

## KATA PENGANTAR

Segala puji dan syukur diagungkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, berkat karunia dan rahmat-Nya penulis masih diberikan kesehatan dan umur panjang ditengah pandemi virus Corona, sehingga bisa menyelesaikan skripsi dengan tepat waktu.

Skripsi dengan judul “ANALISIS SIFAT MEKANIS DAN FRAKTUR CAMPURAN ASPAL HANGAT YANG DIMODIFIKASI DENGAN TEKNOLOGI POLIMER SINTETIK TERHADAP PROSES PENUAAN (*AGEING*)” telah disusun berdasarkan penelitian yang dilakukan sejak bulan Maret 2021 sampai dengan bulan Juni 2021. Penyusunan skripsi dilakukan guna memenuhi syarat kelulusan pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Pelita Harapan. Skripsi ini juga bermanfaat bagi penulis untuk menerapkan pengetahuan yang telah didapat dan memperoleh pengalaman baru.

Dalam menyusun skripsi ini, penulis telah banyak menerima dukungan, bimbingan serta doa yang selalu menyertai. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada para pihak yang terlibat, khususnya kepada:

- 1) Bapak Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi;
- 2) Ibu Dr. Nuri Arum Anugrahati, S.Si., M.P., selaku Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi;
- 3) Bapak Laurence, M.T., IPM, selaku Direktur Administrasi dan Kemahasiswaan Fakultas Sains dan Teknologi;
- 4) Bapak Sadvent Martondang purba, S.T., M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil;
- 5) Bapak Christian Gerald Daniel, S.T., M.Sc., selaku dosen pembimbing utama yang telah memberikan masukan dan arahan selama penulisan skripsi ini;

- 6) Bapak Dr.-Ing. Jack Widjajakusuma selaku dosen dan co-pembimbing yang telah mengajarkan serta selalu memberikan saran-saran kepada saya dari awal penulisan skripsi hingga selesai;
- 7) Ibu Sunie Rahardja, M.S.C.E., selaku dosen pembimbing akademik;
- 8) Para dosen dan asisten dosen yang selama ini telah sabar mengajar penulis dari awal perkuliahan, sehingga wawasan penulis dapat bertambah terhadap materi secara menyeluruh;
- 9) Para laboran yang telah sabar mengajarkan, membimbing serta mengarahkan dalam melakukan prosedur labolaturium dari awal perkuliahan hingga skripsi ini selesai;
- 10) Kedua orang tua penulis, Bapak Sri Suryono dan Ibu Nur Eka Ningsih, serta kepada adik penulis, Tiara Surya Setyaningsih, atas segala pengorbanan, cinta kasih, didikan, serta dukungan yang tiada habisnya diberikan, sehingga penulis bisa terus bersemangat untuk menyelesaikan skripsi ini dengan baik;
- 11) Dianastuti Damanto untuk selalu membantu penulis dan hadir memberi semangat serta dukungan;
- 12) Teman-teman rekan skripsi aspal yang telah berjuang bersama menyelesaikan skripsi mulai dari persiapan material hingga penulisan. Saling membantu, menyemangatkan, dan menemani dikala keterbatasan alat dan waktu;
- 13) Arie Pangestu, Calvien Setiawan, Christian Felix, Darren Ivan Tanardi, Febriani Marianingrum, Felix Nathanael, Gabby Eliana, Hadryan Audric, Martellia Indi Azrena, Michael William, Ni Ketut Kristyaningsih, Vanessa Verind Ciaves dan Yonatan Burhan sebagai sahabat yang selalu mendukung dan setia menemani dari awal perkuliahan hingga masa skripsi selesai;
- 14) Teman-teman angkatan 2017 dan senior yang telah membantu penulisan selama perkuliahan, baik dalam kelas maupun pada praktikum;
- 15) Pihak lain yang tidak dapat disebutkan secara menyeluruh oleh penulis yang telah membantu, mendukung, dan membimbing penulis.

Penulis menyadari skripsi ini tidak luput dari kekurangan. Penulis mengharapkan saran dan kritik demi kesempurnaan dan perbaikannya sehingga akhirnya skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca, serta dapat dikembangkan lebih lanjut.

Tangerang, 10 September 2021

Erik Surya Setyawan



# DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL.....	i
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR .....	ii
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI .....	iii
PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI.....	iv
ABSTRAK .....	v
<i>ABSTRACT</i> .....	vi
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN .....	1
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	6
1.3 Maksud dan Tujuan Penelitian.....	7
1.4 Batasan Penelitian .....	7
1.5 Manfaat Penelitian .....	9
1.6 Metodologi Penelitian .....	10
1.7 Sistematika Penulisan .....	11
BAB II LANDASAN TEORI.....	13
2.1 Metode Campuran Aspal.....	13
2.1.1 Latar Belakang dan Perkembangan terhadap <i>Warm Mix Asphalt</i> (WMA).....	14
2.1.2 Teknologi <i>Warm Mix Asphalt</i> (WMA) .....	19
2.1.3 Spesifikasi Teknis Campuran WMA .....	26
2.2 Campuran Aspal.....	27
2.2.1 Material Campuran Laston Hangat .....	31
2.2.1.1 Aspal / Bitumen .....	32
2.2.1.2 Agregat.....	37
2.2.1.3 Aditif .....	42
2.2.1.4 Polimer .....	44
2.2.2 Karakteristik Campuran Laston .....	47
2.2.3 Volumetrik Campuran Laston.....	49
2.3 Penuaan (Ageing).....	55
2.4 Metode Pencampuran Laston Modifikasi Polimer.....	59
2.4.1 <i>Polimer Modified Bitumen</i> (PMB).....	60
2.4.2 <i>Polimer Modified Asphalt</i> (PMA).....	60
2.5 Pengujian WMA .....	61
2.5.1 Perhitungan Kadar Aspal Optimum (KAO) Rencana .....	62

2.5.2 Pengujian Marshall.....	63
2.5.3 Pengujian <i>Semi Circular Bending</i> (SCB).....	65
<b>BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....</b>	<b>72</b>
3.1 Umum.....	72
3.2 Waktu dan Lokasi Penelitian .....	73
3.3 Variabel Penelitian .....	74
3.4 Material Penelitian .....	74
3.4.1 Agregat Kasar.....	74
3.4.2 Agregat Halus.....	75
3.4.3 Aspal / Bitumen .....	76
3.4.4 <i>Filler</i> .....	77
3.4.5 Zat Aditif Kimia.....	77
3.4.6 Polimer .....	79
3.5 Peralatan.....	80
3.5.1 Saringan dan Mesin Pengayak .....	80
3.5.2 Timbangan.....	81
3.5.3 Oven .....	81
3.5.4 Mixer .....	82
3.5.5 Penemometer.....	82
3.5.6 <i>Waterbath</i> .....	83
3.5.7 Cetakan Marshall dan <i>Cantabro Loss</i> .....	83
3.5.8 Mesin Kompaksi .....	84
3.5.9 Alat Marshall.....	84
3.5.10 Universal Testing Machine (UTM).....	85
3.6 Pengujian Material Campuran .....	85
3.6.1 Berat Jenis Agregat Kasar.....	85
3.6.2 Berat Jenis Agregat Halus.....	86
3.6.3 Berat jenis <i>Filler</i> .....	87
3.6.4 Berat Jenis Aspal / Bitumen.....	87
3.6.5 Kadar Lumpur Agregat Halus.....	88
3.6.6 Gradasi Ayakan Agregat Halus dan Kasar.....	88
3.6.7 Penetrasi Aspal/Bitumen.....	89
3.6.8 Titik Nyala dan Bakar Aspal.....	89
3.6.9 Titik Lembek Aspal .....	89
3.7 Penetapan Kadar Aspal Optimum.....	90
3.7.1 Perencanaan Campuran.....	90
3.7.2 Pembuatan Benda Uji Marshall .....	91
3.7.3 Perhitungan Volumetrik Benda Uji.....	92
3.7.4 Pengujian Marshall.....	93
3.8 Pengujian <i>Ageing</i> dengan Uji <i>Semi Circular Bending</i> (SCB).....	93
3.8.1 Perencanaan Campuran.....	94
3.8.2 Pembuatan Benda Uji SCB .....	95
3.8.3 Perhitungan Volumetrik.....	96
3.8.4 Pengadaan <i>Ageing</i> .....	96

3.8.5 Pelaksanaan Uji <i>Semi Circular Bending</i> (SCB).....	97
BAB IV HASIL DATA DAN PEMBAHASAN .....	98
4.1 Umum.....	98
4.2 Hasil dan Pembahasan Data Pengujian Karakteristik Material .....	98
4.2.1 Aspal / Bitumen .....	98
4.2.2 Agregat.....	100
4.3 Perhitungan kadar aspal optimum rencana .....	104
4.4 Perhitungan <i>Mix Design</i> Benda Uji Marshall .....	105
4.5 Hasil dan Analisis Kadar Aspal Optimum dengan Uji Marshall ...	107
4.6 Hasil Pengujian Spesimen untuk Uji SCB .....	115
4.6.1 Sebelum Uji SCB .....	115
4.6.2 Hasil Data dan Analisis SCB .....	117
BAB V KESIMPULAN .....	136
5.1 Umum.....	136
5.2 Kesimpulan .....	136
5.3 Saran.....	138
DAFTAR PUSTAKA .....	139
LAMPIRAN.....	154

## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar1.1	Peningkatan dana infrastruktur dan target pembangunan infrastruktur Indonesia tahun 2019 ..... 1
Gambar1.2	Perbedaan kebutuhan bahan bakar yang dibutuhkan terhadap temperatur dalam pembuatan campuran aspal..... 4
Gambar 2.1	Aspek-aspek sustainability concept development ..... 14
Gambar 2.2	Urutan perkembangan teknologi Warm Mix Asphalt ..... 15
Gambar 2.3	Konsumsi energy macam-macam metode pencampuran aspal ..... 16
Gambar 2.4	Persentase pengurangan emisi buangan di beberapa negara ..... 17
Gambar 2.5	Dampak GWP/kg CO2 perkerasan HMA dan WMA ..... 18
Gambar 2.6	Perbedaan temperatur pengerjaan aspal dengan paparan asap ..... 18
Gambar 2.7	Proses paving menggunakan WMA (kiri) dan HMA (kanan)..... 19
Gambar 2.8	Viskositas aspal dan aspal + aditif organik terhadap temperatur ... 20
Gambar 2.9	Serpihan sasobit (kiri) dan butiran sasobit (kanan) ..... 21
Gambar 2.10	Rediset LQ (kiri) dan Rediset WMX (kanan) ..... 22
Gambar 2.11	Double barrel green nozle..... 23
Gambar 2.12	Advera zeolit..... 24
Gambar 2.13	Proses pembuatan Low Emission Asphalt (LEA) ..... 25
Gambar 2.14	Urutan lapisan perkerasan laston..... 28
Gambar 2.15	Fungsi aspal terhadap agregat..... 32
Gambar 2.16	Peningkatan sifat mekanis campuran aspal polimer superplast..... 46
Gambar 2.17	Volumetrik campuran laston ..... 49
Gambar 2.18	Hasil indirect tensile strength pada aspal ageing..... 57
Gambar 2.19	Hasil cumulative degree days (CDD) aspal ageing ..... 59
Gambar 2.20	Perbedaan proses wet mix (PMB) dan dry mix (PMA)..... 61
Gambar 2.21	Set up pengujian marshall..... 63
Gambar 2.22	Urutan persiapan benda uji SCB dan pelaksanaan uji SCB ..... 66
Gambar 2.23	Konfigurasi pengujian SCB pada campuran aspal ..... 66
Gambar 2.24	(a) fracture work (Wf) dan (b) Ligamen area (ALig)..... 667
Gambar 2.25	Parameter slope pada grafik force vs displacement..... 70
Gambar 3.1	Diagram alir penelitian ..... 73
Gambar 3.2	Agregat kasar ..... 75
Gambar 3.3	Agregat Halus ..... 75
Gambar 3.4	Aspal pen.60/70 PT Shell Indonesia..... 76
Gambar 3.5	Semen Tiga Roda..... 77
Gambar 3.6	Rediset LQ..... 78
Gambar 3.7	Polimer Iterchemica..... 80

Gambar 3.8	Saringan dan Mesin Pengayak.....	80
Gambar 3.9	Timbangan.....	81
Gambar 3.10	Oven.....	81
Gambar 3.11	Mixer .....	82
Gambar 3.12	Penemometer .....	82
Gambar 3.13	Waterbath.....	83
Gambar 3.14	Cetakan marshall (kiri) dan cantabro loss (kanan) .....	83
Gambar 3.15	Mesin kompaksi.....	84
Gambar 3.16	Alat marshall.....	84
Gambar 3.17	Mesin UTM .....	85
Gambar 3.18	Gradasi rencana campuran.....	90
Gambar 3.19	Benda uji SCB yang telah dipotong menjadi dua (kiri), benda uji yang telah dipotong dan diberi notch (kanan) .....	96
Gambar 3.20	Pengujian SCB dengan mesin UTM.....	97
Gambar 4.1	Grafik titik nyala dan bakar aspal.....	99
Gambar 4.2	Grafik titik lembek aspal .....	99
Gambar 4.3	Grafik analisis gradasi ayakan agregat halus.....	102
Gambar 4.4	Grafik analisis gradasi ayakan agregat kasar.....	103
Gambar 4.5	Grafik densitas dengan kadar aspal .....	108
Gambar 4.6	Grafik VIM dengan kadar aspal .....	109
Gambar 4.7	Grafik VMA dengan kadar aspal.....	110
Gambar 4.8	Grafik VFB dengan kadar aspal .....	111
Gambar 4.9	Grafik stabilitas dengan kadar aspal.....	112
Gambar 4.10	Grafik flow dengan kadar aspal.....	113
Gambar 4.11	Grafik nilai MQ dengan kadar aspal.....	114
Gambar 4.12	Beban maksimum, fracture energy, crack resistance index, flexibility index 2 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda. ....	117
Gambar 4.13	Tegangan maksimum dan fracture toughness 2 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	118
Gambar 4.14	Beban maksimum, fracture energy, crack resistance index, flexibility index 8 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda. ....	118
Gambar 4.15	Tegangan maksimum dan fracture toughness 2 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	118
Gambar 4.16	Maximum stress / tegangan maksimal 2 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	119
Gambar 4.17	Maximum stress / tegangan maksimal 8 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	119
Gambar 4.18	Fracture toughness 2 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	120



Gambar 4.19 Fracture toughness 8 hari ageing dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	121
Gambar 4.20 Fracture energy ageing 2 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	122
Gambar 4.21 Fracture energy ageing 8 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	123
Gambar 4.22 CRI ageing 2 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda ...	125
Gambar 4.23 CRI ageing 8 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda ...	125
Gambar 4.24 Flexibility index ageing 2 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	126
Gambar 4.25 Flexibility index ageing 8 hari dengan penambahan kadar polimer berbeda.....	127
Gambar 4.26 Maximum stress pada 2 hari dan 8 hari ageing serta selisihnya dengan penambahan kadar polimer 4%,5% dan 6% .....	128
Gambar 4.27 Fracture toughness pada 2 hari dan 8 hari ageing serta selisihnya dengan penambahan kadar polimer 4%,5% dan 6% .....	129
Gambar 4.28 Fracture energy pada 2 hari dan 8 hari ageing serta selisihnya dengan penambahan kadar polimer 4%,5% dan 6% .....	130
Gambar 4.29 Crack Resistance Index pada 2 hari dan 8 hari ageing serta selisihnya dengan penambahan kadar polimer 4%,5% dan 6% .....	131
Gambar 4.30 Flexibility index pada 2 hari dan 8 hari ageing serta selisihnya dengan penambahan kadar polimer 4%,5% dan 6% .....	132

## DAFTAR TABEL

	halaman
Tabel 2.1 Jenis campuran aspal .....	13
Tabel 2.2 Perkembangan pemakaian WMA dan teknologinya di USA .....	25
Tabel 2.3 Temperatur ijin pencampuran dan pemadatan WMA .....	27
Tabel 2.4 Tebal minimum macam-macam campuran beraspal .....	28
Tabel 2.5 Ketentuan sifat campuran laston (AC) hangat.....	30
Tabel 2.6 Ketentuan sifat campuran laston (AC) hangat modifikasi.....	31
Tabel 2.7 Ketentuan aspal dalam campuran aspal hangat .....	36
Tabel 2.8 Ukuran saringan dan ukuran bukaan saringan agregat.....	38
Tabel 2.9 Ketentuan teknis agregat kasar .....	39
Tabel 2.10 Ketentuan teknis agregat halus .....	40
Tabel 2.11 Ketentuan gradasi filler .....	41
Tabel 2.12 Amplop gradasi menerus agregat gabungan laston aus <i>wearing course</i> (AC-WC) .....	42
Tabel 3.1 Spesifikasi aspal pen. 60/70 PT Shell Indonesia .....	76
Tabel 3.2 Spesifikasi Rediset LQ .....	78
Tabel 3.3 Spesifikasi polimer superplast iterchemica .....	79
Tabel 3.4 Jumlah benda uji marshall .....	91
Tabel 3.5 Jumlah benda uji SCB .....	95
Tabel 4.1 Hasil dan syarat pengujian karakteristik aspal .....	99
Tabel 4.2 Kadar lumpur agregat halus.....	100
Tabel 4.3 Berat jenis dan penyerapan agregat .....	101
Tabel 4.4 Analisis gradasi ayakan agregat halus .....	102
Tabel 4.5 Gradasi rencana untuk laston hangat .....	104
Tabel 4.6 Kebutuhan material untuk campuran laston dengan kadar aspal yang berbeda.....	106
Tabel 4.7 Berat jenis rencana campuran laston dengan kadar aspal berbeda..	107
Tabel 4.8 Hasil rata-rata uji marshal.....	107
Tabel 4.9 Hasil pengujian volumetrik terhadap benda uji yang akan <i>diageing</i> selama 2 hari .....	115
Tabel 4.10 Hasil pengujian volumetrik terhadap benda uji yang akan <i>diageing</i> selama 8 hari .....	116

## DAFTAR LAMPIRAN

	halaman
Lampiran A	
Tabel berat jenis air berdasarkan suhu .....	A-1
Lampiran B	
Kalibrasi <i>proving ring</i> marshall .....	B-1
Kalibrasi <i>proving ring</i> marshall .....	B-2
Lampiran C	
Angka koreksi untuk benda uji marshall.....	C-1
Lampiran D	
Perhitungan kadar aspal optimum rencana .....	D-1
Lampiran E	
Berat jenis aspal .....	E-1
Penetrasi aspal .....	E-2
Titik lembek aspal .....	E-2
Titik nyala dan bakar aspal .....	E-3
Lampiran F	
Kadar lumpur agregat halus secara volume .....	F-1
Kadar lumpur agregat halus secara berat .....	F-1
Berat jenis <i>filler</i> .....	F-1
Berat jenis dan penyerapan agregat halus .....	F-2
Berat jenis dan penyerapan agregat kasar .....	F-3
Gradasi ayakan agregat kasar .....	F-4
Gradasi ayakan agregat halus .....	F-5
Lampiran G	
<i>Mix design</i> benda uji marshall .....	G-1
Lampiran H	
Perhitungan uji marshall .....	H-1
Lampiran I	
Volumetrik benda uji yang akan di- <i>ageing</i> selama 2hari.....	I-1
Volumetrik benda uji yang akan di- <i>ageing</i> selama 2hari.....	I-2
Lampiran J	
Perhitungan uji SCB .....	J-1
Perhitungan uji SCB.....	J-2