

## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa atas segala berkat dan rahmat yang telah diberikan-Nya, laporan skripsi dengan judul “EVALUASI PENGARUH PENGGUNAAN ANTI *STRIPPING AGENT WETFIX BXE* TERHADAP TINGKAT ADHESI CAMPURAN ASPAL HANGAT BERDASARKAN *DIGITAL IMAGE ANALYSIS* MENGGUNAKAN *SOFTWARE IMAGE J*” dapat diselesaikan dengan baik dan tepat pada waktunya.

Laporan skripsi ini disusun berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dari bulan Januari 2021 hingga bulan Juni 2021. Skripsi merupakan persyaratan terakhir bagi mahasiswa yang wajib ditempuh sesuai dengan kurikulum 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 yang tidak dapat diperoleh dari perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa tanpa bimbingan, bantuan, dan doa dari berbagai pihak, proses penelitian dan penyusunan laporan skripsi ini tidak akan dapat diselesaikan tepat pada waktunya. Oleh karena itu, penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada semua pihak yang telah membantu dalam proses pelaksanaan skripsi dan penulisan laporan skripsi, yaitu kepada:

1. Bapak Eric Jobiliong, Ph.D., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan;
2. Ibu Dr. Nuri Arum Anugrahati, selaku Wakil Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan;
3. Bapak Laurence, M.T., selaku Direktur Administrasi dan Kemahasiswaan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Pelita Harapan;
4. Bapak Sadvent Martondang Purba, M.Sc., selaku Ketua Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan;
5. Bapak Johannes T. A. Gerung, M.Agr, selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah membimbing dan membantu penulis selama perkuliahan (2017 - 2019);

6. Bapak Christian Gerald Daniel, M.Sc., selaku Dosen Pembimbing Utama Skripsi yang telah membimbing, mengarahkan, dan memberi masukan kepada penulis selama proses penyusunan laporan skripsi;
7. Ibu Sunie Rahardja, M.S.CE, selaku Dosen Pembimbing Akademik (2020 - 2021) dan Dosen Pembimbing Pendamping Skripsi yang telah memberikan bimbingan dan arahan kepada penulis selama proses penyusunan laporan skripsi;
8. Prof. Dr. Manlian Ronald A. Simanjuntak, D.Min, Prof. Dr. Ir. Wiryanto Dewobroto, M.T., Dr.-Ing. Jack Widjajakusuma, Andreas K. Djukardi, M.Const. Mgt., Minawaty Tanudjaja, M.T., Gino Pranata Ng, S.T., M.Sc, selaku dosen pengajar Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan yang telah memberikan wawasan kepada penulis selama perkuliahan;
9. Dosen dan asisten dosen yang telah membimbing dan memberikan wawasan mengenai Teknik Sipil kepada penulis selama perkuliahan;
10. Pak Pana, Pak Stefanus, dan Pak Yusuf, selaku Staf Karyawan Laboratorium Universitas Pelita Harapan yang telah membantu penulis dalam melakukan penelitian;
11. Keluarga penulis yang selalu memberikan doa dan dukungan selama pelaksanaan skripsi hingga penulisan laporan dapat terselesaikan dengan baik dan tepat waktu;
12. Juliany Halim dan Erlis Leoni, sebagai sahabat yang selalu mendukung penulis dalam suka dan duka sejak SMP hingga akhir perkuliahan;
13. Ghevereth Shelah Sumampouw dan Kevin Aprilio Wibowo, sebagai mentor, senior, dan teman yang selalu setia membantu dan mendampingi penulis dari awal hingga akhir perkuliahan;
14. Clairine Saputan, Christy Rehuline Surbakti, Natalia, Theofani Liquica Laurent Silvanus, Vivian Rubianti, sebagai teman seperjuangan Teknik Sipil yang selalu mendukung dan memberi masukan kepada penulis selama perkuliahan;

15. Salsabila Naifah Andini dan Vemma Gustvenia Limbong, sebagai senior dan teman yang telah memberikan dukungan dan bantuan bagi penulis dalam melaksanakan penelitian;
16. Keluarga Mentoring UPH dan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HMTS) UPH yang telah mendukung dan menjadi wadah bagi penulis untuk belajar menjadi seorang pemimpin;
17. Senior, junior, dan teman-teman angkatan 2017 dari Program Studi Teknik Sipil Universitas Pelita Harapan yang telah memberikan masukan dan dukungan selama proses pelaksanaan skripsi berlangsung;
18. Pihak terkait lainnya yang tidak dapat penulis sebutkan namanya satu per satu disini yang telah membantu dan memberikan dukungan selama proses pelaksanaan skripsi berlangsung.

Akhir kata, penulis menyadari bahwa masih terdapat banyak kekurangan dalam laporan skripsi ini. Oleh karena itu, penulis sangat terbuka akan kritik dan saran dari pembaca yang dapat membantu membuat laporan skripsi ini menjadi lebih baik lagi. Semoga laporan skripsi ini dapat bermanfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Tangerang, 30 Agustus 2021

(Metta Katharina)

# DAFTAR ISI

halaman

HALAMAN JUDUL	
PERNYATAAN DAN PERSETUJUAN UNGGAH TUGAS AKHIR	
PERSETUJUAN DOSEN PEMBIMBING SKRIPSI	
PERSETUJUAN TIM PENGUJI SKRIPSI	
ABSTRAK .....	vi
ABSTRACT.....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiv
DAFTAR TABEL.....	xvi
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvii
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	4
1.3. Maksud dan Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Batasan Masalah .....	5
1.5. Metodologi Penulisan .....	6
1.6. Sistematika Penulisan .....	7
BAB II LANDASAN TEORI.....	9
2.1. Umum .....	9
2.2. Aspal Beton.....	9
2.2.1. Sifat Volumetrik Campuran Aspal Beton .....	10
2.2.2. Material Penyusun Aspal Beton.....	13
2.2.3. Klasifikasi Aspal Beton .....	19
2.3. Campuran Aspal Hangat ( <i>Warm Mix Asphalt</i> - WMA) .....	19
2.3.1. Klasifikasi Teknologi WMA.....	23
2.3.2. Zat Aditif Zeolit .....	27
2.4. Pengelupasan ( <i>Stripping</i> ).....	30
2.5. Anti <i>Stripping Agent</i> (ASA) .....	33
2.6. Pengujian Perendaman Marshall ( <i>Immersion Marshall Test</i> - IMT).....	39
2.7. <i>Boiling Water Test</i> (BWT).....	45
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	48
3.1. Umum .....	48
3.2. Lokasi dan Waktu Penelitian .....	49
3.3. Variabel Penelitian.....	49
3.4. Material Penyusun WMA .....	49
3.4.1. Bitumen.....	49
3.4.2. Agregat Kasar .....	50
3.4.3. Agregat Halus .....	50

3.4.4.	<i>Filler</i> .....	51
3.4.5.	Zat Aditif Zeolit .....	51
3.4.6.	Anti <i>Stripping Agent</i> .....	52
3.5.	Peralatan.....	52
3.5.1.	Alat <i>Marshall</i> .....	53
3.5.2.	Ayakan dan Mesin Pengayak.....	53
3.5.3.	Bak Perendam ( <i>Waterbath</i> ).....	53
3.5.4.	Cetakan Benda Uji KAO.....	54
3.5.5.	<i>Hydraulic Pump</i> .....	54
3.5.6.	Mesin <i>Los Angeles</i> .....	55
3.5.7.	Mesin Penumbuk Otomatis.....	55
3.5.8.	Oven .....	55
3.5.9.	Timbangan .....	56
3.6.	Uji Karakteristik Material.....	56
3.6.1.	Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus.....	57
3.6.2.	Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat Halus, Agregat Kasar, dan Zeolit .....	57
3.6.3.	Analisis Ayakan Agregat Halus dan Agregat Kasar.....	58
3.6.4.	Pengujian Berat Jenis Semen .....	58
3.6.5.	Pengujian Berat Jenis Bitumen .....	59
3.6.6.	Pengujian Penetrasi Bitumen .....	59
3.6.7.	Pengujian Titik Lembek Bitumen.....	60
3.6.8.	Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Bitumen .....	60
3.6.9.	Pengujian Titik Nyala Anti <i>Stripping Agent</i> .....	60
3.7.	Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	61
3.7.1.	Perencanaan <i>Mix Design</i> Campuran <i>Marshall</i> .....	61
3.7.2.	Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i> .....	62
3.7.3.	Perhitungan Nilai Rongga pada Benda Uji.....	63
3.7.4.	Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> ( <i>Immersion Marshall Test</i> - IMT).....	63
3.8.	Metode BWT .....	64
3.8.1.	Perencanaan <i>Mix Design</i> Campuran BWT .....	65
3.8.2.	Pembuatan Benda Uji BWT.....	66
3.8.3.	Pelaksanaan Metode BWT.....	66
3.8.4.	Pengolahan Data BWT.....	68
BAB IV ANALISA DAN PEMBAHASAN .....		69
4.1.	Umum .....	69
4.2.	Hasil dan Analisis Pengujian Karakteristik Material.....	69
4.2.1.	Bitumen PEN 60/70 .....	69
4.2.2.	Agregat Halus, Agregat Kasar, Zeolit, dan Semen.....	71
4.2.3.	Anti <i>Stripping Agent</i> .....	73
4.3.	Perhitungan <i>Mix Design</i> Campuran Benda Uji <i>Marshall</i> .....	74
4.4.	Hasil dan Analisis Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> .....	75
4.5.	Penentuan Kadar Aspal Optimum .....	81

4.6. Perhitungan <i>Mix Design</i> Campuran Benda Uji untuk Metode BWT .....	82
4.7. Hasil dan Analisis Metode BWT .....	83
<b>BAB V PENUTUP</b> .....	90
5.1. Umum .....	90
5.2. Kesimpulan .....	90
5.3. Saran .....	91

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN



## DAFTAR GAMBAR

	halaman
Gambar 1.1 Fenomena <i>Stripping</i> .....	2
Gambar 1.2 Salah Satu Contoh Perkerasan Jalan yang Mengalami <i>Stripping</i> ....	3
Gambar 2.1 Lapisan Aspal Beton .....	10
Gambar 2.2 Skema Berbagai Jenis Volume dalam Aspal Beton .....	10
Gambar 2.3 VIM, Selimut Aspal, dan Aspal yang Terabsorpsi.....	11
Gambar 2.4 Jenis Agregat Berdasarkan Kadar Silika.....	16
Gambar 2.5 <i>Aquablack</i> WMA .....	25
Gambar 2.6 <i>Sasobit</i> .....	26
Gambar 2.7 <i>Rediset</i> WMX.....	26
Gambar 2.8 Zeolit Alam .....	28
Gambar 2.9 <i>Asphamin</i> .....	29
Gambar 2.10 Reaksi Fisika-Kimia antara Bitumen, Agregat, dan Air .....	32
Gambar 2.11 Pengaruh Muatan Kutub antar Bitumen dan Agregat .....	32
Gambar 2.12 Proses Fisik dan Mekanik Kerusakan akibat Kelembaban .....	33
Gambar 2.13 Struktur Rantai Kimia Anti <i>Stripping Agent</i> yang Mengandung <i>Amine</i> .....	35
Gambar 2.14 Perbedaan Sudut Kontak antara Bitumen dan Agregat Akibat Adanya <i>Anti Stripping Agent</i> .....	36
Gambar 2.15 Mekanisme Kerja Anti <i>Stripping Agent</i> secara Pasif .....	36
Gambar 2.16 <i>Indirect Tensile Stiffness Modulus (ITSM) Ratio</i> .....	39
Gambar 2.17 Alat Marshall.....	41
Gambar 2.18 256 Tingkat Warna Abu-abu pada 8 <i>Bit Grayscale</i> .....	46
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian .....	48
Gambar 3.2 Shell Bitumen 60/70.....	50
Gambar 3.3 Agregat Kasar.....	50
Gambar 3.4 Agregat Halus.....	51
Gambar 3.5 Semen <i>Portland</i> .....	51
Gambar 3.6 Zat Aditif Zeolit .....	52
Gambar 3.7 <i>Anti Stripping Agent Wetfix BXE</i> .....	52
Gambar 3.8 Alat <i>Marshall</i> .....	53
Gambar 3.9 Ayakan dan Mesin Pengayak .....	53
Gambar 3.10 Bak Perendam .....	54
Gambar 3.11 Cetakan Benda Uji KAO.....	54
Gambar 3.12 <i>Hydraulic Pump</i> .....	54
Gambar 3.13 Mesin <i>Los Angeles</i> .....	55
Gambar 3.14 Mesin Penumbuk Otomatis .....	55
Gambar 3.15 Oven .....	56
Gambar 3.16 Timbangan.....	56
Gambar 3.17 Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus Berdasarkan Volume ....	57
Gambar 3.18 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air pada Agregat .....	58
Gambar 3.19 Analisis Ayakan pada Agregat .....	58
Gambar 3.20 Pengujian Berat Jenis Semen .....	59

Gambar 3.21	Pengujian Berat Jenis Bitumen .....	59
Gambar 3.22	Pengujian Penetrasi Bitumen .....	59
Gambar 3.23	Pengujian Titik Lembek Bitumen .....	60
Gambar 3.24	Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Bitumen.....	60
Gambar 3.25	Pengujian Titik Nyala Anti <i>Stripping Agent</i> .....	61
Gambar 3.26	Grafik Gradasi Batas Tengah Agregat Gabungan.....	62
Gambar 3.27	Tahapan Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i> .....	63
Gambar 3.28	Proses Perendaman pada Benda Uji.....	64
Gambar 3.29	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> .....	64
Gambar 3.30	Proses Pembuatan Benda Uji BWT .....	66
Gambar 3.31	Persiapan Sampel Sebelum Dilakukan Metode BWT.....	67
Gambar 3.32	Metode BWT.....	67
Gambar 3.33	Penempatan Sampel pada <i>Green Screen</i> .....	67
Gambar 3.34	Persentase Area <i>Coating</i> .....	68
Gambar 4.1	Grafik Titik Lembek Bitumen.....	70
Gambar 4.2	Grafik Titik Nyala dan Titik Bakar Bitumen .....	70
Gambar 4.3	Grafik Analisis Ayakan Agregat Halus.....	72
Gambar 4.4	Grafik Analisis Ayakan Agregat Kasar.....	73
Gambar 4.5	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan <i>Density</i> .....	76
Gambar 4.6	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VIM .....	77
Gambar 4.7	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VMA.....	78
Gambar 4.8	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan VFB .....	79
Gambar 4.9	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan Stabilitas .....	79
Gambar 4.10	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan <i>Flow</i> .....	80
Gambar 4.11	Grafik Hubungan antara Kadar Aspal dan MQ.....	81
Gambar 4.12	Perbandingan Nilai <i>Coating Ratio</i> dengan <i>Stripping Ratio</i> .....	83
Gambar 4.13	Nilai <i>Coating Ratio</i> secara Kuantitatif .....	85
Gambar 4.14	Perbandingan <i>Coating Ratio</i> Antara <i>Digital Image Analysis</i> dan Kuantitatif.....	86



## DAFTAR TABEL

halaman

Tabel 2.1	Ketentuan-ketentuan Bitumen untuk Campuran Beraspal Hangat ....	13
Tabel 2.2	Ketentuan Temperatur untuk Pencampuran dan Pematatan WMA ..	22
Tabel 2.3	Ketentuan Sifat-sifat Campuran Laston untuk WMA.....	23
Tabel 2.4	Sifat Bahan Tambah Zeolit untuk Campuran Beraspal Hangat .....	30
Tabel 2.5	Ketentuan Bahan Anti Pengelupasan .....	37
Tabel 2.6	Kompatibilitas Bahan Anti Pengelupasan dengan Aspal.....	37
Tabel 2.7	Spesifikasi <i>Wetfix</i> BXE.....	38
Tabel 2.8	Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal .....	40
Tabel 3.1	Kode Benda Uji BWT.....	65
Tabel 4.1	Hasil Pengujian Bitumen PEN 60/70.....	69
Tabel 4.2	Hasil Pengujian terhadap Berat Jenis Agregat, Zeolit, dan Semen....	71
Tabel 4.3	Hasil Analisa Ayakan Agregat Halus .....	72
Tabel 4.4	Hasil Analisa Ayakan Agregat Kasar .....	73
Tabel 4.5	Perhitungan Berat Jenis Maksimum Campuran Teoritis .....	74
Tabel 4.6	Berat Kebutuhan Agregat pada Setiap Ukuran Ayakan untuk Benda Uji <i>Marshall</i> .....	74
Tabel 4.7	Hasil Perhitungan Berat Total Benda Uji untuk <i>Marshall</i> .....	75
Tabel 4.8	Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> .....	76
Tabel 4.9	Berat Total Kebutuhan Material untuk Benda Uji BWT .....	82
Tabel 4.10	Jumlah Penambahan ASA untuk Satu Benda Uji .....	82
Tabel 4.11	Hasil Metode BWT secara <i>Digital Image Analysis</i> .....	83

## DAFTAR LAMPIRAN

halaman

Lampiran A	
Berat Jenis Air .....	A-1
Kalibrasi Alat <i>Marshall</i> .....	A-1
Angka Koreksi Stabilitas .....	A-2
Lampiran B	
Kadar Lumpur Agregat Halus .....	B-1
Berat Jenis dan Penyerapan pada Agregat Halus dan Zeolit .....	B-3
Berat Jenis dan Penyerapan pada Agregat Kasar .....	B-6
Analisis Ayakan Agregat Halus dan Agregat Kasar .....	B-8
Berat Jenis Semen .....	B-10
Berat Jenis Bitumen .....	B-12
Titik Lembek Bitumen .....	B-14
Penetrasi Bitumen .....	B-16
Titik Nyala dan Titik Bakar Bitumen .....	B-16
Titik Nyala Anti <i>Stripping Agent</i> .....	B-16
Lampiran C	
Perhitungan <i>Mix Design</i> Campuran Benda Uji <i>Marshall</i> .....	C-1
Lampiran D	
Tahapan Pembuatan Benda Uji <i>Marshall</i> .....	D-1
Lampiran E	
Tahapan Pembuatan Benda Uji, Pelaksanaan, dan Pengolahan Data BWT Menggunakan <i>Image J</i> .....	E-1
Lampiran F	
Hasil Pengujian Kadar Lumpur Agregat Halus .....	F-1
Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus .....	F-1
Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar .....	F-2
Hasil Analisis Ayakan Agregat Halus .....	F-2
Hasil Analisis Ayakan Agregat Kasar .....	F-3
Hasil Pengujian Berat Jenis Semen .....	F-3
Hasil Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Zeolit .....	F-4
Hasil Pengujian Berat Jenis Bitumen .....	F-4
Hasil Pengujian Penetrasi Bitumen .....	F-5
Hasil Pengujian Titik Lembek Bitumen .....	F-5
Hasil Pengujian Titik Nyala dan Titik Bakar Bitumen .....	F-6
Hasil Pengujian Titik Nyala Anti <i>Stripping Agent</i> .....	F-7

Lampiran G	
Hasil Pengujian Perendaman <i>Marshall</i> .....	G-1
Lampiran H	
Perhitungan <i>Mix Design</i> Campuran Benda Uji BWT .....	H-1
Lampiran I	
Hasil Pengujian BWT .....	I-1
Lampiran J	
Lembar <i>Monitoring</i> Bimbingan Tugas Akhir .....	J-1

