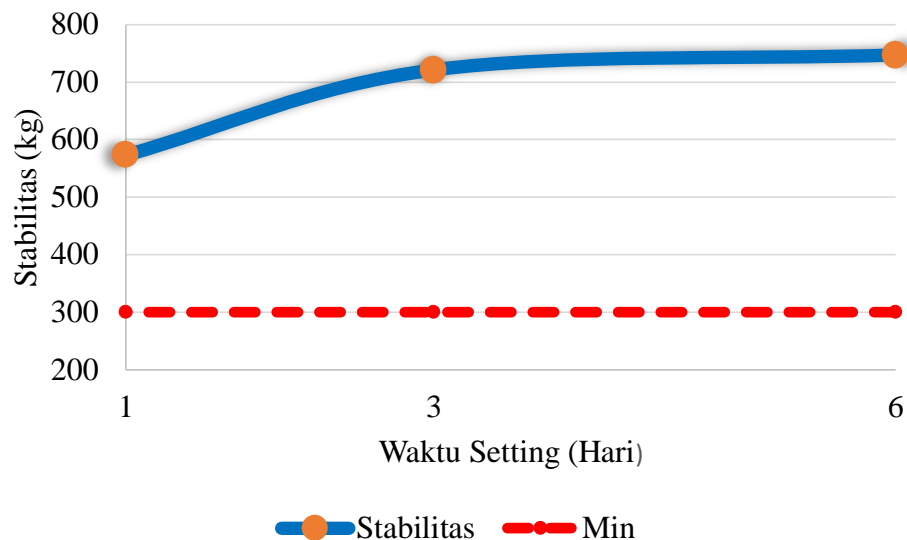
Tabel 5.11 Rekapitulasi Hasil Pengujian Karakteristik *Marshall* pada KAO

No	Karakteristik	Hasil	Spesifikasi	Keterangan
1	Stabilitas (kg)	1791,651	> 800	Memenuhi
2	Flow (mm)	3,68	2-4	Memenuhi
3	MQ (kg/mm)	395,898	> 250	Memenuhi
4	VITM (%)	4,401	3-5	Memenuhi
5	VFWA (%)	75,175	> 65	Memenuhi
6	VMA (%)	17,709	> 15	Memenuhi

5.4.2 Karakteristik *Marshall* pada CAED

1. Stabilitas

Stabilitas campuran aspal adalah ketahanan campuran aspal beton untuk melawan deformasi karena beban lalu lintas. Stabilitas dinyatakan dalam *kilonewton* (KN) atau kilogram (Kg) di mana 1 KN = 100 kg. Pembacaan dial stabilitas pada alat *Marshall* belum merupakan nilai yang sebenarnya, maka nilai hasil pembacaan dial *Marshall* harus dikalikan dengan kalibrasi (*proofing ring*) alat *Marshall* dan faktor koreksi stabilitas. Nilai stabilitas campuran pada Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari dapat dilihat pada Gambar 5.5 berikut.

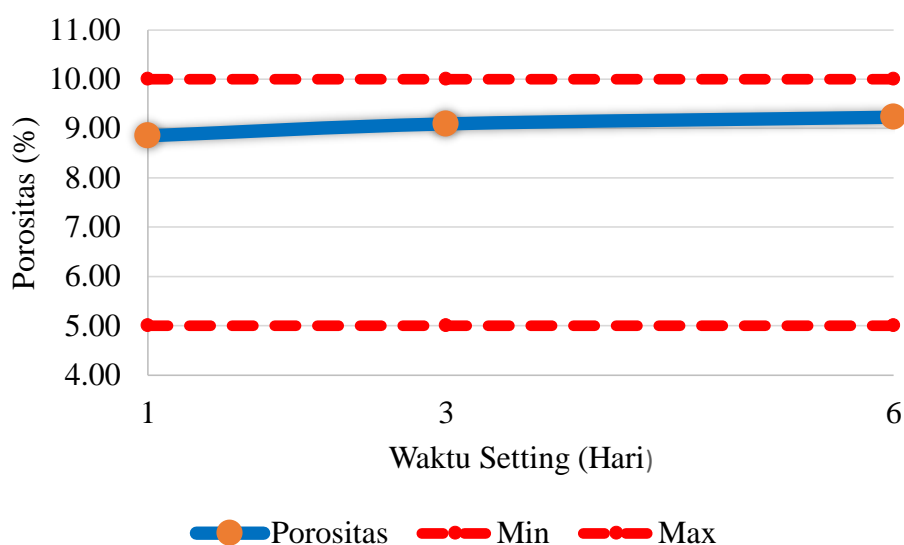


Gambar 5.5 Grafik Hubungan antara Nilai Stabilitas dengan Waktu Setting

Pada Gambar 5.5 terlihat bahwa nilai stabilitas rata-rata Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) pada waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari berturut-turut 573 kg, 721 kg dan 747 kg yang memiliki arti lama waktu *setting* mempengaruhi peningkatan nilai stabilitas, hal ini dikarenakan kekuatan pada umur awal CAED masih lemah karena aspal emulsi belum mengikat maksimal akibat kandungan air dalam campuran belum menguap total, sehingga semakin lama waktu *setting* CAED maka penguapan kadar air yang terjadi semakin besar. Nilai stabilitas rata-rata pada setiap waktu *setting* sudah memenuhi syarat nilai stabilitas yaitu > 300 kg. Namun pada waktu setting antara 3 hari dengan 6 hari peningkatan stabilitas terjadi tidak begitu signifikan hal ini mungkin disebabkan penguapan pada sampel setelah *setting* 3 hari tidak begitu optimal. Hasil penelitian ini sudah sesuai dengan hasil penelitian (Muliawan, 2011) yaitu lama waktu *setting* mempengaruhi peningkatan stabilitas pada CAED, dan CAED dengan penambahan semen memberikan hasil stabilitas yang hampir mencapai 800 kg.

2. Porositas

Nilai rata-rata porositas pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari berturut-turut adalah 8,85 %, 9,09 % dan 9,23 % peningkatan nilai porositas terjadi seiring dengan lama waktu *setting* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.6 dan pada Lampiran G.3, hal ini disebabkan oleh besar kadar air yang menguap seiring dengan lama waktu *setting*, yang menyebabkan campuran menjadi lebih berongga. Secara teori porositas bisa dipengaruhi oleh jenis aspal emulsi yang *workability*nya bisa berbeda antara produk yang satu dengan yang lain. Sebagai perbandingan dengan aspal panas syarat porositas AC berkisar 3-5 %. Nilai porositas rata-rata pada setiap waktu *setting* sudah memenuhi syarat yaitu 5-10%.

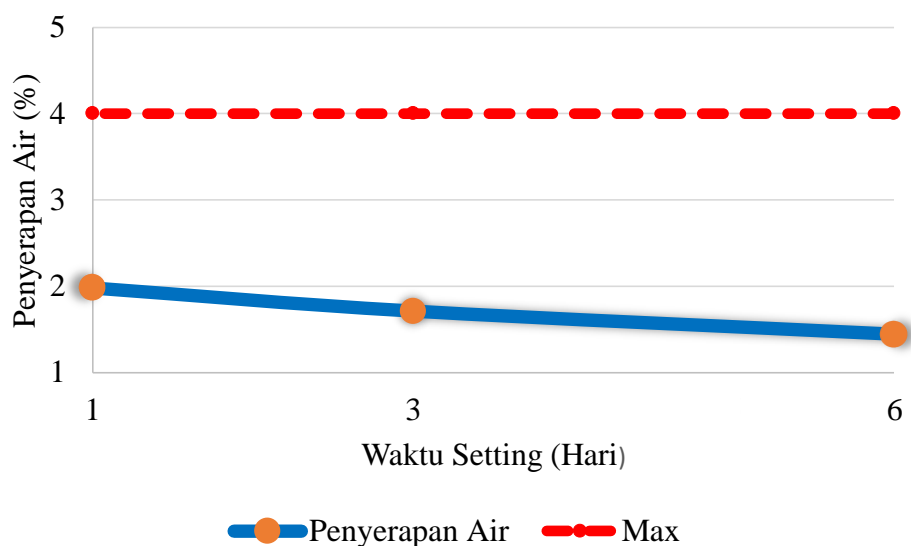


Gambar 5.6 Grafik Hubungan antara Porositas dengan Waktu *Setting*

3. Penyerapan Air

Nilai rata-rata penyerapan air pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari, dan 6 hari berturut-turut adalah 1,98%, 1,71 % dan 1,44 % yang memiliki arti bahwa seiring dengan lama waktu *setting* kemampuan sampel terhadap penyerapan air semakin menurun seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.7. Walaupun nilai porositas CAED relatif

lebih tinggi dibandingkan dengan campuran panas, namun penyerapan air relatif kecil, hal ini disebabkan oleh sifat interkoneksi rongga tidak menerus. Nilai penyerapan air rata-rata pada setiap waktu *setting* sudah memenuhi syarat yaitu $< 4\%$.



Gambar 5.7 Grafik Hubungan antara Penyerapan Air dengan Waktu *Setting*

4. Tebal Film Aspal

Nilai rata-rata Tebal Film Aspal pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) 6,9% adalah 16,78 μm , yang memiliki arti bahwa waktu setting tidak memberikan pengaruh terhadap tebal film aspal karena menggunakan kadar aspal yang sama pada seluruh sampel dengan waktu *setting* yang berbeda. Syarat nilai tebal film aspal untuk Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) tipe IV yaitu $> 8\ \mu\text{m}$, nilai 16,78 μm pada kadar aspal optimum 6,9 % sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

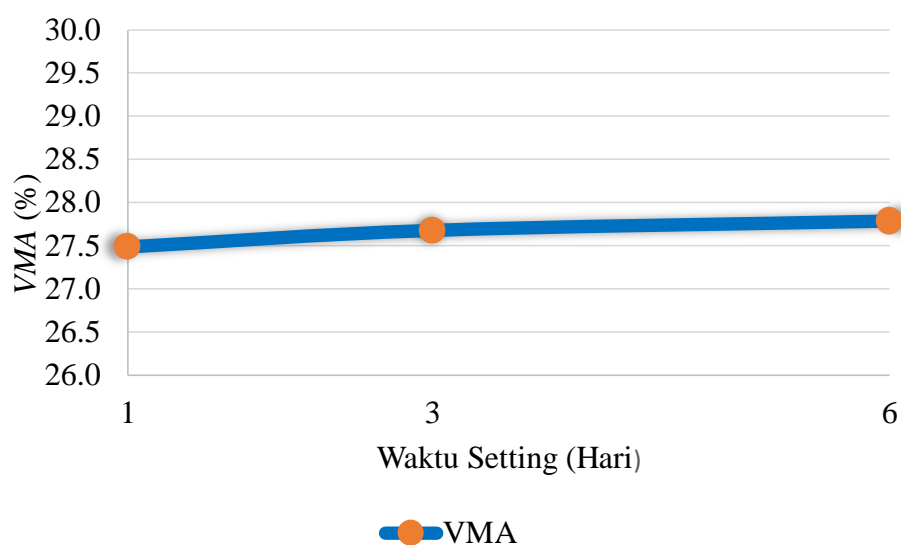
5. Densitas

Nilai rata-rata densitas/kepadatan kering pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari berturut-turut adalah 2,157 gr/cm^3 , 2,152 gr/cm^3 dan 2,148 gr/cm^3 yang memiliki arti bahwa waktu setting tidak mempengaruhi nilai densitas sampel. Hal ini disebabkan

karena seluruh sampel dibuat pada waktu tundaan pemadatan yang sama dengan kadar air pemadatan yang sama, sehingga tidak terjadi peningkatan atau penurunan nilai densitas akibat waktu *setting*.

6. *Void in Mineral Aggregates (VMA)*

VMA pada campuran aspal emulsi dingin tidak disyaratkan spesifikasinya jika dibandingkan dengan persyaratan VMA pada campuran panas dengan nilai minimal 15 %. Nilai rata-rata VMA pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari berturut-turut adalah 27,485 %, 27,676 % dan 27,784 %, yang memiliki arti bahwa terjadi peningkatan nilai VMA yang tidak signifikan seiring dengan lama waktu *setting* seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.8 berikut.

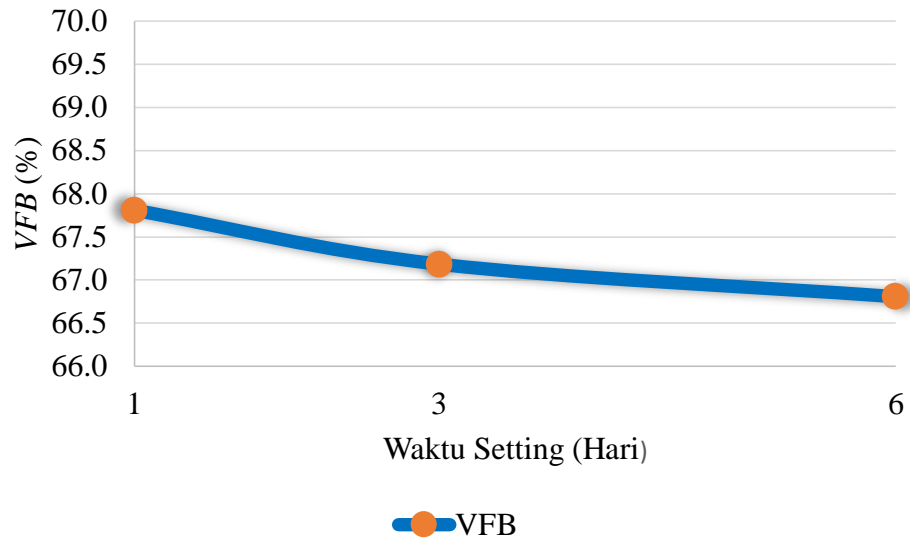


Gambar 5.8 Grafik Hubungan antara VMA dengan Waktu *Setting*

7. *Void Filled with Bitumen (VFB)*

VFB adalah bagian dari VMA yang terisi oleh kandungan aspal efektif. Nilai VFB pada campuran aspal emulsi dingin tidak disyaratkan spesifikasinya jika dibandingkan dengan persyaratan VFB pada campuran panas dengan nilai minimal 65 %. Nilai rata-rata VFB pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari dan 6 hari berturut-turut adalah

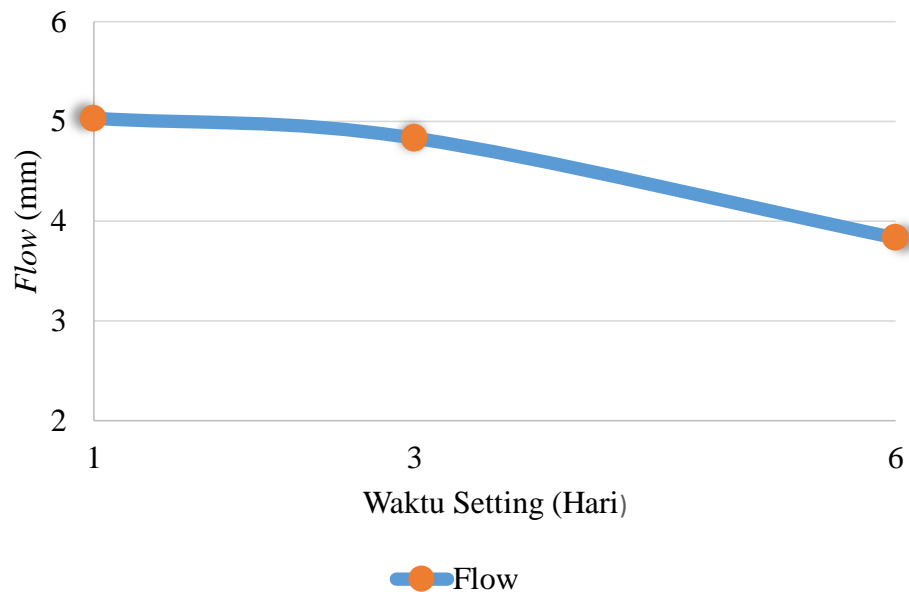
67,809 %, 67,184 % dan 66,807 %, yang memiliki arti bahwa terjadi penurunan nilai *VFB* yang tidak signifikan seiring dengan lama waktu setting seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.9 berikut



Gambar 5.9 Grafik Hubungan antara *VFB* dengan Waktu *Setting*

8. Kelelahan (*Flow*)

Besar perubahan bentuk plastis suatu benda uji Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) terjadi akibat suatu beban sampai batas keruntuhan. Besar nilai kelelahan dinyatakan dalam satuan panjang. Nilai *flow* pada campuran aspal emulsi dingin tidak disyaratkan spesifikasinya jika dibandingkan dengan persyaratan *Flow* pada campuran panas dengan nilai minimal 3 mm. Nilai rata-rata *flow* pada Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) dengan waktu setting 1 hari, 3 hari dan 6 hari beturut-turut adalah 5,03 mm, 4,83 mm dan 3,83 mm yang memiliki arti bahwa terjadi penurunan nilai *flow* yang signifikan pada waktu *setting* 6 hari seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.10. Penurunan nilai *flow* pada CAED disebabkan lama waktu pengeringan mempengaruhi nilai stabilitas campuran yang berkaitan dengan semakin kakunya campuran, sehingga semakin lama waktu *setting* maka campuran menjadi semakin kaku. Hasil penelitian ini sesuai dengan penelitian (Muliawan, 2011) yaitu lama waktu *setting* mempengaruhi kekakuan campuran yang mengakibatkan penurunan nilai *flow* campuran.



Gambar 5.10 Grafik Hubungan antara *Flow* dengan Waktu *Setting*

Berdasarkan hasil pengujian karakteristik *Marshall* pada setiap waktu *setting* dengan kadar aspal residu optimum 6,9 %. Berikut rekapitulasi hasil pengujian CAED dapat dilihat pada Tabel 5.12.

Tabel 5.12 Rekapitulasi Hasil Pengujian CAED pada KARO

Karakteristik Campuran	Waktu <i>Setting</i> (Hari)			Spefk.	Ket.
	1	3	6		
Stabilitas Rendaman (kg)	572,99	721,17	747,06	≥ 300	Memenuhi
Penyerapan Air (%)	1,98	1,71	1,44	Maks 4	Memenuhi
Tebal Film Aspal (μm)	16,78	16,78	16,78	$\geq 8 \mu\text{m}$	Memenuhi
Porositas (%)	8,85	9,09	9,23	5-10	Memenuhi
VMA (%)	27,49	27,68	27,78	-	
VFB (%)	67,81	67,18	66,81	-	
Flow (mm)	5	4,8	3,8	-	

5.5 Kekuatan Tarik Tak Langsung pada Campuran

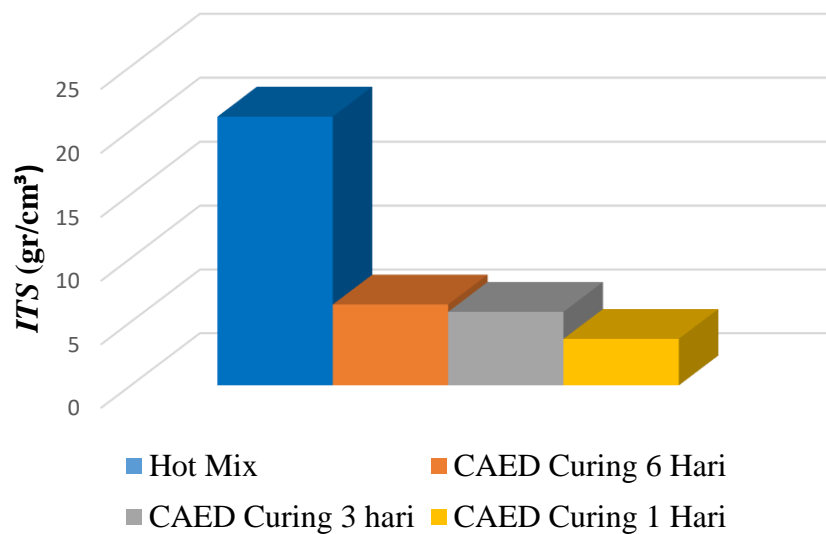
Indirect Tensile Strength (ITS) merupakan pengujian yang memiliki tujuan untuk mengetahui kemampuan campuran dalam menahan gaya tarik tidak langsung akibat beban lalu lintas. Pengujian ini memiliki tujuan untuk identifikasi indikasi

akan terjadinya retak di lapangan. Hasil pengujian *ITS* pada campuran Laston AC-*WC Hot Mix* dan Campuran Aspal Emulsi Dingin Tipe IV pada tiap variasi waktu pengeringan dapat dilihat pada Tabel 5.13 berikut.

Tabel 5.13 Rekapitulasi Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

Campuran	<i>Indirect Tensile Strength</i> (kg/cm ³)
CAED <i>Setting</i> 6 hari	6,358
CAED <i>Setting</i> 3 hari	5,784
CAED <i>Setting</i> 1 hari	3,655
<i>Hot Mix</i>	21,058

Pada Tabel 5.13 dapat dilihat bahwa nilai *ITS* Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED) pada tiap waktu pengeringannya memiliki nilai yang jauh lebih rendah dibandingkan dengan campuran aspal panas seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.11. Hal ini disebabkan campuran aspal dingin yang memiliki kekuatan rendah pada umur awal sehingga kurang bisa menahan deformasi. Nilai *ITS* CAED yang jauh di bawah nilai *ITS* campuran panas menunjukkan bahwa CAED tidak memiliki kemampuan sebaik campuran panas dalam menahan gaya tarik tidak langsung yang berarti memiliki kemungkinan CAED lebih mudah retak saat menerima beban dibandingkan campuran panas. Hasil pengujian nilai *ITS* pada CAED yang berkisar antara 3 kg/cm³-6 kg/cm³ sesuai dengan hasil pengujian (Thanaya, Wibawa, Ariawan, & Purbanto, 2019). Nilai *ITS* meningkat seiring dengan lama waktu *setting* pada CAED, hal ini membuktikan bahwa kekuatan CAED terhadap deformasi meningkat seiring dengan persentase kandungan air yang menguap dalam campuran yang mengakibatkan campuran semakin kaku.



Gambar 5.11 Perbandingan Hasil Pengujian *Indirect Tensile Strength* pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

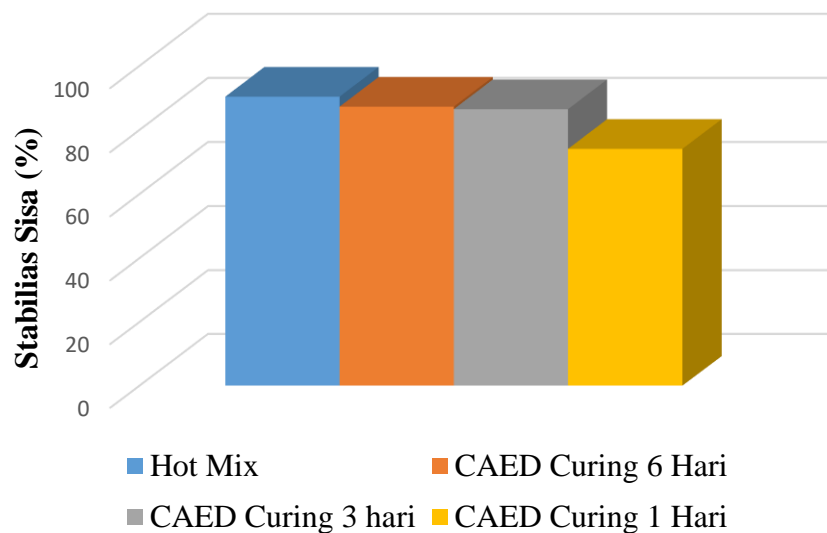
5.6 Stabilitas Sisa pada Campuran

Pengujian stabilitas sisa merupakan metode untuk mengetahui besar kekuatan sisa yang dimiliki oleh campuran aspal beton. Nilai stabilitas sisa pada Campuran Aspal Emulsi Dingin diperoleh dari perbandingan antara stabilitas rendaman (*soaked stability*) 48 jam terhadap stabilitas kering (*dry stability*) dalam oven. Sedangkan pada campuran aspal panas nilai stabilitas sisa diperoleh dari perbandingan nilai stabilitas rendaman 24 jam terhadap nilai stabilitas rendaman 0,5 jam. Hasil pengujian stabilitas sisa pada campuran Laston AC-WC *Hot Mix* dan Campuran Aspal Emulsi Dingin Tipe IV pada tiap variasi waktu pengeringan dapat dilihat pada Tabel 5.14 berikut.

Tabel 5.14 Rekapitulasi Hasil Pengujian Stabilitas Sisa pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

Campuran	Stabilitas Sisa (%)	Spesifikasi (%)
CAED <i>Setting</i> 6 hari	87,230	Min 50
CAED <i>Setting</i> 3 hari	86,452	Min 50
CAED <i>Setting</i> 1 hari	74,063	Min 50
<i>Hot Mix</i>	90,342	Min 90

Pada Tabel 5.14 dapat dilihat bahwa stabilitas sisa CAED dan campuran aspal panas rata-rata sudah memenuhi spesifikasi yang disyaratkan yaitu $> 50\%$ untuk CAED dan $> 90\%$ untuk campuran aspal panas. Pada CAED stabilitas sisa mengalami peningkatan seiring dengan lama waktu setting seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.12. Peningkatan stabilitas sisa pada CAED dikarenakan penguapan kadar air pada campuran CAED semakin besar, hal ini menyebabkan peningkatan kestabilan pada campuran. Nilai stabilitas sisa pada CAED pada waktu setting 3 hari dan 6 hari menunjukkan nilai yang tidak jauh berbeda, dan juga tidak jauh berbeda dengan nilai stabilitas sisa pada campuran panas, walaupun nilai stabilitas pada CAED jauh di bawah nilai campuran panas. Hal ini disebabkan stabilitas sisa dihitung berdasarkan perbandingan 2 hasil nilai stabilitas *Marshall* pada kondisi yang berbeda, sehingga hasilnya hanya menunjukkan persentasenya saja. Nilai stabilitas sisa campuran CAED pada penelitian ini sudah sesuai dengan (Muliawan, 2011) yaitu $> 50\%$.



Gambar 5. 12 Perbandingan Hasil Pengujian *Immersion Test* pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

5.7 Permeabilitas pada Campuran

Permeabilitas adalah kemampuan suatu media untuk mengalirkan cairan melalui rongga yang terkandung di dalamnya. Setiap material dengan ruang kosong di antaranya disebut poros, apabila ruang kosong itu saling terhubung maka benda tersebut memiliki sifat permeabilitas. Campuran dengan angka porositas yang lebih tinggi biasanya memiliki rongga campuran yang lebih besar juga. Hasil pengujian permeabilitas pada campuran Laston AC-WC *Hot Mix* dan Campuran Aspal Emulsi Dingin Tipe IV pada tiap variasi waktu pengeringan dapat dilihat pada Tabel 5.15 berikut.

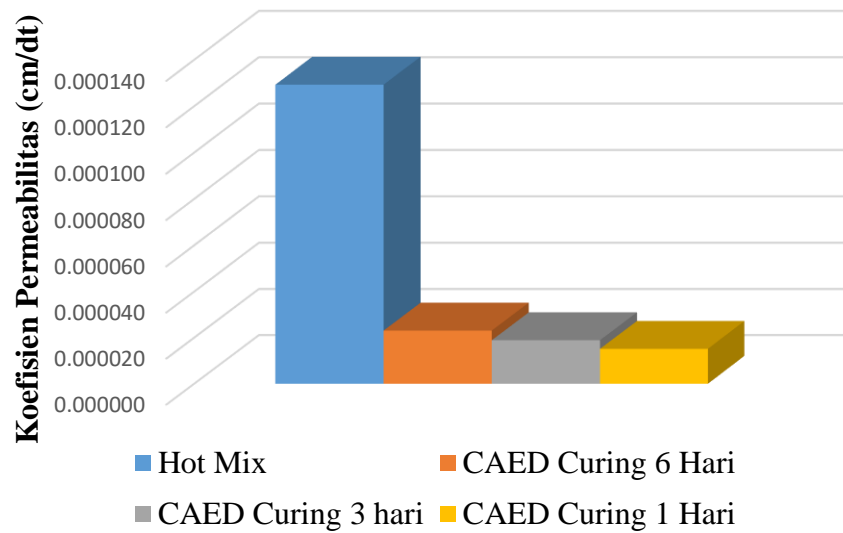
Tabel 5.15 Rekapitulasi Hasil Pengujian Permeabilitas pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

Campuran	Permeabilitas (cm/dt)
CAED <i>Setting</i> 6 hari	0,0000231037
CAED <i>Setting</i> 3 hari	0,0000189139
CAED <i>Setting</i> 1 hari	0,0000151625
<i>Hot Mix</i>	0,0001292684

Pada Tabel 5.15 di atas dapat dilihat koefisien permeabilitas pada campuran aspal panas lebih besar dari pada koefisien permeabilitas CAED, hal ini menunjukkan bahwa aspal panas memiliki permeabilitas yang baik, namun jika ditinjau dari nilai porositas CAED relatif lebih tinggi dibandingkan dengan campuran panas namun koefisien permeabilitasnya lebih kecil, yang menunjukkan bahwa permeabilitas CAED tidak sebaik aspal panas, hal ini disebabkan oleh sifat interkoneksi rongga tidak menerus.

Waktu *setting* pada CAED juga memberikan pengaruh terhadap koefisien permeabilitas, semakin lama waktu *setting* pada CAED maka nilai koefisien permeabilitasnya semakin besar juga seperti yang dapat dilihat pada Gambar 5.13, hal ini menunjukkan bahwa campuran dengan waktu pengeringan yang lebih lama mampu mengalirkan air pada rongganya lebih baik dari pada campuran dengan waktu pengeringan yang lebih sebentar. Hal ini disebabkan semakin lama waktu *setting* maka semakin besar kadar air yang menguap, hal ini menyebabkan rongga

pada CAED akan semakin terbentuk karena kadar air yang sebelumnya memenuhi rongga campuran sudah menguap.



Gambar 5.13 Perbandingan Hasil Pengujian Permeabilitas pada Campuran Aspal Dingin dan Campuran Aspal Panas

BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang didapat berdasarkan hasil penelitian dan analisis dari karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin dan *Hot Mix AC-WC Laston* dapat disimpulkan sebagai berikut.

1. Kadar Aspal Residu Optimum (KARO) Campuran Aspal Emulsi Dingin adalah 6,9 %. Karakteristik CAED dengan nilai stabilitas berturut-turut dengan waktu setting 1 hari, 3 hari, dan 6 hari adalah 573 kg, 721 kg, dan 747 kg, dalam hal ini lama waktu *setting* mempengaruhi peningkatan nilai stabilitas, jika dibandingkan dengan nilai stabilitas pada Laston *Hot Mix AC-WC* dengan Kadar Aspal Optimum (KAO) 6,2 % adalah sebesar 1791,65 kg. Nilai kestabilan campuran aspal panas jauh lebih baik dari pada nilai kestabilan campuran aspal emulsi dingin.
2. Penundaan pemadatan pada CAED memberikan pengaruh pada nilai porositas yang lebih kecil dibandingkan dengan CAED tanpa penundaan pemadatan, hal ini disebabkan kadar air optimum pemadatan tercapai setelah dilakukan penundaan pemadatan yang juga memberikan kepadatan optimum pada CAED.
3. Lama waktu *setting* pada CAED memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai *ITS*. Pada nilai *ITS* berturut-turut dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari, dan 6 hari adalah 3,66 kg/cm³, 5,78 kg/cm³, dan 6,36 kg/cm³. Jika dibandingkan dengan nilai *ITS* pada Laston *Hot Mix AC-WC* adalah sebesar 21,06 kg/cm³. CAED tidak memiliki kemampuan sebaik campuran panas dalam menahan gaya tarik tidak langsung.
4. Lama waktu *setting* pada CAED memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai *IRS*. Pada nilai *IRS* berturut-turut dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari, dan 6 hari adalah 74,06 %, 86,45%, dan 87,23%. Jika dibandingkan dengan nilai *IRS* pada Laston *Hot Mix AC-WC* adalah sebesar 90,34 %.

5. Lama waktu *setting* pada CAED memberikan pengaruh terhadap peningkatan nilai koefisien permeabilitas. Pada koefisien permeabilitas berturut-turut dengan waktu *setting* 1 hari, 3 hari, dan 6 hari sebesar $2,3 \times 10^{-6}$ cm/dt, $1,8 \times 10^{-6}$ cm/dt, dan $1,5 \times 10^{-6}$ cm/dt. Jika dibandingkan dengan koefisien permeabilitas pada Laston *Hot Mix AC-WC* adalah sebesar $1,2 \times 10^{-5}$ cm/dt maka permeabilitas campuran panas lebih baik dibandingkan CAED.

6.2 Saran

Penelitian mengenai karakteristik campuran aspal emulsi dingin (CAED Tipe IV) dengan tundaan pemadatan 6 jam menggunakan variasi aditif semen 1 % diharapkan dapat dilanjutkan oleh peneliti lain untuk penyempurnaan hasil penelitian. Dalam hal tersebut, penulis menyarankan beberapa poin sebagai berikut.

1. Disarankan penelitian selanjutnya untuk melakukan penambahan hari waktu *setting*, untuk mengetahui apakah masih ada peningkatan stabilitas yang terjadi.
2. Disarankan penelitian selanjutnya untuk melakukan penambahan waktu penundaan pemadatan, untuk mengetahui lama waktu simpan campuran terhadap stabilitas campuran.

DAFTAR PUSTAKA

- AkzoNobel. (2002). *Basic emulsion know-*.<http://www.asphalt-azkonobel.com/chemicals/be/morebe.htm> Accessed on 17/06/2002.
- Balqis, P. (2014). Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Dingin Menggunakan Agregat Gradasi Rapat Tipe IV Tanpa dan Dengan Tundaan Pematatan 12 Jam dengan Variasi Aditif Semen 1%. *Tugas Akhir*, 117.
- Institute, A. (1989). *Asphalt Cold Mix Manual MS-14*. Lexington, USA: Asphalt Institute.
- Leech. (1994). *Cold Bitumen Materials for use in the Structural Layers of Roads*. Wokingham, United Kingdom.
- MPW-RI. (1990). *Paving Specification Utilizing Bitumen Emulsions*. Jakarta.
- Muliawan, I. W. (2011). Analisis Karakteristik dan Peningkatan Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED). *Tesis*, 220.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Bandung: Nova.
- Sukirman, S. (2003). *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta: Yayasan Obor Indonesia.
- Sukirman, S. (2007). In Y. O. Indonesia, *Beton Aspal Campuran Panas*. Jakarta.
- Thanaya, I. A., & Wibawa, I. C. (2019). *Teknologi Campuran Aspal Emulsi Dingin (CAED)*. Denpasar, Bali: Udayana University Press.
- Thanaya, I. A., Wibawa, I. C., Ariawan, I. A., & Purbanto, I. R. (2019, Juli 31). *Jurnal Ilmiah Teknik Sipil. Analisis Karakteristik dan Kinerja Campuran Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) Menggunakan Agregat Bekas Bongkaran Beton*, 95.
- Thanaya, I. N. (2002). *Improve Mix Design Procedure for Cold Asphalt Mixture*. Kuala Lumpur.
- Thanaya, I. N. (2003). *Improving The Performance of Colds Bituminous Emulsion Mixture (CBEMs) Incorporating Waste Materials*.
- Whiteoak, D. (1990). *The Shell Bitumen Handbook, 4th Edition*. United Kingdom.

LAMPIRAN A

LAPORAN HASIL PENGUJIAN CSS-1h

الجمعة الإسلامية الأندلسية

LAMPIRAN A.1 Hasil Pengujian Aspal Emulsi CSS-1h



PEMERINTAH PROVINSI DAERAH KHUSUS IBUKOTA JAKARTA
DINAS BINA MARGA
**UNIT PENGELOLA PENYELIDIKAN, PENGUJIAN
DAN PENGUKURAN BINA MARGA**
Jl. Di. Pandjaitan Kav. 583, Jakarta Timur Tlp. (021), 8191354, Fax. 8191354
JAKARTA



Kode pos 13410

LAPORAN HASIL PENGUJIAN ASPAL EMULSI

Nomor order : 49/II/2020 Jenis benda uji : Aspal Emulsi CSS-1h
Nomor contoh : 3 (Tiga) Diuji oleh : Ratno, Rika Dwi Utami, A.Md.T
Tanggal pengujian : 17-3-2020 Diperiksa oleh : Mughni Hakim, ST
Tanggal selesai : 30-3-2020

NO.	PEMERIKSAAN	SATUAN	HASIL ANALISA	SPESIFIKASI ASPAL EMULSI CSS-1h		
				AASHTO M 208-96		
				MIN	MAX	METODE
I. TEST DARI EMULSI						
1	Viscositas, saybolt urol (25°C)	Detik	25	20	100	AASHTO T 59-97*
2	Storage stability 24 jam	%	0,09	-	1	AASHTO T 59-97*
3	Sieve test	%	0,04	-	0,1	AASHTO T 59-97*
4	Residu destilasi	%	59,5	57	-	AASHTO T 59-97*
II. TEST RESIDU DARI DESTILASI						
1	Penetrasi 25°C, 100gr, 5 detik	0,1 mm	103,7	70	110	SNI 2456-2011
2	Daktalitas pada suhu 25°C, 5 cm/menit	cm	119,5	40	-	SNI 2432-2011
3	Kelarutan dalam Trychloroethylene	%	98,07	97,5	-	AASHTO T 44-97*

Catatan: *Hasil pengujian ini hanya berlaku bagi bahan yang sama dengan yang diuji di Unit Pengelola Penyelidikan, Pengujian dan Pengukuran

Bina Marga Dinas Bina Marga Provinsi DKI Jakarta

*tidak termasuk akreditasi

Jakarta, 31 Maret 2020

Mengetahui,
Kepala Unit Pengelola
Penyelidikan, Pengujian dan Pengukuran Bina Marga
Dinas Bina Marga Provinsi DKI Jakarta,


H. Agustio Ruhseto
NIP. 196508311996031001

Kepala Satuan Pelaksana
Penyelidikan dan Pengujian UP, PPPBM
Dinas Bina Marga Provinsi DKI Jakarta,


M. Fahrudin, ST, MT
NIP. 197901162010011011

: UPPP/F.r/20/80

LAMPIRAN B

PEMERIKSAAN BAHAN



الجامعة الإسلامية
الابستد الاندو

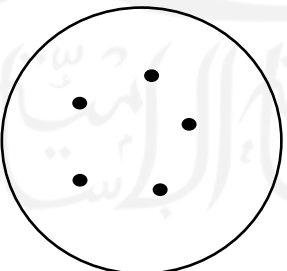
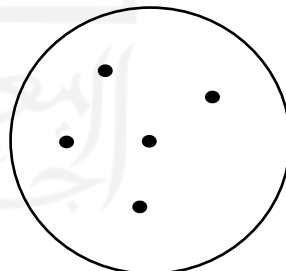
LAMPIRAN B.1 Pemeriksaan Penetrasi Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN PENETRASI ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu (°C)	Pemb. Waktu (WIB)
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai Pemanasan	25°C	10.00
	Selesai Pemanasan	161°C	10.30
2	Didiamkan pada Suhu ruang		
	Mulai	161°C	10.30
	Selesai	26°C	13.00
3	Diperiksa		
	Mulai	25°C	15.30
	Selesai	25°C	15.50

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji		Sket Pengujian	
	I (mm)	II (mm)	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	61	62		
2	63	60		
3	65	69		
4	64	64		
5	66	67		
Rata-rata	64,1			

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.2 Pemeriksaan Titik Nyala dan Titik Bakar

PEMERIKSAAN TITIK NYALA DAN TITIK BAKAR

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu (°C)	Pemb. Waktu (WIB)
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai Pemanasan	25°C	10.00
	Selesai Pemanasan	161°C	10.30
2	Didiamkan pada Suhu ruang		
	Mulai	161°C	10.30
	Selesai	25°C	13.00
3	Diperiksa		
	Mulai	30°C	14.10
	Selesai	350°C	14.30

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Titik Nyala (°C)	Titik Bakar (°C)
1	Benda Uji 1	335	345

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.3 Pemeriksaan Titik Lembek

PEMERIKSAAN TITIK LEMBEK

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu (°C)	Pemb. Waktu (WIB)
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai Pemanasan	25°C	10.00
	Selesai Pemanasan	161°C	10.30
2	Didiamkan pada Suhu ruang		
	Mulai	161°C	10.30
	Selesai	26°C	13.00
3	Diperiksa		
	Mulai	5°C	14.50
	Selesai	56°C	15.20

No	Suhu yang diamati	Waktu Pemanasan (Detik)		Titik Lembek (°C)	
		Benda Uji 1	Benda Uji 2	Benda Uji 1	Benda Uji 2
1	5°C	0	0		
2	10°C	157,08	157,08		
3	15°C	69,99	69,99		
4	20°C	66,77	66,77		
5	25°C	67,19	67,19		
6	30°C	75,97	75,97		
7	35°C	72,69	72,69		
8	40°C	80,36	80,36		
9	45°C	84,99	84,99		
10	50°C	75,41	75,41	52	52

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.4 Pemeriksaan Daktilitas Aspal

PEMERIKSAAN DAKTILITAS ASPAL

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

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

HASIL PENGAMATAN

No	Benda Uji	Hasil Pengujian (cm)
1	Sampel 1	164,5
2	Sampel 2	164,5
4	Rata-rata	164,5

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.5 Pemeriksaan Kelarutan dalam TCE

PEMERIKSAAN KELARUTAN DALAM TCE

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

No	Pemeriksaan	Keterangan	Pembacaan	
			Waktu (WIB)	Suhu (°C)
1	Penimbangan	Mulai	13.00	26°C
2	Pelarutan	Mulai	13.10	26°C
3	Penyaringan	Mulai	13.20	26°C
		Selesai	13.40	26°C
4	di Oven	Mulai	13.41	110°C
5	Penimbangan	Mulai	13.51	26°C

HASIL PENGUJIAN

No	Pemeriksaan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat elenmeyer kosong (gr)	75,31	68,94
2	Berat elenmeyer kosong + aspal (gr)	76,8	70,21
3	Berat Aspal (2-1) (gr)	1,49	1,27
4	Berat kertas saring bersih (gr)	0,57	0,56
5	Berat kertas saring bersih + mineral (gr)	0,58	0,57
6	Berat mineral (5-4) (gr)	0,01	0,01
7	Prosentasi mineral (6/3 x 100%) (%)	0,671	0,787
8	Aspal yang larut (100% - 7) (%)	99,329	99,213
9	Rata-rata aspal yang larut (%)	99,271	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.6 Pemeriksaan Kelekatan Aspal Terhadap Batuan

PEMERIKSAAN KELEKATAN ASPAL TERHADAP BATUAN

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 5 Maret 2021

No	Urutan Pemeriksaan	Pemb. Suhu (°C)	Pemb. Waktu (WIB)
1	Pemanasan Benda Uji		
	Mulai Pemanasan	25°C	10.00
	Selesai Pemanasan	161°C	10.30
2	Didiamkan pada Suhu ruang		
	Mulai	161°C	10.30
	Selesai	26°C	13.00
3	Diperiksa		
	Mulai	26°C	13.00
	Selesai	26°C	13.30

HASIL PENGAMATAN

No	Keterangan	Terselimuti Aspal (%)
1	Benda Uji 1	98%
2	Benda Uji 2	97%
3	Rata-rata	97.5%

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.7 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Pen 60/70

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL PEN 60/70

Material : Aspal Pertamina Pen 60/70
Sumber : Pertamina, Cilacap
Tanggal Uji : 4 Maret 2021

No	Pemeriksaan	1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	23,69	24,87
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	47,25	48,85
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	23,56	23,98
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	26,29	28,46
5	Berar Aspal (4-1) (gr)	2,6	3,59
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	47,41	48,97
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	21,12	20,51
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2,44	3,47
9	BJ Aspal = berat/Vol (5/8)	1,066	1,035
10	Rata-rata BJ	1,050	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.8 Pemeriksaan Berat Jenis Aspal Emulsi CSS-1h

PEMERIKSAAN BERAT JENIS ASPAL EMULSI CSS-1h

Material : Aspal Emulsi CSS-1h
Sumber : PT. Aspal Polimer Emulsindo, Demak
Tanggal Uji : 4 Maret 2021

No	Pemeriksaan	1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	24,44	24,24
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	47,72	47,72
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	23,28	23,48
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	27,39	26,91
5	Berat Aspal (4-1) (gr)	2,95	2,67
6	Berat Vicnometer + Aspal + Aquadest (gr)	48,2	47,85
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	20,81	20,94
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	2,47	2,54
9	BJ Aspal = berat/Vol (5/8)	1,194	1,051
10	Rata-rata BJ	1,123	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.9 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT KASAR

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tanggal Uji : 3 Maret 2021

No.	Keterangan	Benda Uji (gram)	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	1623	1640,66
2	Berat Benda Uji Dalam Air (BA)	1000,75	1000,72
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	1607,75	1611,8
5	Berat Jenis (Bulk) = $BK/(BJ-BA)$	2,584	2,519
6	Berat Jenis (SSD) = $BJ/(BJ-BA)$	2,608	2,564
7	Berat Jenis (Semu) = $BK/(BK-BA)$	2,649	2,638
8	Penyerapan Air = $(BJ-BK)/BK \times 100\%$	0,949	1,791
10	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,616	2,578
11	Berat Jenis Efektif Rata2	2,597	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.10 Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus

PEMERIKSAAN BERAT JENIS AGREGAT HALUS

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tanggal Uji : 3 Maret 2021

No.	Keterangan	Benda Uji	
		1	2
1	Berat Benda Uji Dalam Keadaan Basah Jenuh (BJ)	500	500
2	Berat Vicnometer + Air (B)	704,19	691,72
3	Berat Vicnometer + Air + Benda Uji (BT)	1010,22	991,64
4	Berat Benda Uji Kering Oven (BK)	492,69	490,86
5	Berat Jenis (Bulk) = $(BK / ((B+500) - BT))$	2,540	2,453
6	Berat Jenis (SSD) = $(500 / ((B+500) - BT))$	2,578	2,499
7	Berat Jenis (Semu) = $(BK / ((B+BK) - BT))$	2,640	2,571
8	Penyerapan Air = $(500 - BK) / BK \times 100\%$	1,484	1,862
9	Berat Jenis Efektif = $(BJ \text{ Bulk} + BJ \text{ Semu}) / 2$	2,590	2,512
10	Berat Jenis Efektif Rata2	2,551	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.11 Pemeriksaan Berat Jenis Filler

PEMERIKSAAN BERAT JENIS FILLER

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tanggal Uji : 3 Maret 2021

No	Pemeriksaan	1	2
1	Berat Vicnometer Kosong (gr)	23,27	23,97
2	Berat Vicnometer + Aquadest (gr)	47,65	47,12
3	Berat Aquadest (2-1) (gr)	24,38	23,15
4	Berat Vicnometer + Aspal (gr)	31,93	30,05
5	Berat Filler (4-1) (gr)	8,66	6,08
6	Berat Vicnometer + Filler + Aquadest (gr)	52,86	50,86
7	Berat Aquadest (6-4) (gr)	20,93	20,81
8	Volume Aspal (3-7) (gr)	3,45	2,34
9	BJFiller = berat/Vol (5/8)	2,510	2,598
10	Rata-rata BJ	2,554	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.12 Pemeriksaan Keausan Agregat

PEMERIKSAAN KEAUSAN AGREGAT (ABRASI AGREGAT)

Material : Agregat Kasar
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tanggal Uji : 4 Maret 2021

No.	Jenis Gradasi		Benda Uji (gram)
	Saringan		
	Lolos	Tertahan	I
1	19 mm (3/4")	12.5 mm (0.5")	2500
2	12.5 mm (0.5")	09.5 mm (3/8")	2500
3	Jumlah Benda Uji (A)		5000
4	Jumlah Tertahan (B)		3664.5
5	Keausan (A-B)/A x 100%		26,71

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN B.13 Pemeriksaan *Sand Equivalent*

PEMERIKSAAN SAND EQUIVALENT

Material : Agregat Halus
Sumber : Clereng Kulonprogo
Tanggal Uji : 4 Maret 2021

No.	Keterangan	Benda Uji		
		1	2	
1	Persiapan dan Perendaman Benda Uji Dalam Larutan CaCl ₂ selama (\pm 10 menit)	Mulai	11:06	11:07
		Selesai	11:16	11:16
2	Waktu Pengendapan (Benda Uji setelah di kocok sebanyak 90x, dan ditambah larutan CaCl ₂)	Mulai	11:17	11:18
		Selesai	11:22	11:25
3	Clay Reading (Pembacaan Lumpur) Inch		3,8	3,85
4	Sand Reading (Pembacaan Pasir)		3,7	3,9
5	Sand Equivalent ($4/3 \times 100\%$)		0,974	1,013
6	Sand Equivalent Rata-rata		99,334	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

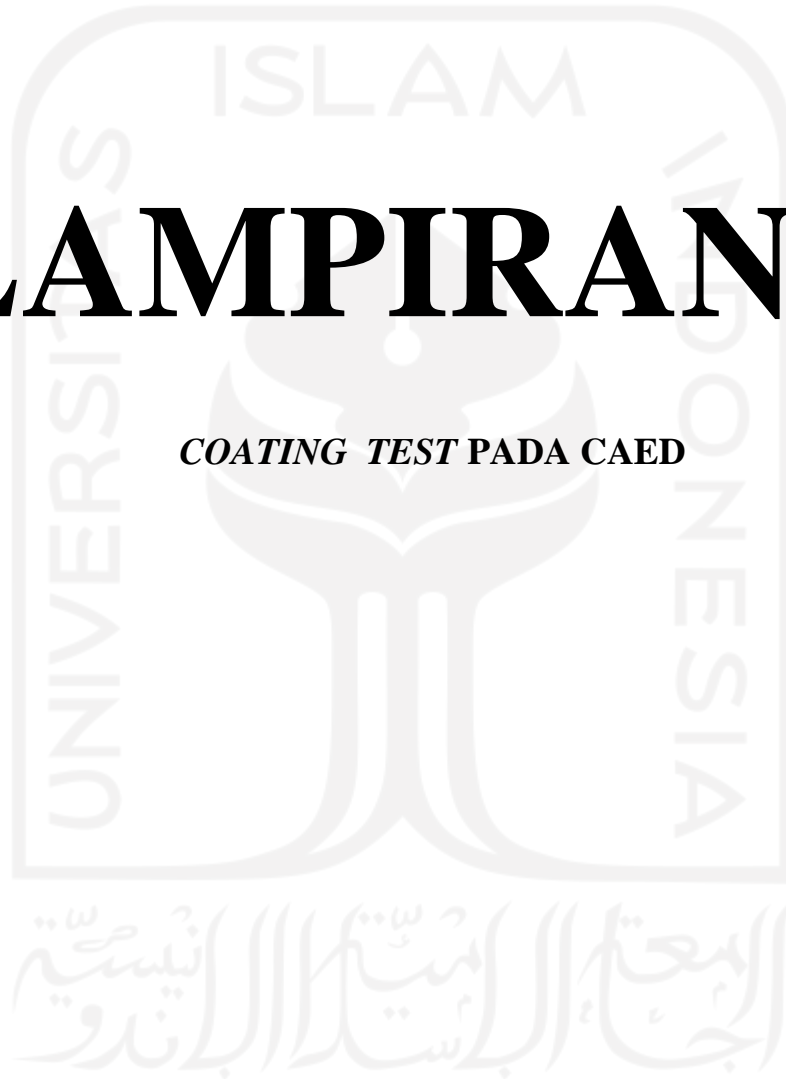
Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN C

COATING TEST PADA CAED



LAMPIRAN C.1 Proporsi Campuran untuk *Coating Test*

PROPORSI CAMPURAN UNTUK COATING TEST

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	23,125	23,125
#4	4,75	45	70	57,5	42,5	173,438	196,563
#8	2,36	25	55	40	60	80,9375	277,5
#50	0,30	5	20	12,5	87,5	127,188	404,688
#200	0,075	2	9	5,5	94,5	32,375	437,063
pan	0	0	0	0	100	25,4375	462,5
Jumlah						462,5	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN D

**PENENTUAN ENERGI PEMADATAN DAN PENUNDAAN
PEMADATAN**

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

LAMPIRAN D.1 Proporsi Campuran untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan

PROPORSI CAMPURAN UNTUK ENERGI PEMADATAN DAN TUNDAAN PEMADATAN

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Spesifikasi		Jumlah Persen (%)		Berat Tertahan (gram)	
		Min	Max	Lolos	Tertahan	Tertahan	Jumlah
3/4"	19	100	100	100	0	0	0
1/2"	12,5	90	100	95	5	55,5	55,5
#4	4,75	45	70	57,5	42,5	416,25	471,75
#8	2,36	25	55	40	60	194,25	666
#50	0,300	5	20	12,5	87,5	305,25	971,25
#200	0,075	2	9	5,5	94,5	77,7	1048,95
pan	0	0	0	0	100	61,05	1110
Jumlah						1110	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

PERHITUNGAN SG_{mix} DAN SG_{agg} UNTUK ENERGI PEMADATAN DAN TUNDAAN PEMADATAN

LAMPIRAN D.2 Perhitungan SG_{mix} untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		$(100-RBC)/100$	1×2		$3/4$
% CA	60	0,935	56,1	2,597	21,600
% FA	34,5	0,935	32,3	2,551	12,646
% F	5,5	0,935	5,1	2,554	2,013
% Aspal Residu	6,5		6,5	1,123	5,789
Jumlah			100		42,048
sg mix =	100			sg mix =	2,378
	42,048				

LAMPIRAN D. 3 Perhitungan SG_{agg} untuk Penentuan Energi Pemadatan dan Tundaan Pemadatan

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		$(100-RBC)/100$	1×2		$3/4$
% CA	60	0,935	56,1	2,597	21,600
% FA	34,5	0,935	32,3	2,551	12,646
% F	5,5	0,935	5,1	2,554	2,013
Jumlah			93,5		36,259
sg Agg =	100			sg Agg =	2,758
	36,259				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN D.4 Perhitungan Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan Energi Pematatan

PENENTUAN ENERGI PEMADATAN

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

Sampel	RBC (%)	SG mix	h rata-rata (cm)	Berat Sampel (Gram)			Volume (cm ³)	D	Kadar Air saat Testing (%)	Dd	Porositas (VIM) (%)	Penyerapan Air (%)	Pembacaan Dial		Profil Ring	Faktor Koreksi	Stabilitas rendaman
				udara	Oven 24 jam	rendaman 48 jam							Flow (mm)	Stabilitas (kg)			
				A	B	C							D	E			
2 x 50 (1)	6.5	2.378	6.872	1198.310	1157.270	1203.93	561.531	2.144	3.196	2.082	12.474	4.032	360	21	14.79081865	0.856	266
2 x 50 (2)	6.5	2.378	6.892	1218.670	1187.220	1195.83	563.165	2.123	3.638	2.053	13.663	0.725	390	30	14.79081865	0.854	379
2 x 75 (1)	6.5	2.378	6.777	1198.910	1150.650	1190.41	553.795	2.150	2.751	2.095	11.891	3.455	580	39	14.79081865	0.870	502
2 x 75 (2)	6.5	2.378	6.788	1210.350	1172.970	1197.24	554.667	2.158	3.292	2.094	11.960	2.069	470	34	14.79081865	0.868	436
2 x 2 x 75 (1)	6.5	2.378	6.760	1203.210	1176.270	1196.79	552.406	2.167	2.130	2.124	10.688	1.744	520	40	14.79081865	0.873	517
2 x 2 x 75 (2)	6.5	2.378	6.783	1211.980	1182.200	1201.24	554.231	2.167	3.540	2.098	11.796	1.611	510	50	14.79081865	0.869	643

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN D.5 Pemeriksaan Kadar Air Saat *Testing* pada Energi Pematatan

PEMERIKSAAN KADAR AIR SAAT *TESTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	Kadar Aspal yang digunakan		Kadar Aspal 6.5%					
			2 x 50 (1)	2 x 50 (2)	2 x 75 (1)	2 x 75 (2)	2 x 2 x 75 (1)	2 x 2 x 75 (2)
1	Berat cawan + contoh basah	gr	507.68	513.61	502.56	499.85	501.88	507.63
2	Berat cawan + contoh kering	gr	492.16	495.81	489.28	484.13	491.55	490.5
3	Berat air (1-2)	gr	15.52	17.8	13.28	15.72	10.33	17.13
4	Berat cawan	gr	6.6	6.59	6.61	6.59	6.66	6.67
5	Berat contoh kering (2-4)	gr	485.56	489.22	482.67	477.54	484.89	483.83
6	Kadar air (3/5)	%	3.196	3.638	2.751	3.292	2.130	3.540
7	Kadar air rata-rata	%	3.417		3.022		2.835	

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN D.6 Perhitungan Karakteristik *Marshall* untuk Penentuan Penundaan Pemadatan

PENENTUAN PENUNDAAN PEMADATAN

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

Sampel	RBC (%)	SG mix	h rata-rata (cm)	Berat Sampel (Gram)			Volume (cm ³)	D	Kadar Air saat Testing (%)	Dd	Porositas (VIM) (%)	Penyerapan Air (%)	Pembacaan Dial		Profil Ring	Faktor Koreksi	Stabilitas rendaman
				udara	Oven 24 jam	rendaman 48 jam							Flow (mm)	Stabilitas (kg)			
				A	B	C							D	E			
24 (1)	6.5	2.378	6.860	1216.590	1149.480	1158.68	560.550	2.170	1.091	2.148	9.666	0.800	360	49	14.79082	0.857	621
24 (2)	6.5	2.378	6.897	1214.530	1173.460	1180.01	563.546	2.155	1.068	2.134	10.279	0.558	390	45	14.79082	0.854	568
12 (1)	6.5	2.378	6.842	1223.100	1205.090	1220.78	559.052	2.188	1.360	2.160	9.166	1.302	580	44	14.79082	0.859	559
12 (2)	6.5	2.378	6.887	1222.010	1203.020	1214.16	562.756	2.171	0.991	2.151	9.535	0.926	470	48	14.79082	0.854	607
6 (1)	6.5	2.378	6.829	1234.080	1209.690	1227.83	557.990	2.212	2.117	2.169	8.816	1.500	520	48	14.79082	0.860	611
6 (2)	6.5	2.378	6.811	1232.140	1204.860	1225.67	556.573	2.214	2.163	2.170	8.766	1.727	510	42	14.79082	0.864	536
0 (1)	6.5	2.378	6.777	1198.910	1150.650	1190.410	553.795	2.165	2.686	2.112	11.209	3.455	510	39	14.79082	0.870	502
0 (2)	6.5	2.378	6.788	1210.350	1172.970	1197.240	554.667	2.182	2.556	2.131	10.395	2.069	510	34	14.79082	0.868	436

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN D.7 Pemeriksaan Kadar Air Saat *Testing* pada Penundaan Pematatan

PEMERIKSAAN KADAR AIR SAAT *TESTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	Kadar Aspal yang digunakan		Kadar Aspal 6.5%							
			24 (1)	24 (2)	12 (1)	12 (2)	6 (1)	6 (2)	0 (1)	0 (2)
1	Berat cawan + contoh basah	gr	506.04	504.39	491.63	451.97	500.57	500.71	510.45	512.3
2	Berat cawan + contoh kering	gr	500.65	499.13	485.12	447.6	490.33	490.25	497.27	499.7
3	Berat air (1-2)	gr	5.39	5.26	6.51	4.37	10.24	10.46	13.18	12.6
4	Berat cawan	gr	6.63	6.64	6.6	6.59	6.66	6.6	6.66	6.661
5	Berat contoh kering (2-4)	gr	494.02	492.49	478.52	441.01	483.67	483.65	490.61	493.039
6	Kadar air (3/5)	%	1.091	1.068	1.360	0.991	2.117	2.163	2.686	2.556
7	Kadar air rata-rata	%	1.080		1.176		2.140		2.621	

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E

**PENGUJIAN *MARSHALL* PADA CAED UNTUK MENCARI
KADAR ASPAL RESIDU OPTIMUM**

الجمهورية الإسلامية الباندونيسية

PERHITUNGAN SG_{mix} PADA TIAP VARIASI KADAR ASPAL RESIDU

LAMPIRAN E.1 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu 5,5%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.945	56.7	2.597	21.8313
% FA	34.5	0.945	32.6	2.551	12.7808
% F	5.5	0.945	5.2	2.554	2.0349
% Aspal Residu	5.5		5.5	1.123	4.8987
Jumlah			100		41.546
sg mix =	100			sg mix =	2.407
	41.546				

LAMPIRAN E.2 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu 6%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.94	56.4	2.597	21.7158
% FA	34.5	0.94	32.4	2.551	12.7131
% F	5.5	0.94	5.2	2.554	2.0241
% Aspal Residu	6		6.0	1.123	5.3440
Jumlah			100		41.797
sg mix =	100			sg mix =	2.393
	41.797				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.3 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu 6,5%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.935	56.1	2.597	21.6003
% FA	34.5	0.935	32.3	2.551	12.6455
% F	5.5	0.935	5.1	2.554	2.0133
% Aspal Residu	6.5		6.5	1.123	5.7893
Jumlah			100		42.048
sg mix =	100			sg mix =	2.378
	42.048				

LAMPIRAN E.4 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu 7 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.93	55.8	2.597	21.4848
% FA	34.5	0.93	32.1	2.551	12.5779
% F	5.5	0.93	5.1	2.554	2.0026
% Aspal Residu	7		7.0	1.123	6.2347
Jumlah			100		42.300
sg mix =	100			sg mix =	2.364
	42.300				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.5 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu 7,5%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.925	55.5	2.597	21.3693
% FA	34.5	0.925	31.9	2.551	12.5103
% F	5.5	0.925	5.1	2.554	1.9918
% Aspal Residu	7.5		7.5	1.123	6.6800
Jumlah			100.000		42.551
sg mix =	100			sg mix =	2.350
	42.551				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

PERHITUNGAN SG_{agg} PADA TIAP VARIASI KADAR ASPAL RESIDU

LAMPIRAN E.6 Perhitungan SG_{agg} pada Kadar Aspal Residu 5,5 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.945	56.7	2.597	21.8313
% FA	34.5	0.945	32.6	2.551	12.7808
% F	5.5	0.945	5.2	2.554	2.0349
Jumlah			94.500		36.647
sg Agg =	100			sg Agg =	2.729
	36.647				

LAMPIRAN E.7 Perhitungan SG_{agg} pada Kadar Aspal Residu 6 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.94	56.4	2.597	21.7158
% FA	34.5	0.94	32.4	2.551	12.7131
% F	5.5	0.94	5.2	2.554	2.0241
Jumlah			94.000		36.453
sg Agg =	100			sg Agg =	2.743
	36.453				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.8 Perhitungan SGagg pada Kadar Aspal Residu 6,5%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		$(100 - \text{RBC})/100$	1×2		$3/4$
% CA	60	0.935	56.1	2.597	21.6003
% FA	34.5	0.935	32.3	2.551	12.6455
% F	5.5	0.935	5.1	2.554	2.0133
Jumlah			93.500		36.259
sg Agg =	100			sg Agg =	2.758
	36.259				

LAMPIRAN E.9 Perhitungan SGagg pada Kadar Aspal Residu 7 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		$(100 - \text{RBC})/100$	1×2		$3/4$
% CA	60	0.93	55.8	2.597	21.4848
% FA	34.5	0.93	32.1	2.551	12.5779
% F	5.5	0.93	5.1	2.554	2.0026
Jumlah			93.000		36.065
sg Agg =	100			sg Agg =	2.773
	36.065				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.10 Perhitungan SGagg pada Kadar Aspal Residu 7,5 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.925	55.5	2.597	21.3693
% FA	34.5	0.925	31.9	2.551	12.5103
% F	5.5	0.925	5.1	2.554	1.9918
Jumlah			92.500		35.871
sg Agg =	100			sg Agg =	2.788
	35.871				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN E.11 Perhitungan Karakteristik Marshall untuk Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK Mencari Kadar Aspal Residu Optimum

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	RBC (%)	SG mix	h rata-rata	Berat Sampel			Volume (cm ³)	D	Kadar Air saat Testing	Dd	Porositas (VIM) (%)	Penyerapan Air (%)	Pembacaan Dial (kg)	Profil Ring	Faktor Koreksi	Stabilitas Rendaman (kg)	Flow (mm)
				udara (gr)	Oven 24 jam	rendaman 48 jam											
	A	B	C	D	E	F	G	H = F/G	I	J	$K = ((B-J)/B)*100$	$L = ((F-E)/E)*100$	M	N	O	$P = M \times N \times O$	Q
1	5.5	2.407	6.739	1203.19	1170.89	1195.97	550.66	2.172	1.630	2.139	11.141	2.142	35	14.791	0.877	454.037	3.6
2	5.5	2.407	6.677	1205.43	1164.30	1190.34	545.62	2.182	2.192	2.137	11.208	2.237	40	14.791	0.889	525.740	5.1
3	5.5	2.407	6.785	1202.19	1169.72	1193.76	554.39	2.153	2.350	2.106	12.491	2.055	35	14.791	0.869	449.604	4.2
4	6	2.393	6.574	1207.98	1177.24	1200.77	537.15	2.235	1.606	2.202	7.960	1.999	44	14.791	0.914	594.882	5.2
5	6	2.393	6.750	1198.23	1166.40	1187.63	551.56	2.153	1.666	2.120	11.395	1.820	27	14.791	0.875	349.433	5.4
6	6	2.393	6.709	1188.31	1153.00	1177.98	548.24	2.149	2.346	2.102	12.137	2.167	40	14.791	0.883	522.190	6.1
7	6.5	2.378	6.710	1205.19	1181.74	1201.28	548.27	2.191	2.464	2.142	9.953	1.653	42	14.791	0.883	548.261	5.8
8	6.5	2.378	6.690	1203.36	1179.23	1198.37	546.66	2.192	1.656	2.159	9.234	1.623	53	14.791	0.886	694.743	7.2
9	6.5	2.378	6.616	1226.28	1196.69	1206.70	540.64	2.232	0.686	2.218	6.749	0.836	49	14.791	0.903	654.751	6.1
10	7	2.364	6.595	1210.59	1184.03	1200.01	538.92	2.227	1.205	2.202	6.860	1.350	59	14.791	0.909	792.956	6.8
11	7	2.364	6.810	1209.25	1187.71	1202.41	556.49	2.161	1.020	2.140	9.466	1.238	32	14.791	0.864	408.789	7.1
12	7	2.364	6.712	1206.37	1178.15	1195.30	548.43	2.179	1.214	2.155	8.842	1.456	41	14.791	0.882	534.979	5.6
13	7.5	2.350	6.708	1222.70	1194.11	1205.86	548.13	2.200	0.634	2.187	6.938	0.984	57	14.791	0.883	744.331	7.1
14	7.5	2.350	6.825	1202.35	1181.25	1197.10	557.72	2.146	0.921	2.128	9.443	1.342	22	14.791	0.861	280.127	5.8
15	7.5	2.350	6.693	1209.85	1185.63	1199.21	546.90	2.193	0.903	2.174	7.473	1.145	30	14.791	0.886	393.001	7.5

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN E.12 Pemeriksaan Kadar Air Saat *Testing* pada Penundaan Pematatan

PEMERIKSAAN KADAR AIR SAAT *TESTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	Kadar Aspal yang digunakan	5.5%			6%			6.5%			7%			7.5%		
		1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Berat cawan + contoh basah gr	501.21	511.63	502.19	499.95	506.83	508.83	500.19	503.36	500.06	497.11	508.73	502.54	500.49	501.78	504.08
2	Berat cawan + contoh kering gr	493.28	500.8	490.81	492.15	498.63	497.32	488.32	495.27	496.7	491.27	503.66	496.59	497.38	497.26	499.63
3	Berat air (1-2) gr	7.93	10.83	11.38	7.8	8.2	11.51	11.87	8.09	3.36	5.84	5.07	5.95	3.11	4.52	4.45
4	Berat cawan gr	6.63	6.64	6.6	6.59	6.58	6.62	6.62	6.66	6.61	6.6	6.61	6.56	6.65	6.62	6.56
5	Berat contoh kering (2-4) gr	486.650	494.160	484.210	485.560	492.050	490.700	481.700	488.610	490.090	484.670	497.050	490.030	490.730	490.640	493.070
6	Kadar air (3/5) %	1.6%	2.2%	2.4%	1.6%	1.7%	2.3%	2.5%	1.7%	0.7%	1.2%	1.0%	1.2%	0.6%	0.9%	0.9%
7	Kadar air rata-rata %	2.057			1.873			1.602			1.146			0.819		

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239

PERHITUNGAN VMA DAN VFB PADA TIAP VARIASI KADAR ASPAL RESIDU

LAMPIRAN E.13 Perhitungan VMA dan VFB pada Kadar Aspal Residu 5,5 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.945	56.7	56.7	56.7	2.597
% FA	34.5	0.945	32.6	32.6	32.6	2.551
% F	5.5	0.945	5.2	5.2	5.2	2.554
% Aspal Residu (RBC)	5.5		5.5	5.5	5.5	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.407	2.407	2.407	
SGAgg			2.729	2.729	2.729	
D-Bulk			2.139	2.137	2.106	
Porositas (%)			11.141	11.208	12.491	
VMA (%)			25.929	25.985	27.054	
VFB (%)			57.034	56.868	53.832	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.14 Perhitungan VMA dan VFB pada Kadar Aspal Residu 6%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.94	56.4	56.4	56.4	2.597
% FA	34.5	0.94	32.4	32.4	32.4	2.551
% F	5.5	0.94	5.2	5.2	5.2	2.554
% Aspal Residu (RBC)	6		6.0	6.0	6.0	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.393	2.393	2.393	
SGAgg			2.743	2.743	2.743	
D-Bulk			2.202	2.120	2.102	
Porositas (%)			7.960	11.395	12.137	
VMA (%)			24.544	27.360	27.968	
VFB (%)			67.568	58.352	56.606	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.15 Perhitungan VMA dan VFB pada Kadar Aspal Residu 6,5 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.935	56.1	56.1	56.1	2.597
% FA	34.5	0.935	32.3	32.3	32.3	2.551
% F	5.5	0.935	5.1	5.1	5.1	2.554
% Aspal Residu (RBC)	6.5		6.5	6.5	6.5	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.378	2.378	2.378	
SGAgg			2.758	2.758	2.758	
D-Bulk			2.142	2.159	2.218	
Porositas (%)			9.953	9.234	6.749	
VMA (%)			27.398	26.818	24.814	
VFB (%)			63.673	65.569	72.804	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.16 Perhitungan VMA dan VFB pada Kadar Aspal Residu 7%

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.93	55.8	55.8	55.8	2.597
% FA	34.5	0.93	32.1	32.1	32.1	2.551
% F	5.5	0.93	5.1	5.1	5.1	2.554
% Aspal Residu (RBC)	7		7.0	7.0	7.0	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.364	2.364	2.364	
SGAgg			2.773	2.773	2.773	
D-Bulk			2.202	2.140	2.155	
Porositas (%)			6.860	9.466	8.842	
VMA (%)			26.147	28.213	27.718	
VFB (%)			73.762	66.449	68.101	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E. 17 Perhitungan VMA dan VFB pada Kadar Aspal Residu 7,5 %

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.925	55.5	55.5	55.5	2.597
% FA	34.5	0.925	31.9	31.9	31.9	2.551
% F	5.5	0.925	5.1	5.1	5.1	2.554
% Aspal Residu (RBC)	7.5		7.5	7.5	7.5	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.350	2.350	2.350	
SGAgg			2.788	2.788	2.788	
D-Bulk			2.187	2.128	2.174	
Porositas (%)			6.938	9.443	7.473	
VMA (%)			27.431	29.385	27.849	
VFB (%)			74.709	67.865	73.164	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN E.18 Perhitungan Tebal Lapis Aspal Pada CAED

PERHITUNGAN TFA PADA TIAP VARIASI KADAR ASPAL
RESIDU

No Saringan	Ukuran Saringan (mm)	Persen Lolos (%)	Surface Area Factor	Surface Area (m ² /kg)
3/4"	19	100	0.41	0.410
1/2"	12,5	95	0.41	0.390
#4	4,75	57.5	0.41	0.236
#8	2,36	40	0.82	0.328
#50	0,300	12.5	6.14	0.768
#200	0,075	5.5	32.77	1.802
Aggregate Surface Area (ASA) =				3.933

RBC (%)	100-RBC	RBC/100-RBC	SG Aspal	1/SG Aspal	ASA	1/ASA	TFA
5.5	94.5	0.058	1.123	0.890	3.933	0.254	13.18
6	94	0.064	1.123	0.890	3.933	0.254	14.45
6.5	93.5	0.070	1.123	0.890	3.933	0.254	15.74
7	93	0.075	1.123	0.890	3.933	0.254	17.04
7.5	92.5	0.081	1.123	0.890	3.933	0.254	18.36

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN F

**PENGUJIAN *MARSHALL* PADA LASTON HOT MIX UNTUK
MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM DAN PENGUJIAN
KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA KADAR ASPAL
OPTIMUM**

الجامعة الإسلامية
الاستدرا الأندلسية



LAMPIRAN F.1 Perhitungan Karakteristik Marshall pada Laston Hot Mix untuk menentukan Kadar Aspal Optimum

PENGUJIAN MARSHALL UNTUK MENCARI KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (LASTON Hot Mix)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Kadar Aspal thd Batuan	% Kadar Aspal thd Campuran	Berat Kering	Berat SSD	Berat dalam Air	Volume Isi	density	BJ max				VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Arloji Stabilitas			Stabilitas	Flow	MQ
	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U
		$\left(\frac{c}{100-c}\right) \times 100$					E-F	$\frac{D}{G}$	$\frac{100}{\left(\frac{100-c}{BJ_{Agg}}\right) + \left(\frac{c}{BJ_{Aspal}}\right)}$	$\frac{(C \times H)}{BJ_{Aspal}}$	$(100-c) \times \frac{H}{BJ_{Agg}}$	100-I-J	100-K	$100 \times \left(\frac{I}{M}\right)$	$100 - \left(100 \times \left(\frac{H}{T}\right)\right)$		P x Kalibrasi Proving Ring		Q x R		$\frac{S}{T}$
H5 1	6.433	5.263	5	1189.95	1202.80	680.42	522.380	2.278	2.396	10.847	84.231	4.922	15.769	68.785	4.922	84	1242.429	0.951	1181.437	2.00	590.718
H5 2	6.363	5.263	5	1166.38	1182.66	659.33	523.330	2.229	2.396	10.612	82.413	6.975	17.587	60.342	6.975	68	1005.776	0.990	995.316	4.70	211.769
H5 3	6.411	5.263	5	1178.61	1189.44	663.91	525.530	2.243	2.396	10.679	82.928	6.393	17.072	62.553	6.393	79	1168.475	0.957	1118.230	3.20	349.447
H5,5 1	6.285	5.820	5.5	1163.32	1179.17	663.83	515.340	2.257	2.380	11.824	83.032	5.145	16.968	69.680	5.145	81	1198.056	1.016	1217.525	2.00	608.762
H5,5 2	6.391	5.820	5.5	1185.02	1193.94	665.03	528.910	2.240	2.380	11.735	82.411	5.854	17.589	66.717	5.854	90	1331.174	0.967	1287.511	2.80	459.825
H5,5 3	6.439	5.820	5.5	1170.75	1181.16	670.02	511.140	2.290	2.380	11.997	84.249	3.754	15.751	76.164	3.754	94	1390.337	0.949	1319.935	4.90	269.375
H6 1	6.374	6.383	6	1163.8	1174.13	666.16	507.970	2.291	2.364	13.091	83.825	3.084	16.175	80.935	3.084	87	1286.801	0.981	1261.751	3.90	323.526
H6 2	6.434	6.383	6	1166.3	1176.84	664.59	512.250	2.277	2.364	13.009	83.304	3.687	16.696	77.917	3.687	82	1212.847	0.951	1153.087	2.50	461.235
H6 3	6.352	6.383	6	1186.43	1196.05	673.68	522.370	2.271	2.364	12.978	83.100	3.923	16.900	76.789	3.923	103	1523.454	0.998	1520.611	3.60	422.392
H6,5 1	6.222	6.952	6.5	1166.57	1186.13	673.31	512.820	2.275	2.348	14.081	82.787	3.131	17.213	81.808	3.131	89	1316.383	1.032	1358.617	4.00	339.654
H6,5 2	6.296	6.952	6.5	1175.96	1190.18	669.41	520.770	2.258	2.348	13.978	82.180	3.842	17.820	78.438	3.842	86	1272.010	1.014	1289.289	3.90	330.587
H6,5 3	6.494	6.952	6.5	1193.59	1186.7	661.81	524.890	2.274	2.348	14.076	82.757	3.167	17.243	81.634	3.167	77	1138.893	0.934	1064.244	3.70	287.633
H7 1	6.269	7.527	7	1178.9	1183.81	652.15	531.660	2.217	2.333	14.782	80.266	4.952	19.734	74.905	4.952	82	1212.847	1.020	1237.508	3.50	353.574
H7 2	6.397	7.527	7	1170.59	1181.52	674.2	507.320	2.307	2.333	15.382	83.524	1.094	16.476	93.359	1.094	78	1153.684	0.962	1110.305	4.90	226.593
H7 3	6.467	7.527	7	1165.51	1181.33	662.95	518.380	2.248	2.333	14.988	81.388	3.624	18.612	80.527	3.624	80	1183.265	0.942	1114.313	3.80	293.240

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN F.2 Perhitungan Karakteristik Marshall pada Kdar Aspal Optimum Laston Hot Mix

PENGUJIAN MARSHALL PADA KADAR ASPAL OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No. Benda Uji	Tinggi Benda Uji	% Kadar Aspal thd Batuan	% Kadar Aspal thd Campuran	Berat Kering	Berat SSD	Berat dalam Air	Volume Isi	density	BJ max				VMA (%)	VFWA (%)	VITM (%)	Arloji Stabilitas			Stabilitas	Flow	MQ
A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P	Q	R	S	T	U	
	$\left(\frac{c}{(100-c)}\right) \times 100$					E-F	$\frac{D}{G}$	$\frac{100}{\left(\frac{(100-c)}{BJ\text{ Agg}}\right) + \left(\frac{c}{BJ\text{ Aspal}}\right)}$	$\frac{(C \times H)}{BJ\text{ Aspal}}$	$(100-c) \times \frac{H}{BJ\text{ Agg}}$	100-I-J	100-K	$100 \times \left(\frac{1}{M}\right)$	$100 - \left(100 \times \left(\frac{H}{T}\right)\right)$		P x Kalibrasi Proving Ring		Q x R		$\frac{S}{T}$	
H5 1	6.299	6.610	6.2	1173.14	1180.83	661.09	519.740	2.257	2.358	13.327	82.409	4.264	17.591	75.760	4.264	107	1582.618	1.013	1602.928	4.11	390.007
H5 2	6.372	6.610	6.2	1173.87	1184.27	665.34	518.930	2.262	2.358	13.356	82.589	4.055	17.411	76.710	4.055	127	1878.434	0.982	1845.374	3.97	464.830
H5 3	6.342	6.610	6.2	1168.93	1177.45	656.20	521.250	2.243	2.358	13.241	81.875	4.884	18.125	73.053	4.884	130	1922.806	1.002	1926.652	3.87	497.843
								2.254					17.709	75.175	4.401		1794.619		1791.651	3.98	450.893

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN G

**PENGUJIAN KARAKTERISTIK *MARSHALL* PADA CAED
DENGAN KADAR ASPAL RESIDU OPTIMUM**

الجمهورية الإسلامية اندونيسية

PERHITUNGAN SG_{mix} DAN SG_{agg} PADA KADAR ASPAL RESIDU OPTIMUM

LAMPIRAN G.1 Perhitungan SG_{mix} pada Kadar Aspal Residu Optimum

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.931	55.9	2.597	21.5079
% FA	34.5	0.931	32.1	2.551	12.5914
% F	5.5	0.931	5.1	2.554	2.0047
% Aspal Residu	6.9		6.9	1.123	6.1456
Jumlah			100		42.250
sg mix =	100			sg mix =	2.367
	42.250				

LAMPIRAN G.2 Perhitungan SG_{agg} pada Kadar Aspal Residu Optimum

	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran	SG	
	1	2	3	4	5
		(100-RBC)/100	1 x 2		3/4
% CA	60	0.931	55.86	2.597	21.5079
% FA	34.5	0.931	32.12	2.551	12.5914
% F	5.5	0.931	5.12	2.554	2.0047
Jumlah			93.10		36.104
sg Agg =	100			sg Agg =	2.770
	36.104				

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN G. 3 Perhitungan Karakteristik Marshall Pada Kadar Aspal Residu Optimum

PENGUJIAN MARSHALL PADA KADAR ASPAL RESIDU OPTIMUM

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	KODE	RBC (%)	SG mix	h rata-rata	Berat Sampel			Volume (cm ³)	D	Kadar Air saat Testing	Dd	Porositas (VIM) (%)	Penyerapan Air (%)	Pembacaan Dial (kg)	Profil Ring	Faktor Koreksi	Stabilitas Rendaman (kg)	Flow (mm)
					udara (gr)	Oven 24 jam	rendaman 48 jam											
		A	B	C	D	E	F	G	H = F/G	I	J	$K = ((B - J)/B) * 100$	$L = ((F - E)/E) * 100$	M	N	O	$P = M \times N \times O$	Q
1	A6	6.9	2.367	6.859	1204.64	1175.65	1201.68	560.47	2.149	0.006	2.149	9.196	2.214	64	14.791	0.857	811.430	3.6
2	A6	6.9	2.367	6.907	1203.63	1183.29	1199.51	564.42	2.133	0.007	2.132	9.908	1.371	40	14.791	0.853	504.376	3.9
3	A6	6.9	2.367	6.861	1213.13	1199.75	1208.72	560.60	2.164	0.010	2.164	8.582	0.748	73	14.791	0.857	925.363	4.0
4	A3	6.9	2.367	6.816	1204.40	1165.07	1188.97	556.98	2.162	0.012	2.162	8.651	2.051	59	14.791	0.863	752.722	3.6
5	A3	6.9	2.367	6.946	1207.87	1174.96	1202.07	567.58	2.128	0.013	2.128	10.098	2.307	66	14.791	0.849	828.568	6.9
6	A3	6.9	2.367	6.751	1194.47	1156.55	1165.53	551.67	2.165	0.009	2.165	8.529	0.776	45	14.791	0.875	582.222	4.0
7	A1	6.9	2.367	6.930	1214.09	1198.32	1211.74	566.30	2.144	0.011	2.144	9.430	1.120	56	14.791	0.850	704.283	6.0
8	A1	6.9	2.367	6.907	1218.55	1168.26	1210.90	564.42	2.159	0.013	2.159	8.796	3.650	42	14.791	0.853	529.595	3.9
9	A1	6.9	2.367	6.814	1208.19	1184.20	1198.05	556.76	2.170	0.014	2.170	8.330	1.170	38	14.791	0.863	485.085	5.2

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN G.4 Pemeriksaan Kadar Air Saat *Testing* pada Kadar Aspal Residu Optimum

PEMERIKSAAN KADAR AIR SAAT *TESTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

No	Kadar Aspal yang digunakan		hari 1			hari 3			hari 6		
			1	2	3	1	2	3	1	2	3
1	Berat cawan + contoh basah	gr	503.17	501.34	498.74	501.28	503.36	503.4	499.33	504.09	500.1
2	Berat cawan + contoh kering	gr	497.65	495.14	491.82	495.43	497.2	499.12	496.19	500.54	495.21
3	Berat air (1-2)	gr	5.52	6.2	6.92	5.85	6.16	4.28	3.14	3.55	4.89
4	Berat cawan	gr	6.59	6.58	6.62	6.62	6.66	6.61	6.6	6.61	6.56
5	Berat contoh kering (2-4)	gr	491.06	488.56	485.20	488.81	490.54	492.51	489.59	493.93	488.65
6	Kadar air (3/5)	%	1.1%	1.3%	1.4%	1.2%	1.3%	0.9%	0.6%	0.7%	1.0%
7	Kadar air rata-rata	%	1.273			1.107			0.787		

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239

PERHITUNGAN VMA DAN VFB PADA KADAR ASPAL RESIDU OPTIMUM

LAMPIRAN G.5 Perhitungan VMA dan VFB pada Waktu *Setting* 1 hari

1 hari	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.931	55.9	55.9	55.9	2.597
% FA	34.5	0.931	32.1	32.1	32.1	2.551
% F	5.5	0.931	5.1	5.1	5.1	2.554
% Aspal Residu (RBC)	6.9		6.9	6.9	6.9	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.367	2.367	2.367	
SGAgg			2.770	2.770	2.770	
D-Bulk			2.144	2.159	2.170	
Porositas (%)			9.430	8.796	8.330	
VMA (%)			27.945	27.440	27.069	
VFB (%)			66.254	67.945	69.228	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN G.6 Perhitungan VMA dan VFB pada Waktu *Setting* 3 hari

3 hari	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran		
	1	2	3		
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2
% CA	60	0.931	55.9	55.9	55.9
% FA	34.5	0.931	32.1	32.1	32.1
% F	5.5	0.931	5.1	5.1	5.1
% Aspal Residu (RBC)	6.9		6.9	6.9	6.9
Total	100		100	100	100
Sgmix			2.367	2.367	2.367
SGAgg			2.770	2.770	2.770
D-Bulk			2.162	2.128	2.165
Porositas (%)			8.651	10.098	8.529
VMA (%)			27.325	28.476	27.228
VFB (%)			68.340	64.537	68.675

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN G.7 Perhitungan VMA dan VFB pada Waktu *Setting* 6 hari

6 hari	Proporsi (%)	Faktor Pengali	% thd total campuran			SG
	1	2	3			4
		(100-RBC)/100	1 x 2	1x2	1x2	
% CA	60	0.931	55.9	55.9	55.9	2.597
% FA	34.5	0.931	32.1	32.1	32.1	2.551
% F	5.5	0.931	5.1	5.1	5.1	2.554
% Aspal Residu (RBC)	6.9		6.9	6.9	6.9	1.123
Total	100		100	100	100	
Sgmix			2.367	2.367	2.367	
SGAgg			2.770	2.770	2.770	
D-Bulk			2.149	2.132	2.164	
Porositas (%)			9.196	9.908	8.582	
VMA (%)			27.759	28.325	27.270	
VFB (%)			66.870	65.020	68.530	

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239

LAMPIRAN H

TABEL ANGKA KOREKSI DAN TABEL KOEFISIEN



الجامعة الإسلامية
الاستدراكية

LAMPIRAN H.1 Tabel Koreksi Tinggi Benda Uji *Marshall*

Isi Benda Uji (cm ³)	Tinggi Benda Uji (cm)	Angka Koreksi
200-213	2.54	5.56
214-225	2.70	5
226-237	2.86	4.55
238-250	3.02	4.17
251-264	3.18	3.85
265-276	3.33	3.57
277-289	3.49	3.33
290-301	3.65	3.03
302-316	3.81	2.78
317-328	3.97	2.5
329-340	4.13	2.27
341-353	4.29	2.08
354-367	4.44	1.92
368-379	4.60	1.79
380-392	4.76	1.67
393-405	4.92	1.56
406-420	5.08	1.47
421-431	5.24	1.39
432-443	5.40	1.32
444-456	5.56	1.25
457-470	6.72	1.17
471-484	5.87	1.14
485-495	6.03	1.09
496-508	6.19	1.04
509-522	6.35	1
523-535	6.40	0.96
536-546	6.51	0.93
547-559	6.67	0.89
560-573	6.83	0.86
574-585	7.14	0.83
586-598	7.30	0.81
599-610	7.46	0.78
611-625	7.62	0.76

Mengetahui,
Ka. Lab. Jalan Raya



Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti



Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN H.2 Tabel A0 untuk perhitungan ITS

Diameter (inci)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4
3.5	0.177	0.0766	-0.2847	0.268	-0.9966	0.05056	-0.1545	-0.9765	-0.0204	-0.1545	0.05056
3.6	0.172	0.0745	-0.2769	0.2683	-0.9968	0.04786	-0.1461	-0.9560	-0.0193	-0.1481	0.04786
3.7	0.168	0.0726	-0.2694	0.2685	-0.9970	0.04537	-0.1384	-0.9422	-0.0183	-0.1384	0.04537
3.8	0.164	0.707	-0.2624	0.2688	-0.9971	0.04307	-0.1312	-0.9260	-0.0173	-0.1312	0.04307
3.9	0.16	0.69	-0.2557	0.269	-0.9973	0.04049	-0.1246	-0.9104	-0.0165	-0.1247	0.04094
4	0.156	0.0673	-0.2494	0.2692	-0.9974	0.03896	-0.1185	-0.8954	-0.0156	-0.1185	0.03896
4.1	0.152	0.0657	-0.2433	0.2694	-0.9975	0.03712	-0.1129	-0.8810	-0.0149	-0.1129	0.03712
4.2	0.49	0.0642	-0.2375	0.2696	-0.9976	0.03541	-0.1076	-0.8671	-0.0142	-0.1076	0.03541
4.3	0.45	0.0627	-0.2320	0.2998	-0.9977	0.03381	-0.1027	-0.8537	-0.0136	-0.1027	0.03381
4.4	0.142	0.613	-0.2268	0.2699	-0.9978	0.03232	-0.0981	-0.8409	-0.0130	-0.0981	0.03232
4.5	0.139	0.06	-0.2218	0.2701	-0.9979	0.03092	-0.0938	-0.8282	-0.0124	-0.0938	0.03092
4.6	0.136	0.0587	-0.2170	0.2702	-0.9980	0.02961	-0.0898	-0.8161	-0.0118	-0.0898	0.02961
4.7	0.133	0.575	-0.2124	0.2703	-0.9981	0.02838	-0.0860	-0.8043	-0.0114	-0.0860	0.02839
4.8	0.131	0.0563	-0.2080	0.2704	-0.9982	0.02723	-0.0825	-0.7930	-0.0109	-0.0825	0.02723
4.9	0.128	0.0552	-0.2037	0.2706	-0.9983	0.02618	-0.0792	-0.7820	-0.0105	-0.0792	0.02615
5	0.126	0.0541	-0.1997	0.2707	-0.9983	0.02512	-0.0760	-0.7714	-0.0100	-0.0761	0.02513

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T.
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



**LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL**

**FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN**

Gedung KH Mh. Natsir 143
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (02740) 895330
E dekanat.ftsp@uii.ac.id
W ftspuii.ac.id

Diameter (inci)	A0	A1	A2	A3	A4	A5	A6	B1	B2	B3	B4
5.1	0.123	0.0531	-0.1958	0.2708	-0.9984	0.02418	-0.0731	-0.7610	-0.0097	-0.0731	0.02416
5.2	0.121	0.0521	-0.1920	0.2709	-0.9985	0.02325	-0.0703	-0.7510	-0.0093	-0.0703	0.02325
5.3	0.119	0.0511	-0.1884	0.2709	-0.9985	0.02239	-0.0677	-0.7413	-0.0090	-0.0677	0.02240
5.4	0.116	0.0502	-0.1849	0.271	-0.9986	0.02158	-0.0652	-0.7319	-0.0086	-0.0652	0.02156
5.5	0.114	0.0493	-0.1816	0.2711	-0.9986	0.02081	-0.0629	-0.7227	-0.0083	-0.0629	0.02061
5.6	0.112	0.0484	-0.1783	0.2712	-0.9987	0.02008	-0.0607	-0.7138	-0.0080	-0.0607	0.02008
5.7	0.11	0.0476	-0.1752	0.2713	-0.9987	0.01539	-0.0586	-0.7051	-0.0078	-0.0586	0.01939
5.8	0.109	0.0468	-0.1722	0.2713	-0.9988	0.02874	-0.0566	-0.6967	-0.0075	-0.0566	0.01874
5.9	0.107	0.046	-0.1693	0.2714	-0.9988	0.02811	-0.0547	-0.6884	-0.0072	-0.0547	0.01811
6	0.105	0.0452	-0.1665	0.2714	-0.9988	0.01752	-0.0529	-0.6804	-0.0070	-0.0529	0.01752
6.1	0.103	0.0445	-0.1638	0.2715	-0.9989	0.01695	-0.0512	-0.6727	-0.0068	-0.0512	0.01696
6.2	0.102	0.0438	-0.1611	0.2716	-0.9989	0.01642	-0.0495	-0.6651	-0.0066	-0.0495	0.01642
6.3	0.1	0.0431	-0.1586	0.2716	-0.9989	0.01590	-0.0480	-0.6577	-0.0064	-0.0480	0.01591
6.4	0.099	0.0424	-0.1561	0.2717	-0.9990	0.01542	-0.0465	-0.6504	-0.0062	-0.0465	0.01542
6.5	0.097	0.0418	-0.1537	0.2717	-0.9990	0.01495	-0.0451	-0.6434	-0.0060	-0.0451	0.01495

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah. M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239

The background features a large, light gray watermark of the Universitas Islam Indonesia logo. The logo is a shield-shaped emblem with a central floral motif. The word "ISLAM" is written in a serif font at the top of the shield. The words "UNIVERSITAS" and "INDONESIA" are written vertically on the left and right sides of the shield, respectively. Below the shield, there is Arabic calligraphy in a stylized font.

LAMPIRAN I

**PENGUJIAN *ITS*, *IRS* , DAN PERMEABILITAS PADA CAED
DAN LAST ON *HOT MIX***



LAMPIRAN I. 1 Hasil Pengujian ITS

PENGUJIAN ITS PADA LASTON *HOT MIX* DAN CAED PADA TIAP WAKTU *SETTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV & LASTON *HOT MIX*)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

Kode	RBC	Sampel	Diameter	t Rata-rata (cm)	Angka Koreksi	Kalibrasi Alat	Arloji Stabilitas	P Runtuh	A0	ITS
			A	B	C	D	E	F = C x D x E	G	
B6	6.9	1	10.2	6.722	0.880	19.867	50	874.473	0.159	20.686
B6	6.9	2	10.2	6.672	0.890	19.867	55	972.164	0.159	23.169
B6	6.9	3	10.2	6.667	0.891	19.867	47	831.517	0.159	19.830
B3	6.9	1	10.2	7.469	0.779	19.867	39	603.525	0.159	12.848
B3	6.9	2	10.2	6.757	0.874	19.867	44	763.745	0.159	17.972
B3	6.9	3	10.2	6.797	0.866	19.867	48	826.024	0.159	19.323
B1	6.9	1	10.2	7.013	0.842	19.867	22	368.149	0.159	8.347
B1	6.9	2	10.2	6.872	0.856	19.867	30	510.174	0.159	11.805
B1	6.9	3	10.2	6.987	0.845	19.867	22	369.249	0.159	8.403
B	6.2	1	10.2	6.356	0.999	19.867	60	1190.351	0.159	29.779
B	6.2	2	10.2	6.412	0.955	19.867	65	1232.726	0.159	30.570
B	6.2	3	10.2	6.802	0.865	19.867	61	1048.527	0.159	24.509

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I. 2 Hasil Pengujian IRS

PENGUJIAN IRS PADA LASTON *HOT MIX* DAN CAED PADA TIAP WAKTU *SETTING*

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV & LASTON *HOT MIX*)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

Jenis Campuran	Stabilitas	H Rata-rata	Pembacaan Dial	Profil Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	IRS (%)
CAED Setting 1 hari	Rendaman 48 jam	7.040	56	14.7908	0.850	704.283	88.931
	Kering	6.735	61	14.7908	0.878	791.941	
	Rendaman 48 jam	7.017	42	14.7908	0.853	529.595	66.395
	Kering	7.143	65	14.7908	0.830	797.644	
	Rendaman 48 jam	6.834	38	14.7908	0.863	485.085	66.864
	Kering	6.978	58	14.7908	0.846	725.479	
CAED Setting 3 hari	Rendaman 48 jam	6.826	59	14.7908	0.863	752.722	78.926
	Kering	7.167	78	14.7908	0.827	953.712	
	Rendaman 48 jam	7.096	66	14.7908	0.849	828.568	100.132
	Kering	7.088	67	14.7908	0.835	827.472	
	Rendaman 48 jam	6.661	45	14.7908	0.875	582.222	80.299

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



Jenis Campuran	Stabilitas	H Rata-rata	Pembacaan Dial	Profil Ring	Angka Koreksi	Stabilitas	IRS (%)
	Kering	7.131	59	14.7908	0.831	725.066	
CAED Setting 6 hari	Rendaman 48 jam	6.749	64	14.7908	0.857	811.430	87.858
	Kering	6.791	72	14.7908	0.867	923.568	
	Rendaman 48 jam	6.937	40	14.7908	0.853	504.376	86.822
	Kering	6.894	46	14.7908	0.854	580.933	
	Rendaman 48 jam	6.891	73	14.7908	0.857	925.363	87.010
	Kering	6.871	84	14.7908	0.856	1063.519	
Hot Mix	Rendaman 24 jam	6.412	107	14.7908	0.957	1514.277	94.469
	Rendaman 0,5 jam	6.299	107	14.7908	1.013	1602.928	
	Rendaman 24 jam	6.346	119	14.7908	1.001	1761.721	95.467
	Rendaman 0,5 jam	6.372	127	14.7908	0.982	1845.374	
	Rendaman 24 jam	6.462	112	14.7908	0.943	1562.298	81.089
	Rendaman 0,5 jam	6.342	130	14.7908	1.002	1926.652	

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



**PENGUJIAN PERMEABILITAS PADA LASTON *HOT MIX* DAN CAED PADA TIAP WAKTU
SETTING**

Tahun Pengujian : 2021
Tipe Campuran : AC-WC (CAED Tipe IV & LASTON *HOT MIX*)

Dikerjakan Oleh : Muna Muthia
Diperiksa Oleh : Ir. Subarkah. MT

LAMPIRAN I.3 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 6 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.904	43.650	1800	70	67.1	0.000027134
3.05	7.455	7.306	6.904	43.650	1800	67.1	64.2	0.000028333
3.05	7.455	7.306	6.904	43.650	1800	64.2	63.2	0.000010068
3.05	7.455	7.306	6.904	43.650	1800	63.2	61	0.000022722
								0.000022064

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I.4 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 6 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.3	7.306	6.881	41.854	1800	70	66.4	0.000035195
3.05	7.3	7.306	6.881	41.854	1800	66.4	64.8	0.000016259
3.05	7.3	7.306	6.881	41.854	1800	64.8	62.2	0.000027298
3.05	7.3	7.306	6.881	41.854	1800	62.2	60.6	0.000017372
								0.000024031

LAMPIRAN I.5 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 6 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.25	7.306	6.953	41.282	1800	70	66.7	0.000032977
3.05	7.25	7.306	6.953	41.282	1800	66.7	65.2	0.000015533
3.05	7.25	7.306	6.953	41.282	1800	65.2	63.7	0.000015894
3.05	7.25	7.306	6.953	41.282	1800	63.7	61.1	0.000028458
								0.000023216

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T.
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I.6 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 3 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.05	7.306	6.875	39.036	1800	70	67.7	0.000023857
3.05	7.05	7.306	6.875	39.036	1800	67.7	65.1	0.000027965
3.05	7.05	7.306	6.875	39.036	1800	65.1	64	0.000012169
3.05	7.05	7.306	6.875	39.036	1800	64	63.4	0.000006726
								0.000017679

LAMPIRAN I.7 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 3 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.859	43.650	1800	70	67	0.000027908
3.05	7.455	7.306	6.859	43.650	1800	67	65.6	0.000013454
3.05	7.455	7.306	6.859	43.650	1800	65.6	62.6	0.000029824
3.05	7.455	7.306	6.859	43.650	1800	62.6	61	0.000016496
								0.000021921

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I.8 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 3 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.902	43.650	1800	70	68	0.000018585
3.05	7.455	7.306	6.902	43.650	1800	68	66.8	0.000011415
3.05	7.455	7.306	6.902	43.650	1800	66.8	64.6	0.000021470
3.05	7.455	7.306	6.902	43.650	1800	64.6	62.9	0.000017098
								0.000017142

LAMPIRAN I.9 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 1 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.967	43.650	1800	70	68	0.000018760
3.05	7.455	7.306	6.967	43.650	1800	68	66.7	0.000012492
3.05	7.455	7.306	6.967	43.650	1800	66.7	65.6	0.000010762
3.05	7.455	7.306	6.967	43.650	1800	65.6	63.8	0.000018006
								0.000015005

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I.10 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 1 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.883	43.650	1800	70	67.8	0.000020417
3.05	7.455	7.306	6.883	43.650	1800	67.8	66.3	0.000014304
3.05	7.455	7.306	6.883	43.650	1800	66.3	64.8	0.000014631
3.05	7.455	7.306	6.883	43.650	1800	64.8	63.5	0.000012957
								0.000015577

LAMPIRAN I.11 Permeabilitas CAED pada Waktu *Setting* 1 Hari

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.921	43.650	1800	70	67.5	0.000023380
3.05	7.455	7.306	6.921	43.650	1800	67.5	66.1	0.000013474
3.05	7.455	7.306	6.921	43.650	1800	66.1	65	0.000010789
3.05	7.455	7.306	6.921	43.650	1800	65	63.8	0.000011980
								0.000014906

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LAMPIRAN I.12 Permeabilitas Laston *Hot Mix*

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.899	43.650	1800	70	57.5	0.000126060
3.05	7.455	7.306	6.899	43.650	1800	57.5	47.5	0.000122436
3.05	7.455	7.306	6.899	43.650	1800	47.5	38	0.000143000
3.05	7.455	7.306	6.899	43.650	1800	38	31	0.000130475
								0.000130493

LAMPIRAN I.13 Permeabilitas Laston *Hot Mix*

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.915	43.650	1800	70	60	0.000099015
3.05	7.455	7.306	6.915	43.650	1800	60	51.3	0.000100623
3.05	7.455	7.306	6.915	43.650	1800	51.3	42.1	0.000126952
3.05	7.455	7.306	6.915	43.650	1800	42.1	36.7	0.000088173
								0.000103691

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239



LABORATORIUM
JALAN RAYA
JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS
TEKNIK SIPIL
& PERENCANAAN

Gedung KH Moh. Natsir 154
Kampus Terpadu Universitas Islam Indonesia
Jl. Kaliurang km 14,5 Yogyakarta 55584
T. (0274) 898444 ext 3200, 3201
F. (02740) 895330
E. dekanat.ftsp@uii.ac.id
W. ftsp.uui.ac.id

LAMPIRAN I.14 Permeabilitas Laston *Hot Mix*

D Tabung	D Spesimen	a	L	A	t	h1	h2	k
cm	cm	cm ²	cm	cm ²	detik	cm	cm	cm/detik
3.05	7.455	7.306	6.944	43.650	1800	70	57	0.000132516
3.05	7.455	7.306	6.944	43.650	1800	57	48.2	0.000108165
3.05	7.455	7.306	6.944	43.650	1800	48.2	35.6	0.000195450
3.05	7.455	7.306	6.944	43.650	1800	35.6	27	0.000178354
								0.000153621

Mengetahui,
Ka. Lab. JalanRaya

Ir. Subarkah, M.T.
NIK: 865110101

Peneliti

Muna Muthia
NIM: 16511239