

**DISERTASI**

**PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN  
BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS  
PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI  
SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN  
LENTUR JALAN**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik,  
Bidang Ilmu Teknik Sipil



**RAMADHANI  
NIM. 03013682126005**

**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK  
PROGRAM DOKTOR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

**DISERTASI**

**PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN  
BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS  
PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI  
SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN  
LENTUR JALAN**

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik,  
Bidang Ilmu Teknik Sipil



**RAMADHANI  
NIM. 03013682126005**

**PROGRAM STUDI ILMU TEKNIK  
PROGRAM DOKTOR  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS SRIWIJAYA  
2024**

## HALAMAN PENGESAHAN

### PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN LENTUR JALAN

#### LAPORAN DISERTASI

Diajukan Untuk Memenuhi Persyaratan Memperoleh Gelar Doktor Ilmu Teknik,  
Bidang Ilmu Teknik Sipil

Diusulkan oleh:

**Ramadhani**

**NIM: 03013682126005**

Telah disetujui


Pada tanggal

2024

Promotor:

  
Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

Ko-Promotor:


  
Dr. Edi Kadarsa, S.T., M.T.  
NIP. 197311032008121003

Mengetahui,

Dekan Fakultas Teknik

  
Prof. Dr. Eng. Ir. H Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

Koordinator Program Studi

  
Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

## HALAMAN PERSETUJUAN

Dengan ini menyatakan bahwa disertasi Ramadhani yang berjudul "PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN LENTUR JALAN" telah dipertahankan di hadapan sidang ujian tertutup Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya pada tanggal 04 Juni 2024.

Palembang, Juni 2024

Ditandatangani oleh Tim Penguji,

Ketua Tim Penguji:

Dr. Ir. Bhakti Yudho Suprpto, S.T, M.T, IPM.  
NIP. 197502112003121002

(  )

Anggota Tim Penguji:

1. Dr. Ir. Harmein Rahman, S.T, M.T.  
NIP. 196905081997021001

(  )

2. Dr. Ir. Rosidawani, S.T, M.T.  
NIP. 197605092000122001

(  )

3. Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

(  )

Mengetahui,

  
Dekan Fakultas Teknik

Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

  
Koordinator Program Studi

Prof. Dr. Ir. Nukman, MT.  
NIP. 195903211987031001

## **Pernyataan Orisinalitas/Pernyataan Plagiarisme**

Nama : Ramadhani  
NIM : 03013682126005  
Judul : Pengembangan Model Perilaku Campuran Beraspal Panas  
Menggunakan Lateks Pravulkanisasi dan Abu Sekam Padi  
Sebagai Alternatif Bahan Perkerasan Lentur Jalan

Dengan ini saya menyatakan keaslian disertasi ini. Disertasi ini dibimbing oleh seorang Promotor dan satu Ko-Promotor dan tidak melibatkan plagiarisme. Jika ditemukan adanya plagiarisme dalam disertasi ini, saya bersedia menerima sanksi akademik apapun sesuai dengan regulasi yang telah ditetapkan Universitas Sriwijaya atas konsekuensinya.

Palembang, 2024



Ramadhani

NIM. 03013682126005

# PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN LENTUR JALAN

Ramadhani<sup>1\*</sup>, Joni Arliansyah<sup>2</sup>, Edi Kadarsa<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Mahasiswa Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

<sup>2</sup>Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

\*email: enny72.ramadhani@gmail.com

## Abstrak

Aspal memiliki sifat viskositas yang unik, elastisitas, tahan air, perekat yang baik dan sifat impermeabilitas yang tinggi, namun seiring dengan waktu dan kondisi lingkungan sekitar, aspal akan mengalami kerusakan. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan modifikasi aspal dalam memperbaiki sifat tersebut. Aspal polimer merupakan modifikasi aspal yang menggunakan bahan tambahan salah satunya karet. Penerapan karet dalam campuran aspal masih menggunakan filler konvensional yaitu abu batu. Jika filler konvensional ini dapat digantikan dengan abu sekam padi maka berpotensi mengurangi biaya produksi aspal karet. Penggunaan limbah abu sekam padi juga menjadi isu penting dalam beberapa tahun belakangan ini. Mengganti atau mengubah komposisi agregat ataupun bahan pengisi (filler) serta menambah bahan polimer alam, sehingga perkerasan beraspal dapat menjadi konstruksi hijau, berkelanjutan dan ramah lingkungan yang pada akhirnya akan melestarikan alam dengan mengurangi kebutuhan penggunaan bahan dari sumber alam galian. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan model optimum penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengisi dan lateks pravulkanisasi sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja mekanistik dari campuran beraspal panas. Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian laboratorium menggunakan pengujian reologi aspal, pengujian Marshall, pengujian modulus resilien campuran beraspal dan pengujian ketahanan kelelahan (*fatigue*) campuran beraspal. Lateks pravulkanisasi digunakan sebagai bahan modifikasi aspal yaitu dengan kadar 7% dan 9% sebagai substitusi terhadap berat aspal, sedangkan abu sekam padi digunakan sebagai pengganti filler abu batu dengan kadar 50%, 75% dan 100% terhadap berat filler. Rancangan campuran beraspal panas menggunakan gradasi jenis AC-WC yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lateks pravulkanisasi sebagai bahan modifikasi aspal mampu meningkatkan modulus kekakuan aspal dan menurunkan sudut *phase*. Berdasarkan hasil pengujian Marshall Penggunaan lateks pravulkanisasi dan abu sekam padi (RHA) pada campuran AC-WC dapat menghasilkan kadar aspal yang optimal, dengan hasil stabilitas Marshall yang lebih baik daripada sampel kontrol. Hal ini juga ditunjukkan dengan hasil pengujian modulus resilien dimana campuran tersebut mampu meningkatkan nilai Smix. Berdasarkan hasil pengujian ketahanan kelelahan, campuran beraspal panas yang menggunakan LP dan RHA memiliki nilai regangan tarik horizontal dan jumlah pengulangan beban yang lebih baik dibandingkan dengan sampel yang hanya menggunakan LP. Berdasarkan hasil analisis regresi diperoleh model pengembangan modulus resilien campuran AC-WC yang menggunakan LP dan RHA yaitu:  $Smix = 4657,959 + 5,089*LP + 0,225*RHA - 3,559*VFA - 22,103*Sbit - 95,803*Suhu$  dengan batasan LP sebesar 0 – 9% terhadap berat aspal sebagai substitusi, RHA sebesar 0 – 100% terhadap berat filler sebagai substitusi dan suhu pengujian sebesar 25 – 40°C. Sedangkan model pengembangan ketahanan kelelahan campuran AC-WC yang menggunakan LP dan RHA diperoleh persamaan:  $Nf = -317569,39 + 449,703*LP - 61,544*RHA + 16575,100*VIM + 4271,054*VFA - 4795,018*Vol$ . Aspal –  $1925,528*PI - 5,366x10^{-5}*Regangan + 2,679*Smix$  dengan LP sebesar 0 – 9% terhadap berat aspal sebagai substitusi, RHA sebesar 0 – 100% terhadap berat filler sebagai substitusi dan suhu pengujian sebesar 20°C.

**Kata kunci:** Lateks Pravulkanisasi, Abu Sekam Padi, Perkerasan Lentur, Gradasi AC-WC, Stabilitas Marshall, Reologi Aspal, Modulus Resilien, Ketahanan Kelelahan.

Palembang, Juni 2024

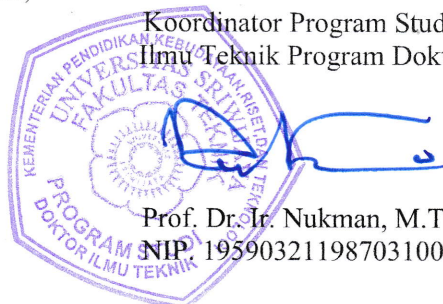
Mengetahui,

Promotor,



Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T.  
NIP. 196706151995121002

Koordinator Program Studi  
Ilmu Teknik Program Doktor



Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T.  
NIP. 195903211987031001

## KATA PENGANTAR

Puji dan syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa karena atas berkat dan rahmat-Nya saya dapat menyelesaikan penulisan Laporan Disertasi ini yang berjudul “*PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN LENTUR JALAN*”. Judul penelitian disertasi ini diambil karena untuk mendukung program pemerintah dalam penyerapan karet alam cair pada bidang infrastruktur jalan. Dalam penelitian ini juga menggunakan limbah pertanian yaitu sekam padi yang nantinya akan dibakar dengan suhu tinggi menghasilkan abu sekam padi dengan kadar silika yang tinggi. Kedua bahan tersebut memiliki dampak yang baik terhadap perkerasan lentur jalan AC-WC. Dari hasil penelitian yang telah dilakukan, penggunaan karet alam cair jenis lateks pravulkanisasi bahan modifikasi aspal mampu meningkatkan reologi dan ketahanan dalam penebaran aspal. Selain itu juga mampu meningkatkan kinerja mekanistik yaitu modulus resilien dan ketahanan kelelahan bila dikombinasikan dengan abu sekam padi sebagai pengganti filler.

Penulis mengucapkan banyak Terima Kasih kepada:

- 1) Dekan Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya yang juga selaku Promotor Disertasi yaitu Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T beserta Ko-Promotor Disertasi yaitu Dr. Edi Kadarsa, S.T, M.T yang telah memberikan arahan, ide, gagasan, bimbingan, semangat, dukungan dan restu selama menempuh studi doctoral ini.
- 2) Koordinator Program Studi Ilmu Teknik Program Doktor, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya yaitu Prof. Dr. Ir. Nukman, M.T. yang telah memberikan dukungan penuh, semangat, restu dan nasehat selama menempuh studi ini. Tak lupa juga kepada bagian Administrasi yaitu kepada Ibu Yuni Erika, Kak Aang, Kak Gilang yang telah banyak membantu dalam proses administrasi selama masa studi ini.

- 3) Prof. Dr. Ir. H. Anis Saggaff, M.SCE., MKU., IPU., ASEAN.Eng. APEC.Eng dan Dr. Ir. Hanafiah, M.S, IPM yang telah memberikan banyak gagasan, ide, ajaran dan teknik dalam mencari topik disertasi terkini.
- 4) Penguji Disertasi yaitu Dr. Ir. Harmein Rahman, S.T, M.T yang telah memberikan arahan, masukan, ide, analisis dan gagasan dalam mengembangkan hasil penelitian disertasi ini sampai menuju skala nasional maupun internasional. Tak lupa juga kepada Dr. Ir. Rosidawani, S.T, M.T, yang juga telah memberikan masukan terhadap perhitungan model serta analisis hasil penelitian disertasi.
- 5) Orang tua dan mertua yang mulai dari menyiapkan kaleng2x untuk Persiapan Aspal dan mendoakanku dari mulai melakukan penelitian hingga menjelang Ujian Disertasi, yaitu (Alm) Bapak dr. H. Ramatjandra Iljas, Ibu Hj. Siti Nashuha, Bapak H. Ali Utih, S.E. dan Ibu Hj. Nyayu Aminah.
- 6) Support yang tak kenal waktu agar tetap semangat dari Suamiku Tercinta yaitu Bapak Dr. Ir. K.M. Aminuddin, S.T, M.T, IPU, ASEAN.Eng dan kedua anak2xku tercinta, KM. Raddin Zenara dan KM. Denny Armeinal.
- 7) Resi Jatmiko, Wali Wadoyo ST, Andre Wijaya ST dan RM Fadel Satria ST yang telah banyak membantu dalam proses penelitian disertasi ini mulai dari persiapan material, kunjungan ke Bandung, proses pembuatan sampel dan sampai tahap pengujian akhir.
- 8) Teman-teman angkatan 2021 yaitu Warga 1721 dan juga teman-teman sePromotor yaitu Hendrik, Delly, Imad, Kak Lega, dan juga Mira yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam menempuh studi ini. Tak lupa juga kepada teman-teman kakak tingkat (Ibu Ani Firda, Ibu Ika, Pak Mirka dan Ibu Titi).
- 9) Pak Endy dan Ibu Dr. Rindu Twidi Bethary, S.T, M.T dari Universitas Sultan Ageng Tirtayasa yang telah membantu dalam refrensi, ide penelitian dan konsultasi pengujian. Tak lupa juga kepada Dr. I Made Agus Ariawan, S.T, M.T sebagai Kepala Laboratorium Jalan Raya Universitas Udayana dan Pak I Nyoman Dinton selaku Teknisi Laboratorium yang telah membantu dalam pengujian lanjutan.



- 10) PT. Modifikasi Bitumen Sumatera yaitu Bapak Imam, Bapak Arief dan Mbak Bella yang telah mengizinkan untuk pengujian aspal dan reologi aspal.
- 11) Bapak Hidayat dan Bapak Yudian Budhi Krisna dari BPJN Sumsel yang telah memberikan masukan dan memperkenalkan kepada pelaksana yang menggunakan aspal karet.
- 12) PT. Bintang Selatan Agung (BSA) di kota Palembang yang telah mendukung pemberian bantuan material agregat.
- 13) PT Aspal Bangun Sarana di kota Palembang yang telah membantu dalam pemberian bantuan berupa aspal penetrasi.
- 14) Pengurus Yayasan IBA dan Staff, Rektor Universitas IBA beserta jajarannya, Dekan Fakultas Teknik Universitas IBA beserta jajarannya, serta teman-teman dari Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas IBA yang telah memberikan semangat dan dukungan selama masa studi ini sampai dengan selesai studi doktoral.

Demikian kata pengantar dari saya semoga penulisan disertasi ini dapat bermanfaat dan berguna bagi semua kalangan. Akhir kata saya mengucapkan terima kasih.

Palembang, Juni 2024

Penulis

## RINGKASAN

PENGEMBANGAN MODEL PERILAKU CAMPURAN BERASPAL PANAS MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI ALTERNATIF BAHAN PERKERASAN LENTUR JALAN

### DISERTASI

Ramadhani, dibimbing oleh Promotor: Prof. Dr. Eng. Ir. Joni Arliansyah, M.T dan Ko-Promotor: Dr. Edi Kadarsa, S.T, M.T.

xxiii + 261 halaman, 117 Tabel, dan 103 Gambar

Aspal memiliki sifat viskositas yang unik, elastisitas, tahan air, perekat yang baik dan sifat impermeabilitas yang tinggi, namun seiring dengan waktu dan kondisi lingkungan sekitar, aspal akan mengalami kerusakan. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan modifikasi aspal dalam memperbaiki sifat tersebut. Aspal polimer merupakan modifikasi aspal yang menggunakan bahan tambahan salah satunya karet. Penerapan karet dalam campuran aspal masih menggunakan filler konvensional yaitu abu batu. Jika filler konvensional ini dapat digantikan dengan abu sekam padi maka berpotensi mengurangi biaya produksi aspal karet. Penggunaan limbah abu sekam padi juga menjadi isu penting dalam beberapa tahun belakangan ini. Mengganti atau mengubah komposisi agregat ataupun bahan pengisi (filler) serta menambah bahan polimer alam, sehingga perkerasan beraspal dapat menjadi konstruksi hijau, berkelanjutan dan ramah lingkungan yang pada akhirnya akan melestarikan alam dengan mengurangi kebutuhan penggunaan bahan dari sumber alam galian. Tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan model optimum penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengisi dan lateks pravulkanisasi sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja mekanistik dari campuran beraspal panas. Metode penelitian yang digunakan berupa pengujian laboratorium menggunakan pengujian reologi aspal, pengujian Marshall, pengujian modulus resilien campuran beraspal dan pengujian ketahanan kelelahan (*fatigue*) campuran beraspal. Lateks pravulkanisasi digunakan sebagai bahan modifikasi aspal yaitu dengan kadar 7% dan 9% sebagai substitusi terhadap berat aspal, sedangkan abu sekam padi digunakan sebagai pengganti filler abu batu dengan kadar 50%, 75% dan 100% terhadap berat filler. Rancangan campuran beraspal panas menggunakan gradasi jenis AC-WC yang mengacu pada Spesifikasi Bina Marga Tahun 2018 Revisi 2. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan lateks pravulkanisasi sebagai bahan modifikasi aspal mampu meningkatkan modulus kekakuan aspal dan menurunkan sudut phase. Berdasarkan hasil pengujian Marshall Penggunaan lateks

pravulkanisasi dan abu sekam padi (RHA) pada campuran AC-WC dapat menghasilkan kadar aspal yang optimal, dengan hasil stabilitas Marshall yang lebih baik daripada sampel kontrol. Hal ini juga ditunjukkan dengan hasil pengujian modulus resilien dimana campuran tersebut mampu meningkatkan nilai Smix. Berdasarkan hasil pengujian ketahanan kelelahan, campuran beraspal panas yang menggunakan LP dan RHA memiliki nilai regangan tarik horizontal dan jumlah pengulangan beban yang lebih baik dibandingkan dengan sampel yang hanya menggunakan LP. Berdasarkan hasil analisis regresi diperoleh model pengembangan modulus resilien campuran AC-WC yang menggunakan LP dan RHA yaitu:  $S_{mix} = 4657,959 + 5,089*LP + 0,225*RHA - 3,559*VFA - 22,103*S_{bit} - 95,803*S_{uhu}$  dengan batasan LP sebesar 0 – 9% terhadap berat aspal sebagai substitusi, RHA sebesar 0 – 100% terhadap berat filler sebagai substitusi dan suhu pengujian sebesar 25 – 40°C. Sedangkan model pengembangan ketahanan kelelahan campuran AC-WC yang menggunakan LP dan RHA diperoleh persamaan:  $N_f = -317569,39 + 449,703*LP - 61,544*RHA + 16575,100*VIM + 4271,054*VFA - 4795,018*Vol. Aspal - 1925,528*PI - 5,366 \times 10^{-5} * Regangan + 2,679*S_{mix}$  dengan LP sebesar 0 – 9% terhadap berat aspal sebagai substitusi, RHA sebesar 0 – 100% terhadap berat filler sebagai substitusi dan suhu pengujian sebesar 20°C.

**Keywords:** Lateks Pravulkanisasi, Abu Sekam Padi, Perkerasan Lentur, Gradasi AC-WC, Stabilitas Marshall, Reologi Aspal, Modulus Resilien, Ketahanan Kelelahan.

Referensi: 70

## DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul.....	i
Halaman Pengesahan .....	ii
Pernyataan Orisinalitas/Pernyataan Plagiarisme.....	iii
Kata Pengantar .....	iv
Ringkasan .....	v
Daftar Isi .....	vi
Daftar Gambar.....	vii
Daftar Tabel .....	viii
Daftar Rumus .....	ix
<b>BAB I PENDAHULUAN.....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Pernyataan Masalah.....	9
1.3. Tujuan Penelitian .....	10
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	10
1.5. Batasan Penelitian .....	11
1.6. Hipotesis Penelitian.....	14
1.7. Manfaat Penelitian.....	14
1.8. Posisi Penelitian .....	14
1.9. Keterbaruan Penelitian .....	26
<b>BAB II STUDI LITERATUR .....</b>	<b>40</b>
2.1. Jenis Pengujian aspal.....	40
2.2. Reologi Aspal .....	41
2.3. Agregat .....	46
2.3.1. Agregat Kasar.....	47
2.3.2. Agregat Halus.....	48
2.3.3. Gradasi Agregat Campuran Aspal Beton (AC) .....	48

2.4.	Karet alam sebagai modifikator-campuran aspal .....	50
2.5.	Metode Desain Perkerasan Lentur .....	55
2.6.	Modulus Kekakuan .....	55
2.6.1.	Modulus Kekakuan Aspal ( $S_{bit}$ ) .....	56
2.6.2.	Modulus Kekakuan Campuran Beraspal ( $S_{mix}$ ) .....	59
2.7.	Filler .....	60
2.7.1.	Abu Batu.....	61
2.7.2.	Abu sekam padi ( <i>Rice husk ash</i> ) .....	62
2.8.	Ketahanan Kelelahan ( <i>Fatigue</i> ) .....	65
2.9.	Prinsip dan Teknik SEM .....	69
2.10.	Mikromorfologi bahan pengikat dan campuran aspal dengan SEM .....	71
2.11.	Analisis Regresi.....	76
<b>BAB III METODE PENELITIAN .....</b>		<b>79</b>
3.1.	Metodologi Penelitian .....	79
3.2.	Tahapan Penelitian .....	81
3.3.	Kegiatan Pendahuluan.....	81
3.4.	Kegiatan Tahap I .....	81
3.4.1.	Pengujian Karakteristik Bahan .....	82
3.4.2.	Pengujian Reologi Aspal Karet .....	89
3.5.	Kegiatan Tahap II .....	89
3.6.	Kegiatan Tahap III .....	95
<b>BAB IV KARAKTERISTIK FISIK DAN REOLOGI ASPAL DENGAN LATEKS PRAVULKANISASI .....</b>		<b>100</b>
4.1.	Pendahuluan .....	100
4.2.	Proses Pencampuran Aspal Karet.....	100
4.3.	Pengujian Sifat Kimia Lateks Pravulkanisasi.....	102
4.4.	Pengujian Karakteristik Aspal Penetrasi (As-Pen).....	103
4.4.1.	Pengujian Karakteristik Fisik As-Pen.....	103
4.4.2.	Pengujian Viskositas Aspal Penetrasi (As-Pen) .....	105

4.4.3. Pengujian Reologi Aspal Penetrasi (As-Pen) .....	106
4.5. Pengujian Karakteristik Aspal dengan Lateks Pravulkanisasi (LP)	109
4.5.1. Pengujian Karakteristik Fisik Aspal Lateks Pravulkanisasi (LP) .....	109
4.5.2. Pengujian Viskositas Aspal dengan Lateks Pravulkanisasi.	111
4.5.3. Pengujian Reologi Aspal dengan Lateks Pravulkanisasi.....	112
4.6. Pembahasan Sifat Reologi Aspal.....	117
4.6.1. Pengaruh Penggunaan Lateks Pravulkanisasi terhadap Reologi Aspal .....	117
4.6.2. Pengaruh Penggunaan Lateks Pravulkanisasi pada Kondisi Penunaan Aspal.....	121
4.6.3. Pengembangan Model Modulus Kekakuan Aspal (Sbit) yang Menggunakan Lateks Pravulkanisasi .....	128
4.7. Simpulan.....	130

## **BAB V KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN BERASPAL PANAS AC LAPIS AUS (AC-WC) DENGAN LATEKS**

<b>PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI .....</b>	<b>133</b>
5.1. Pengujian Berat Jenis Agregat.....	133
5.2. Pengujian Penyerapan Air pada Agregat.....	135
5.3. Pengujian Analisa Saringan Agregat.....	137
5.4. Pengujian Sifat Kimia Lateks Pravulkanisasi.....	138
5.5. Karakteristik Bahan Pengisi (Filler).....	139
5.6. Perancangan Campuran Beraspal Panas .....	146
5.6.1. Desain Mix Formula (DMF) .....	146
5.6.2. Rancangan Gradasi Agregat (Job Mix Formula/JMF) .....	147
5.7. Pengujian Marshall Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan Aspal-Pen dan Lateks Pra-vulkanisasi (LP 7 dan LP 9).....	149
5.8. Pengujian Marshall Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan Aspal Penetrasi dan Abu Sekam Padi.....	159
5.9. Pengujian Marshall Campuran Beraspal Panas AC-WC	

yang Menggunakan LP 7 dan Abu Sekam Padi.....	169
5.10. Pengujian Marshall Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan LP 9 dan Abu Sekam Padi.....	177
5.11. Analisis dan Pembahasan terhadap Hasil Pengujian Marshall.....	186
5.12. Simpulan.....	192

## **BAB VI MODULUS RESILIEN CAMPURAN BERASPAL PANAS**

### **AC-WC YANG MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI**

#### **DAN ABU SEKAM PADI ..... 194**

6.1. Hasil Pengujian Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan Aspal-Pen dan Lateks Pra-vulkanisasi .....	195
6.2. Hasil Pengujian Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan LP 7% dan Abu Sekam Padi .....	196
6.3. Hasil Pengujian Modulus Resilien Campuran Beraspal Panas AC-WC yang Menggunakan LP 9% dan Abu Sekam Padi.....	198
6.4. Pembahasan Hasil Pengujian Modulus Resilien.....	199
6.5. Pengembangan Model Modulus Resilien Campuran Beraspal yang Menggunakan LP dan RHA .....	201
6.5.1. Data Masukan yang digunakan.....	201
6.5.2. Pengembangan Model Teoritis Modulus Resilien Terhadap Hasil Penelitian yang Diperoleh .....	201
6.5.2.1. Hasil Perhitungan Prediksi Modulus Resilien Campuran Beraspal dengan Metode Bonnaure (1977).....	201
6.5.2.2. Hasil Perhitungan Prediksi Modulus Resilien Campuran Beraspal dengan Metode Nottingham (1984) .....	206
6.5.2.3. Hasil Perhitungan Prediksi Modulus Resilien Campuran Beraspal dengan Metode Shell (2003) .....	208
6.5.2.4. Perbandingan Model Prediksi Modulus Resilien Campuran Beraspal.....	210
6.5.3. Pengembangan Model Matematika Modulus Resilien Campuran Beraspal .....	211
6.6. Simpulan .....	219

<b>BAB VII KETAHANAN KELELAHAN (<i>FATIGUE</i>) CAMPURAN BERASPAL PANAS YANG MENGGUNAKAN LATEKS PRAVULKANISASI DAN ABU SEKAM PADI.....</b>	<b>222</b>
7.1. Hasil pengujian fatigue yang menggunakan Aspen, LP 7 dan LP 9...	223
7.2. Hasil pengujian fatigue yang menggunakan LP 7, LP 7-50RHA dan LP 7-100RHA .....	226
7.3. Hasil pengujian fatigue yang menggunakan LP 9, LP 9-50RHA dan LP 9-100RHA .....	229
7.4. Analisis Hasil Pengujian Ketahanan Fatigue .....	232
7.5. Pengembangan Model Ketahanan Fatigue Campuran Beraspal yang Menggunakan LP dan RHA .....	233
7.5.1. Pengembangan Model Teoritis Ketahanan Fatigue Metode Shell .....	234
7.5.2. Pengembangan Model Teoritis Ketahanan Fatigue Metode Asphalt Institute .....	236
7.5.3. Pengembangan Model Matematis Ketahanan Fatigue Campuran Beraspal yang Menggunakan LP dan RHA.....	239
7.6. Simpulan .....	247
<b>BAB VIII KESIMPULAN DAN SARAN .....</b>	<b>248</b>
8.1. Kesimpulan .....	248
8.2. Saran.....	250
<b>DAFTAR PUSTAKA .....</b>	<b>251</b>
<b>LAMPIRAN.....</b>	<b>258</b>



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 1.1. Hasil Analisa SEM untuk Abu Sekam dan Abu Batu.....	4
Gambar 1.2. Permasalahan Penelitian.....	13
Gambar 1.3. Roadmap Penelitian .....	39
Gambar 2.1. Perilaku Reologi Fluida .....	42
Gambar 2.2. Alat DSR .....	43
Gambar 2.3. Sample Pengujian Reologi Aspal.....	44
Gambar 2.4. Respon sinusoidal tegangan dan regangan.....	44
Gambar 2.5. Ilustrasi Black Diagram.....	45
Gambar 2.6. Ilustrasi gradasi menerus.....	48
Gambar 2.7. Ilustrasi gradasi seragam .....	49
Gambar 2.8. Ilustrasi gradasi senjang .....	49
Gambar 2.9. Grafik bentuk gradasi dalam analisa saringan .....	49
Gambar 2.10. Molekul karet .....	50
Gambar 2.11. Struktur CIS karet .....	50
Gambar 2.12. Nomogram Van Der Poel.....	57
Gambar 2.13. Bentuk abu batu dari berbagai lokasi .....	61
Gambar 2.14. Hasil SEM dari RHA untuk 500x dan 1000x pembesaran ...	64
Gambar 2.15. Pengujian kelelahan campuran beraspal .....	67
Gambar 2.16. Volume interaksi SEM dengan dimensi.....	70
Gambar 2.17. Representasi skematis dari sistem SEM.....	70
Gambar 2.18. (a) Fase terang (polimer) dan fase hitam (aspal); (b) Titik putih menunjukkan dispersi nano partikel; (c) Efek penahan retakan abu terbang; (d) Pengikat yang tidak rusak; (e) Pengikat tua; (f) Struktur jaringan linier pengikat yang dimodifikasi CNF .....	72
Gambar 3.1. Pola Pikir Penelitian.....	80
Gambar 3.2. Tahapan kegiatan penelitian tahap I.....	82

Gambar 3.3.	Tahapan kegiatan penelitian tahap II .....	91
Gambar 3.4.	Tahapan kegiatan penelitian tahap III .....	96
Gambar 4.1.	Proses pencampuran aspal dengan lateks pravulkanisasi.....	101
Gambar 4.2.	Hasil pencampuran aspal penetrasi dengan lateks pravulkanisasi.....	102
Gambar 4.3.	Proses pengujian aspal penetrasi .....	105
Gambar 4.4.	Penentuan suhu pencampuran dan suhu pematatan .....	106
Gambar 4.5.	Alat <i>rotational viscometer</i> .....	106
Gambar 4.6.	Rutting parameter aspal penetrasi .....	107
Gambar 4.7.	Fatigue parameter aspal penetrasi .....	107
Gambar 4.8.	Pengujian viskositas Aspal dengan 7% LP .....	111
Gambar 4.9.	Pengujian viskositas Aspal dengan 9% LP .....	111
Gambar 4.10.	Rutting parameter aspal dengan 7% LP.....	114
Gambar 4.11.	Rutting parameter aspal dengan 9% LP .....	114
Gambar 4.12.	Fatigue parameter aspal dengan 7%LP dan 9% LP.....	115
Gambar 4.13.	Contoh ilustrasi penentuan klasifikasi aspal PG 64-22 (Francken, 1998) .....	116
Gambar 4.14.	Grafik perbandingan nilai Sbit dan sudut phase pada sampel As-Pen, 7% LP dan 9%LP kondisi Original .....	118
Gambar 4.15.	Grafik isokronal stiffness modulus pada sampel As-Pen, 7% LP dan 9%LP kondisi Original .....	119
Gambar 4.16.	Grafik isokronal sudut phase pada sampel As-Pen, 7% LP dan 9%LP kondisi Original .....	120
Gambar 4.17.	Grafik rutting parameter pada kondisi original .....	121
Gambar 4.18.	Black Diagram pada Kondisi TFOT .....	122
Gambar 4.19.	Black Diagram pada Kondisi PAV .....	123
Gambar 4.20.	Grafik rutting parameter pada kondisi TFOT .....	124
Gambar 4.21.	Grafik fatigue parameter pada kondisi PAV .....	125
Gambar 4.22.	Kurva Cole-Cole .....	126
Gambar 4.23.	Grafik logaritma elastik modulus aspal.....	127
Gambar 4.24.	Grafik logaritma viscous modulus aspal .....	127
Gambar 4.25.	Perbandingan hasil model dengan hasil laboratorium .....	129

Gambar 5.1.	Proses pengujian berat jenis dan penyerapan air pada agregat	137
Gambar 5.2.	Distribusi ukuran partikel agregat.....	138
Gambar 5.3.	Contoh abu batu yang lolos saringan No 200 .....	139
Gambar 5.4.	Proses pembakaran sekam padi menjadi abu sekam padi.....	140
Gambar 5.5.	Hasil pengujian XRD Abu Batu.....	141
Gambar 5.6.	Hasil pengujian XRD Abu Sekam Padi .....	141
Gambar 5.7.	Hasil pengujian FTIR Abu Batu .....	142
Gambar 5.8.	Hasil pengujian FTIR Abu Sekam Padi .....	143
Gambar 5.9.	Pengujian SEM Abu Batu .....	144
Gambar 5.10.	Pengujian SEM Abu Sekam Padi.....	145
Gambar 5.11.	Gradasi rancangan campuran beraspal panas lapis aus (AC-WC).....	148
Gambar 5.15.	Grafik hasil pengujian Marshall Sampel Aspen, LP 7 dan LP 9	151
Gambar 5.16.	Sampel Marshall untuk benda uji Aspen, LP 7 dan LP 9 .....	158
Gambar 5.17.	Grafik hasil pengujian Marshall untuk sampel (Aspen, Aspen 50RHA, Aspen-75RHA dan Aspen-100RHA).....	161
Gambar 5.18.	Pembuatan sampel dan pengujian Marshall (Aspen-50RHA, Aspen-75RHA dan Aspen-100RHA).....	168
Gambar 5.19.	Pembuatan sampel dan pengujian Marshall (LP7-50RHA, LP7- 75RHA dan LP7-100RHA) .....	170
Gambar 5.20.	Grafik hasil pengujian Marshall untuk sampel (LP7, LP7-50RHA, LP7-75RHA dan LP7-100RHA) .....	171
Gambar 5.21.	Proses pembuatan sampel dan pengujian Marshall sampel LP 9- 50RHA, LP 9-75RHA dan LP 9-100RHA .....	179
Gambar 5.22.	Grafik hasil pengujian Marshall sampel LP 9-50RHA, LP 9-75RHA dan LP 9-100RHA .....	180
Gambar 5.23.	Perbandingan nilai KAO pada tiap variasi campuran .....	186
Gambar 5.24.	Perbandingan nilai stabilitas pada tiap variasi campuran.....	187
Gambar 5.25.	Perbandingan nilai flow pada tiap variasi campuran .....	188
Gambar 5.26.	Perbandingan stabilitas sisa pada tiap variasi .....	189
Gambar 6.1.	Alat pengujian Modulus Resilien.....	194
Gambar 6.2.	Perbandingan hasil Smix sampel Aspen, LP 7 dan LP 9 .....	196

Gambar 6.3. Perbandingan hasil Smix sampel LP 7, LP 7-50RHA, LP 7-100RHA .....	197
Gambar 6.4. Perbandingan hasil Smix sampel LP 9, LP 9-50RHA, LP 9-100RHA .....	199
Gambar 6.5. Pengaruh penggunaan LP dan RHA terhadap kepekaan suhu hasil pengujian Modulus Resilien .....	200
Gambar 6.6. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Metode Bonnaure (1977) .....	204
Gambar 6.7. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Metode Bonnaure (1977) setelah penyesuaian.....	205
Gambar 6.8. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Nottingham (1984) .....	206
Gambar 6.9. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Metode Nottingham (1984) setelah penyesuaian .....	207
Gambar 6.10. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Shell (2003) .....	208
Gambar 6.11. Perbandingan nilai Smix hasil pengujian (UTM 30) dengan Smix hasil Metode Shell (2003) setelah penyesuaian .....	209
Gambar 6.12. Perbandingan hasil model usulan dengan hasil uji.....	218
Gambar 7.1. Alat UTM 30 dengan pengujian ITFT .....	222
Gambar 7.2. Grafik hubungan antara deformasi horizontal dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7 dan LP 9.....	224
Gambar 7.3. Grafik hubungan antara kumulatif horizontal strain dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7 dan LP 9.....	224
Gambar 7.4. Grafik hubungan modulus resilien dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7 dan LP 9 .....	225
Gambar 7.5. Grafik hubungan antara deformasi horizontal dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7, LP 7-50RHA dan LP 7-100RHA.....	227
Gambar 7.6. Grafik hubungan antara kumulatif horizontal strain dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7, LP 7-50RHA dan LP 7-100RHA.....	227

Gambar 7.7. Grafik hubungan modulus resilien dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 7, LP 7-50RHA dan LP 7-100RHA .....	228
Gambar 7.8. Grafik hubungan antara deformasi horizontal dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 9, LP 9-50RHA dan LP 9-100RHA .....	230
Gambar 7.9. Grafik hubungan antara kumulatif horizontal strain dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 9, LP 9-50RHA dan LP 9-100RHA .....	230
Gambar 7.10. Grafik hubungan modulus resilien dengan jumlah pengulangan beban untuk sampel Aspen, LP 9, LP 9-50RHA dan LP 9-100RHA .....	231
Gambar 7.11. Perbandingan initial strain untuk campuran usulan .....	232
Gambar 7.12. Perbandingan hasil perhitungan Model Shell dengan hasil pengujian di laboratorium.....	234
Gambar 7.13. Grafik hubungan antara $N_f$ dengan Strain dari hasil perbandingan Model Shell dengan hasil pengujian.....	235
Gambar 7.14. Perbandingan hasil perhitungan Model Asphalt Institute dengan hasil pengujian di laboratorium .....	237
Gambar 7.15. Grafik hubungan antara $N_f$ dengan Strain dari hasil perbandingan Model Asphalt Institute dengan hasil pengujian.....	238

## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 1.1. Sifat Fisika Abu Sekam Padi .....	2
Tabel 1.2. Sifat Kimia Abu Sekam Padi .....	2
Tabel 1.3. Penelusuran (tracking) penelitian mengenai aspal karet.....	17
Tabel 1.4. Penelusuran (tracking) penelitian mengenai aspal dan abu sekam padi.....	19
Tabel 1.5. Penelusuran (tracking) penelitian mengenai aspal karet dan abu sekam padi.....	21
Tabel 1.6. Pemetaan terhadap penggunaan jenis pengujian laboratorium...	23
Tabel 1.7. Posisi Penelitian.....	25
Tabel 1.8. Persamaan dan Perbedaan terhadap penelitian sebelumnya.....	28
Tabel 1.9. Persamaan dan Perbedaan terhadap penelitian sebelumnya (lanjutan) .....	32
Tabel 1.10. Perkiraan Persentase Lateks dari berbagai penelitian sejenis ....	35
Tabel.1.11. Perkiraan Persentase Abu sekam padi dari penelitian sejenis ...	36
Tabel 1.12. Potensi Campuran beraspal karet RHA dari berbagai penelitian	36
Tabel 2.1. Jenis pengujian agregat.....	46
Tabel 2.2. Kandungan karet alam .....	52
Tabel 2.3. Kandungan kimia berbagai jenis abu batu .....	62
Tabel 2.4. Persentase Kandungan Komponen Fisik pada Sekam Padi (%).	62
Tabel 2.5. Komposisi kimia abu sekam padi pada temperatur berbeda.....	65
Tabel 2.6. Literatur tentang morfologi fraktur .....	74
Tabel 3.1. Pengujian sifat bahan aspal.....	83
Tabel 3.2. Format hasil pengujian bahan aspal.....	84
Tabel 3.3. Gradasi agregat yang digunakan.....	85
Tabel 3.4. Pengujian agregat.....	86
Tabel 3.5. Studi terdahulu teknik pencampuran aspal dan karet alam.....	87
Tabel 3.6. Jumlah sampel aspal + lateks pravulkanisasi .....	88
Tabel 3.7. Variasi sampel pengujian reologi aspal suhu 25 <sup>0</sup> C.....	88

Tabel 3.8.	Variasi sampel pengujian reologi aspal suhu 41 <sup>0</sup> C.....	89
Tabel 3.9.	Variasi sampel pengujian reologi aspal suhu 60 <sup>0</sup> C.....	90
Tabel 3.10	Format Hasil Pengujian Marshall untuk kondisi 1 .....	91
Tabel 3.11.	Variasi sampel pengujian Marshall untuk kondisi 2.....	92
Tabel 3.12.	Format Hasil Pengujian Marshall untuk kondisi 2 .....	92
Tabel 3.13.	Variasi sampel pengujian Marshall untuk kondisi 3 .....	93
Tabel 3.14.	Format Hasil Pengujian Marshall untuk kondisi 3 .....	93
Tabel 3.15.	Variasi sampel pengujian Marshall untuk kondisi 4 .....	94
Tabel 3.16.	Format Hasil Pengujian Marshall untuk kondisi 4 .....	95
Tabel 3.17.	Variasi sampel untuk pengujian modulus resilien .....	97
Tabel 3.18.	Variasi sampel pengujian ketahanan kelelahan (fatigue) .....	97
Tabel 3.19.	Model Modulus Kekakuan (Smix) .....	98
Tabel 3.20.	Model Kelelahan (Nf).....	99
Tabel 4.1.	Hasil pengujian sifat kimia lateks pravulkanisasi.....	103
Tabel 4.2.	Hasil pengujian aspal penetrasi.....	103
Tabel 4.3.	Hasil pengujian reologi aspal penetrasi (As-Pen).....	107
Tabel 4.4.	Temperatur kritis aspal penetrasi (As-Pen) .....	109
Tabel 4.5.	Pengujian karakteristik fisika aspal dengan lateks pravulkanisasi (LP) .....	110
Tabel 4.6.	Hasil pengujian reologi aspal dengan 7% LP .....	113
Tabel 4.7.	Hasil pengujian reologi aspal dengan 9% LP .....	113
Tabel 4.8.	Temperatur kritis aspal dengan 7% LP dan 9% LP .....	115
Tabel 4.9.	Bentuk variabel dan data untuk pembentukan model.....	129
Tabel 4.10.	Hasil analisis regresi .....	130
Tabel 5.1.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (Sampel Batu Pecah).....	133
Tabel 5.2.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (Sampel Screen 1-1).....	134
Tabel 5.3.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Sampel Abu Batu) .....	134
Tabel 5.4.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Sampel Pasir Sungai).....	134

Tabel 5.5.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (Sampel Batu Pecah).....	135
Tabel 5.6.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Kasar (Sampel Screen 1-1).....	136
Tabel 5.7.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Sampel Abu Batu) .....	136
Tabel 5.8.	Hasil pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Air Agregat Halus (Sampel Pasir Sungai).....	136
Tabel 5.9.	Hasil Pengujian Analisa Saringan.....	138
Tabel 5.10.	Hasil pengujian sifat kimia lateks pravulkanisasi.....	139
Tabel 5.11.	Pengujian komposisi kimia dengan XRF (abu batu) .....	140
Tabel 5.12.	Pengujian komposisi kimia dengan XRF (abu sekam padi) .....	141
Tabel 5.13.	Hasil pengujian berat jenis abu batu (SNI 1964-2008).....	146
Tabel 5.14.	Hasil pengujian berat jenis abu sekam padi (SNI 1964-2008).....	146
Tabel 5.15.	Hasil perhitungan batas kadar aspal rencana .....	147
Tabel 5.16.	Rencana gradasi campuran AC-WC .....	148
Tabel 5.17.	Komposisi berat tertahan rancangan gradasi AC-WC .....	149
Tabel 5.18.	Hasil rekap pengujian Marshall Sampel Aspen, LP 7 dan LP 9...	150
Tabel 5.19.	Penentuan KAO sampel Aspen.....	152
Tabel 5.20.	Penentuan KAO sampel LP 7% .....	152
Tabel 5.21.	Penentuan KAO sampel LP 9% .....	152
Tabel 5.22.	Hasil pengujian Marshall untuk sampel KAO (Aspen, LP 7 dan LP 9) .....	153
Tabel 5.23.	Hasil pengujian Marshall yang menggunakan As-Pen .....	155
Tabel 5.24.	Hasil pengujian Marshall yang menggunakan LP 7% .....	156
Tabel 5.25.	Hasil pengujian Marshall yang menggunakan LP 9% .....	157
Tabel 5.26.	Hasil rekap pengujian Marshall yang menggunakan aspal penetrasi dan abu sekam padi.....	159
Tabel 5.27.	Penentuan KAO untuk sampel Aspen-50RHA .....	162
Tabel 5.28.	Penentuan KAO untuk sampel Aspen-75RHA.....	162
Tabel 5.29.	Penentuan KAO untuk sampel Aspen-100RHA.....	162



Tabel 5.30. Hasil pengujian Marshall pada sampel KAO (Aspen, Aspen-50RHA, Aspen-75RHA dan Aspen-100RHA) .....	163
Tabel 5.31. Hasil pengujian Marshall Aspen-50RHA .....	165
Tabel 5.32. Hasil pengujian Marshall Aspen-75RHA .....	166
Tabel 5.33. Hasil pengujian Marshall Aspen-100RHA .....	167
Tabel 5.34. Hasil rekap pengujian Marshall yang menggunakan LP 7 dan abu sekam padi .....	169
Tabel 5.35. Penentuan KAO LP 7 – 50RHA .....	172
Tabel 5.36. Penentuan KAO LP 7 – 75RHA .....	172
Tabel 5.37. Penentuan KAO LP 7 – 100RHA .....	172
Tabel 5.38. Hasil pengujian Marshall LP7 – 50RHA .....	173
Tabel 5.39. Hasil pengujian Marshall LP7 – 75RHA .....	174
Tabel 5.40. Hasil pengujian Marshall LP7 – 100RHA .....	175
Tabel 5.41. Hasil pengujian Marshall pada sampel KAO (LP7, LP7-50RHA, LP7-75RHA dan LP7-100RHA) .....	176
Tabel 5.42. Hasil rekap pengujian Marshall yang menggunakan LP 9 dan abu sekam padi .....	178
Tabel 5.43. Penentuan KAO Sampel LP 9 -50RHA.....	179
Tabel 5.44. Penentuan KAO Sampel LP 9 -75RHA.....	179
Tabel 5.45. Penentuan KAO Sampel LP 9 -100RHA.....	181
Tabel 5.46. Hasil pengujian Marshall LP9 – 50RHA .....	182
Tabel 5.47. Hasil pengujian Marshall LP9 – 75RHA .....	183
Tabel 5.48. Hasil pengujian Marshall LP9 – 100RHA .....	184
Tabel 5.49. Hasil pengujian Marshall pada sampel KAO (LP9, LP9-50RHA, LP9-75RHA dan LP9-100RHA) .....	185
Tabel 5.50. Hasil ringkasan pengujian Marshall yang masuk dalam spesifikasi.....	191
Tabel 6.1. Hasil pengujian Smix untuk sampel Aspen, LP 7 dan LP 9 .....	195
Tabel 6.2. Hasil pengujian Smix untuk sampel LP 7, LP 7-50RHA, LP 7-100RHA .....	196
Tabel 6.3. Hasil pengujian Smix untuk sampel LP 9, LP 9-50RHA, LP 9-100RHA .....	198

Tabel 6.4. Data pengembangan model modulus resilien campuran (Smix) pada suhu normal (25°C).....	202
Tabel 6.5. Data pengembangan model modulus resilien campuran (Smix) pada suhu perkerasan (40°C).....	203
Tabel 6.6. Perbandingan hasil Smix laboratorium dengan model teoritis .....	210
Tabel 6.7. Perbandingan model prediksi modulus resilien campuran dengan penelitian yang dilakukan.....	211
Tabel 6.8. Bentuk modifikasi pengembangan model matematis .....	213
Tabel 6.9. Hasil analisis regresi pengembangan model modulus resilien campuran .....	215
Tabel 6.10. Perbandingan model matematis dengan model lainnya.....	219
Tabel 7.1. Hasil pengujian <i>fatigue</i> pada sampel Aspen, LP 7 dan LP 9 .....	223
Tabel 7.2. Hasil pengujian <i>fatigue</i> pada sampel LP 7, LP 7-50RHA and LP 7-100RHA .....	226
Tabel 7.3. Hasil pengujian <i>fatigue</i> pada sampel LP 9, LP 9-50RHA and LP 9-100RHA .....	229
Tabel 7.4. Data masukan untuk pengembangan model ketahanan <i>fatigue</i> pada suhu 20°C .....	235
Tabel 7.5. Perbandingan rasio hasil pengujian <i>fatigue</i> dengan model teoritis	238
Tabel 7.6. Perbandingan model teoritis <i>fatigue</i> dengan hasil laboratorium.....	239
Tabel 7.7. Bentuk modifikasi pengembangan model matematis ketahanan kelelahan .....	241
Tabel 7.8. Hasil analisis regresi pengembangan model ketahanan kelelahan..	244
Tabel 7.9. Perbandingan rasio model usulan dengan model teoritis.....	247

## DAFTAR RUMUS

	Halaman
Persamaan 2.1. ....	56
Persamaan 2.2. ....	56
Persamaan 2.3. ....	58
Persamaan 2.4. ....	58
Persamaan 2.5. ....	58
Persamaan 2.6. ....	58
Persamaan 2.7. ....	58
Persamaan 2.8. ....	59
Persamaan 2.9. ....	59
Persamaan 2.10. ....	59
Persamaan 2.11. ....	60
Persamaan 2.12. ....	60
Persamaan 2.13. ....	67
Persamaan 2.14. ....	67
Persamaan 2.15. ....	67
Persamaan 2.16. ....	67
Persamaan 2.17. ....	68
Persamaan 2.18. ....	68
Persamaan 2.19. ....	76
Persamaan 3.1. ....	90

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1. Latar Belakang

Setiap tahun, padi ditanam dan diproduksi dalam jumlah besar di seluruh dunia. Indonesia sebagai salah satu negara besar agraris di Asia Tenggara memiliki banyak lahan pertanian padi [BPS, 2021] dengan luas panen padi mencapai sekitar 10,41 juta hektar dengan produksi sebesar 54,42 juta ton GKG (Gabah Kering Giling) dan Provinsi Sumatera Selatan mempunyai lahan pertanian padi seluas 496.241,65 hektar dengan produksi sebesar 2,55 juta ton terbesar di pulau Sumatera.

Produksi beras Indonesia pada tahun 2021 mencapai 31,36 juta ton sehingga menyebabkan tingginya produksi beras yang selanjutnya menghasilkan sekam padi dalam jumlah besar di pabrik penggilingan padi. Sekam padi merupakan salah satu residu pertanian utama yang diperoleh dari lapisan luar butiran beras selama proses penggilingan. Sebagai contoh, untuk setiap 1000 kg lahan padi menghasilkan 220 kg sekam padi atau persentasenya sekitar 20 % dari berat padi dan dari berat sekam padi tersebut sekitar 20 % nya menghasilkan abu sekam padi atau *Rice Husk Ash* (RHA) [Pode, 2016]. Sayangnya, karena sekam padi mengandung sejumlah kecil protein dan banyak kandungan abu [Alaaeldin dkk, 2019], sebagian besar dibakar, dikubur, atau dibuang ke air sebagai bahan limbah yang menyebabkan polusi udara, pencemaran air, dan dampak yang signifikan terhadap ekosistem lokal. Selain itu juga menyebabkan banyak masalah seperti masalah tempat pembuangan dan pencemaran lingkungan.

Penggunaan limbah dalam sektor konstruksi jalan juga menjadi isu penting dalam beberapa tahun belakangan ini. Salah satunya adalah mengganti atau mengubah komposisi agregat ataupun bahan pengisi (*filler*) serta menambah bahan polimer alam, sehingga perkerasan beraspal dapat menjadi konstruksi hijau, berkelanjutan dan ramah lingkungan yang pada akhirnya akan melestarikan alam dengan mengurangi kebutuhan penggunaan bahan dari sumber alam galian [Bethary dkk, 2019].

Abu sekam padi semula dianggap tidak memiliki manfaat atau kegunaan selama bertahun-tahun. Beberapa tahun belakangan ini, dikarenakan terjadinya peningkatan dampak polusi dan harga bahan bangunan naik maka beberapa peneliti telah berminat untuk menyelidiki bidang penelitian ini dalam mendapatkan metode pemanfaatan potensi abu sekam padi [Fernandes dkk, 2017]. Abu sekam padi sebagai contoh telah digunakan oleh beberapa peneliti sebagai stabilisator tanah karena tanah sering rapuh dan memiliki stabilitas yang rendah untuk beban berat [Karatai dkk, 2017], selanjutnya abu sekam padi dimanfaatkan juga sebagai bahan pengisi di industri beton [Le dkk, 2016; Ahsan dkk, 2018; Islam dkk, 2018].

Meskipun abu sekam padi telah diterapkan secara luas di beberapa bidang terutama di campuran beton dan telah juga digunakan dalam campuran beraspal panas sebagai pengisi [Jaya dkk, 2018; Mistry dkk, 2019], namun masih sedikit informasi yang tersedia dalam literatur tentang efek abu sekam padi pada sifat fisik dan reologi aspal sebagai bahan pengikat. Menurut beberapa penelitian dengan menambahkan abu sekam padi ke aspal pengikat menyebabkan peningkatan titik lembek, viskositas, dan faktor alur [ $G^*/\sin(\delta)$ ] serta mengurangi daktilitas dan penetrasi [Cai dkk, 2013; Arabani dkk, 2017]. Penelitian Sargim dkk, 2013 mendapatkan hasil sifat fisika dan kimia dari abu sekam padi yaitu:

Tabel 1.1. Sifat Fisika Abu Sekam Padi

Pozzolan	Specific Surface ( $\text{cm}^2/\text{g}$ )	Specific gravity ( $\text{g}/\text{cm}^3$ )
RHA	2312	2.67

Sumber: Sargim dkk, 2013

Tabel 1.2. Sifat Kimia Abu Sekam Padi

SiO <sub>2</sub>	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	CaO	MgO	SO <sub>3</sub>
90.89	0.93	0.47	1.25	0.81	0.17
K <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Na <sub>2</sub> O	Loss on aggravation (%)		Insoluble residue	
2.34	-	3.14		-	

Sumber: Sargim dkk, 2013

Abu sekam padi (*Rice Husk Ash/HRA*) dari hasil pembakaran terdiri dari silika dan sisa karbon hitam. Abu sekam padi merupakan bahan limbah yang menarik karena memiliki kandungan silika yang tinggi dengan kadar yang cukup tinggi dan sebagai bahan anorganik yang telah digunakan secara intensif. Adapun partikel utamanya adalah silika amorf yang secara jelas ditunjukkan dalam analisis mineralogi, dimana di tabel 1.1 dan tabel 1.2 menunjukkan bahwa RHA mengandung lebih dari 90% silika dan mempunyai sifat kimia dengan luas permukaan tinggi serta daya absorpsi yang kuat sehingga memiliki potensi yang baik. Silika terbaik yang diperoleh adalah silika amorf dengan kemurnian tinggi [Ngoc N.N. dkk, 2018]. Penelitian dari [Shen dkk, 2011] melaporkan bahwa untuk memperoleh silika dengan kemurnian dan reaktivitas kimia yang tinggi pada sekam padi maka perlu dilakukan pengendalian suhu pemanasan di 800°C.

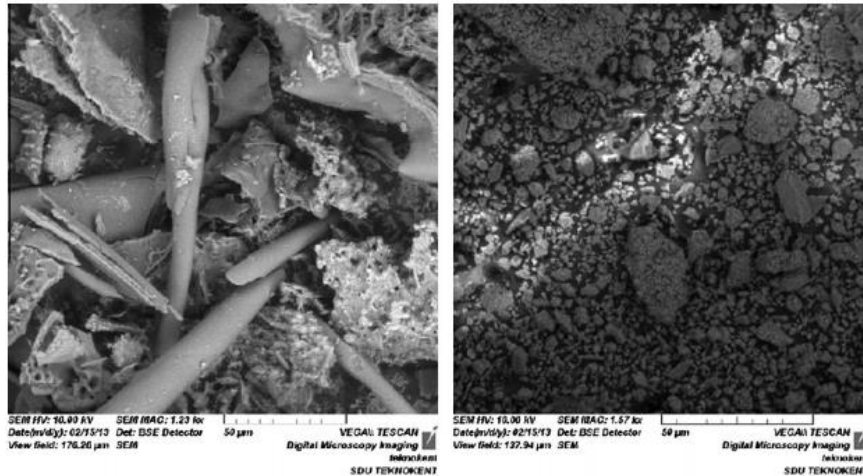
Penelitian penggunaan silika dalam campuran beraspal panas telah dilakukan oleh [Tan dkk, 2009] yang memiliki potensi dapat mengurangi rongga udara dan meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung dan modulus kekakuan tarik tidak langsung dari campuran beraspal panas. Selain itu penambahan silika dapat meningkatkan kohesi dan viskositas aspal yang baik pada kinerja suhu tinggi. [Abdualib dkk, 2015] juga melaporkan bahwa penggunaan bahan pengisi (*filler*) seperti silika fume memiliki kemampuan untuk meningkatkan ketahanan penuaan oksidatif aspal dan meningkatkan kinerja suhu aspal. Sehingga penggunaan abu sekam padi sendiri dapat dijadikan alternatif pengganti pengisi (*filler*) mineral konvensional dalam campuran beraspal panas beton terutama di daerah yang terdapat limbah sekam padi yang banyak [Al-Hdabi dkk, 2016].

Menurut ASTM C-618, parameter yang sangat diperhitungkan dalam campuran beraspal panas adalah kandungan  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3$ . Kekuatan jalan dapat dipengaruhi oleh keberadaan oksida ini karena unsur yang mengandung silikat dan alumuniat mempunyai kecenderungan sifat pozzolan yang dapat mengikat agregat, sehingga dapat memperkuat perkerasan.

Hasil Scanning Electron Microscopy (SEM) pada Gambar 1.1 dibawah ini memperlihatkan partikel dari sampel batu kapur berbentuk granular sedangkan partikel sampel abu sekam padi berbentuk grading gabungan (*non-spherical and non-agglomerated regular-shaped particles*), sehingga diharapkan dapat lebih

meningkatkan *engineering properties* seperti mencegah terjadinya retak akibat gesekan internal pada campuran beraspal.

- a. Abu sekam padi (grading gabungan)    b. Abu batu (granular)



Sumber: Sargim, dkk., 2013

Gambar 1.1. Perbandingan Gradasi dari Hasil Analisa SEM untuk Abu sekam dan Abu batu

Adapun Aspal itu sendiri merupakan polimer alam dengan berat molekul rendah yang terutama digunakan sebagai bahan pengikat, yang dihasilkan melalui distilasi fraksional minyak mentah dan perengkahan katalitik hidrokarbon [Sembiring dkk, 2021]. Aspal memiliki sifat viskositas yang unik, elastisitas, tahan air, perekat yang baik dan sifat impermeabilitas yang tinggi, namun seiring dengan waktu dan kondisi lingkungan sekitar, aspal akan mengalami kerusakan. Untuk mengatasi hal tersebut maka diperlukan modifikasi aspal dalam memperbaiki sifat tersebut. Aspal polimer merupakan modifikasi aspal yang menggunakan bahan tambahan salah satunya karet. Penambahan polimer jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki reologi aspal dan memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari aspal penetrasi.

Karet alam merupakan senyawa hidrokarbon yang dihasilkan melalui pengumpulan getah dari penyadapan pohon *havea brasiliensis* yang berasal dari Asia Selatan yang umum digunakan sebagai produk manufaktur baik sendiri maupun dikombinasikan dengan bahan yang lain [Jarurat dkk, 2021]. Indonesia

merupakan salah satu produsen dan eksportir karet alam terbesar di dunia selain Malaysia dan Thailand. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS), produksi karet nasional pada 2020 sebesar 2,8 juta ton. Turun 12,6% dari tahun sebelumnya yang berjumlah 3,3 juta ton. Provinsi penghasil karet terbesar tahun 2020 adalah Sumatera Selatan, dengan produksi 804,8 ribu ton atau 28,7% dari total produksi karet nasional.

Kondisi sekarang ini, akibat rendahnya permintaan ekspor karet mentah menyebabkan kelebihan pasokan di dalam negeri dan berimbas pada turunnya harga karet nasional. Untuk mengatasi hal tersebut, Pemerintah melalui Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat berupaya untuk memanfaatkan potensi karet di sektor infrastruktur, salah satunya dengan mengolah karet sebagai bahan tambahan untuk produksi aspal (aspal karet) demi meningkatkan konsumsi karet dalam negeri. Penggunaan karet untuk campuran beraspal panas atau aspal karet dapat digunakan untuk preservasi jalan sepanjang 355.988 kilometer. Penerapan campuran beraspal panas karet ini telah dilakukan pada tahun 2019 sepanjang 33-kilometer jalan di Provinsi Sumatera Selatan dengan menggunakan filler konvensional yaitu semen maupun abu batu.

Adapun penelitian terhadap jenis karet yang telah digunakan dalam modifikasi campuran beraspal panas diantaranya:

- 1) Siswanto, H., dkk., (2019); Prastanto, H., dkk., (2019); Paotong, P., dkk., (2019); Poovaneshvaran, S., dkk., (2020); Al-Sabaei, A.M., dkk., (2020); Wititanapanit, J., (2021); Jitsangiam, P., dkk., (2020); menggunakan karet jenis lateks dalam campuran beraspal panas dengan hasil pengujian dapat meningkatkan reologi aspal seperti viskositas dan elastisitas serta stabilitas Marshall.
- 2) Poovaneshvaran, dkk., (2020); dan Al-Sabaei, dkk., (2020) juga menggunakan karet jenis *crumb rubber* dalam modifikasi beraspal panas dengan diperoleh hasil penelitian meningkatkan modulus kompleks, ketahanan alur dan kinerja suhu tinggi.

Karet alam yang banyak diteliti pemanfaatannya sebagai bahan modifikasi beraspal panas adalah karet alam cair berupa lateks karena lebih mudah dalam



proses pencampurannya. Pemerintah Indonesia telah mengeluarkan Pedoman Perancangan Campuran Beraspal Panas yang Mengandung Karet Alam Nomor 04/SE/M/2019 oleh Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Pedoman tersebut telah menetapkan penggunaan Lateks Pravulkanisasi yaitu berupa kompon lateks hasil pencampuran lateks pekat dengan bahan kimia vulkanisasi. Penerapan campuran beraspal panas karet ini telah dilakukan pada tahun 2019 sepanjang 33-kilometer jalan di Provinsi Sumatera Selatan dengan menggunakan filler konvensional yaitu semen maupun abu batu. Jika filler konvensional ini dapat digantikan dengan abu sekam padi maka berpotensi mengurangi biaya produksi aspal karet. Penelitian penggunaan abu sekam padi pada campuran beraspal panas karet belum banyak dilakukan oleh peneliti terdahulu sehingga diperlukan informasi tambahan terkait penelitian tersebut. Adapun penelitian pemanfaatan abu sekam padi sebagai filler dalam campuran beraspal panas karet diantaranya:

- 1) Alaaeldin A.A, dkk., (2019) melakukan penelitian mengenai efek penggunaan abu sekam padi dan *crumb rubber* terhadap performa aspal. Jenis karet yang digunakan adalah *crumb rubber* dengan dosis 5%, 10% dan 15% sedangkan dosis abu sekam padi yang digunakan sebesar 1%, 4% dan 7% terhadap berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan abu sekam padi berpengaruh positif terhadap kinerja suhu tinggi dengan peningkatan titik melembek, viskositas, modulus kompleks dan faktor alur (*rutting*).
- 2) Zhen Lu, dkk., (2020) melakukan penelitian untuk mengetahui pengaruh penambahan karet jenis *Styrene Butadine Sterene* (SBS) dan abu sekam padi terhadap reologi aspal dan campuran beraspal panas pada kinerja suhu tinggi. Kandungan abu sekam padi yang digunakan sebesar 0%, 2%, 5%, 10% dan 15% terhadap berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan modifikasi campuran beraspal panas memiliki stabilitas dan kinerja yang baik pada suhu tinggi dengan kandungan abu sekam padi tidak boleh lebih tinggi dari 15%.

Beberapa penelitian mengenai abu sekam padi dalam campuran beraspal panas karet menggunakan jenis karet *crumb rubber* dan SBS, sehingga belum ada peneliti lain yang menguji penggunaan abu sekam padi dengan campuran beraspal

panas karet jenis lateks pravulkanisasi. Untuk melengkapi pengetahuan dan informasi mengenai karakteristik campuran beraspal panas karet dan abu sekam padi maka penelitian ini menggunakan karet jenis lateks pravulkanisasi pada campuran lapis permukaan bergradasi Aspal beton Lapis Aus (*Asphalt Concrete–Wearing Course/AC-WC*). Penggunaan karet lateks pravulkanisasi dalam penelitian ini merupakan salah satu gap penelitian.

Penelitian yang diusulkan dilakukan sebagai upaya untuk mempelajari pengaruh penambahan kombinasi abu sekam padi dan karet lateks pravulkanisasi terhadap kinerja bahan pengikat aspal. Pemilihan lateks pravulkanisasi didasarkan pada kemudahan dalam pencampuran beraspal panas dan pemanfaatan produk lokal yang dapat diproduksi oleh petani. Pengikat aspal yang dimodifikasi dengan abu sekam padi dan lateks pravulkanisasi berpotensi meningkatkan kinerja yang lebih baik dibandingkan dengan pengikat aspal konvensional yang belum ditunjukkan oleh penelitian sebelumnya. Untuk melihat perilaku campuran beraspal panas akibat penambahan abu sekam padi dan karet alam lateks pravulkanisasi terhadap kinerja bahan pengikat aspal pada suhu tinggi melalui berbagai pengujian laboratorium secara makrostruktur dan mikrostruktur.

Pengujian makrostruktur antara lain; penetrasi, titik melembek, viskositas, titik nyala dan titik bakar, daktilitas, DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) dan performa campuran beraspal panas. Pengujian yang dilakukan antara lain metode empiris dengan pengujian Marshall, sedangkan untuk metode mekanistiknya berdasarkan pengujian modulus resilien dengan alat UMATTA dan pengujian kelelahan dengan alat *Beam Fatigue Apparatus* menggunakan metoda pengujian 4 (empat) titik pembebanan (*Four Points Loading*).

Menurut Peerapong dkk, 2021 untuk menentukan kadar optimum karet yang digunakan tidak cukup hanya pengujian secara makrostruktur saja, sehingga diperlukan pengujian secara mikrostruktur yang dapat menganalisis perilaku karet dengan aspal. Selain itu perilaku reologi aspal sangat bergantung pada interaksi kimia dan mikromorfologi berbagai zat di dalamnya termasuk penyelidikan komposisi kimia pada skala mikro. Adapun pengujian mikrostruktur yaitu XRF (*X-Ray Fluoresence*), XRD (*X-Ray Diffraction*), BET (Brunauer-Emmett-Teller) dan pengujian SEM (*Scanning Electron Microscope*). Pengujian mikrostruktur juga

dimaksudkan untuk mengumpulkan informasi mengenai dispersi/sebaran pengisi (abu sekam padi dan aspal) dan kualitas ikatan antar muka (*interfacial bounding quality*) antara pengisi dan karet lateks. Adapun Pengujian BET bertujuan untuk mengetahui karakteristik filler dan untuk mengetahui ukuran luas permukaan serta pori-pori filler.

Teori elastisitas yang digunakan untuk modulus elastisitas dalam perkerasan beraspal disebut Modulus Resilien. Hal ini dikarenakan kebanyakan material untuk perkerasan jalan tidak bersifat elastis sempurna, dimana setelah menerima pengulangan beban kendaraan, material ini akan dapat mengalami deformasi permanen, akan tetapi bila beban berulang yang dialami relatif kecil, maka deformasi yang terjadi pada masing-masing pengulangan beban hampir kembali secara sempurna (*nearly complete recoverable*) dan proporsional terhadap beban [AASHTO, 1993]. Saat kondisi demikian maka material tersebut dapat dipertimbangkan sebagai material yang elastis.

Desain perkerasan lentur jalan ini menggunakan pendekatan mekanistik yaitu suatu pendekatan yang mempelajari fenomena dan penyebab fisik. Dimana Fenomena adalah tegangan, regangan dan lendutan yang terjadi didalam struktur perkerasan tersebut. Sedangkan penyebab fisik adalah beban lalu lintas dan faktor lingkungan sekitar. Adapun hubungan antara fenomena dan penyebab fisik dapat dijelaskan dalam model matematis. Parameter utamanya adalah modulus resilien dan ketahanan kelelahan (*fatigue*). Contohnya, antara aspal dan karet memiliki tingkat adhesi yang tinggi dan dapat memperlambat potensi retak yang terjadi sehingga dapat meningkatkan ketahanan campuran beraspal panas terhadap kelelahan.

Memperhatikan semua pembahasan diatas, maka diperlukan penelitian lebih lanjut untuk melihat bagaimana bentuk pengembangan model perilaku campuran beraspal panas yang menggunakan Lateks Pravulkanisasi dan RHA sebagai alternatif bahan perkerasan lentur jalan melalui evaluasi kinerja dan penyusunan model matematis modulus resilien dan ketahanan kelelahan (*fatigue*).

## 1.2. Pernyataan Masalah

Modifikasi aspal dengan karet mampu meningkatkan performa dan kinerja campuran beraspal panas terutama pada ketahanan terhadap suhu dan ketahanan kelelahan. Penggunaan karet dalam campuran beraspal panas telah dilakukan oleh peneliti terdahulu seperti karet alam lateks dan karet alam padat. Pemberian bahan tambah polimer diharapkan memberikan peningkatan pada sifat-sifat fisik aspal seperti kepekaan terhadap stabilitas yang lebih besar dari aspal konvensional atau aspal penetrasi 60/70. Campuran beraspal panas karet yang sering digunakan menggunakan filler konvensional yaitu abu batu dan semen, namun bahan tersebut merupakan bahan yang tak terbarukan.

AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*) merupakan lapis perkerasan yang terletak paling atas berfungsi sebagai lapisan aus sehingga diperlukan kepadatan yang tinggi. Untuk mencapai hal tersebut maka diperlukan modifikasi gradasi agregat dengan menggunakan bahan pengisi (*filler*) yang sesuai. Dalam hal ini diusulkan abu sekam padi sebagai bahan alternatif filler yang terbarukan.

Berdasarkan penjelasan latar belakang penelitian di atas, maka dapat dirumuskan beberapa masalah sebagai berikut:

- 1) Bagaimana pengaruh Lateks Pravulkanisasi terhadap reologi aspal sebagai bahan substitusi aspal?
- 2) Bagaimana menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran beraspal panas Aspal beton-Lapis aus/AC<sub>NR</sub>-WC<sub>NR</sub> (*Asphalt Concrete-Wearing*) yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya dengan pengujian Marshall?
- 3) Bagaimana mengevaluasi Modulus Resilien dari campuran beraspal AC<sub>NR</sub>-WC<sub>NR</sub> yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya?
- 4) Bagaimana mengevaluasi ketahanan kelelahan (*fatigue*) dari campuran beraspal AC<sub>NR</sub>-WC<sub>NR</sub> yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya?
- 5) Bagaimana bentuk pengembangan model matematis Modulus Resilien dan Kelelahan dari campuran beraspal AC<sub>NR</sub>-WC<sub>NR</sub> yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya?

### 1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan utama dari penelitian ini adalah menentukan model optimum penggunaan abu sekam padi sebagai bahan pengisi dan lateks pravulkanisasi sebagai bahan substitusi aspal terhadap kinerja mekanistik dari campuran beraspal panas. Tujuan khusus dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Menganalisis pengaruh Lateks Pravulkanisasi terhadap reologi aspal sebagai bahan substitusi aspal
- 2) Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran beraspal panas  $AC_{NR}-WC_{NR}$  yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya dengan pengujian Marshall
- 3) Mengevaluasi Modulus Resilien dari campuran beraspal panas  $AC_{NR}-WC_{NR}$  yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya.
- 4) Mengevaluasi ketahanan kelelahan (*fatigue*) dari campuran beraspal panas  $AC_{NR}-WC_{NR}$  yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya.
- 5) Pengembangan model matematis modulus resilien dan ketahanan kelelahan (*fatigue*) dari campuran beraspal panas  $AC_{NR}-WC_{NR}$  yang menggunakan RHA, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya.

### 1.4. Ruang lingkup Penelitian

Memperhatikan tujuan penelitian yang ingin dicapai, maka lingkup penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1) Melakukan pengujian karakteristik agregat, aspal modifikasi dengan karet Lateks Pravulkanisasi dan abu sekam padi.
- 2) Melakukan aktivasi dengan cara pembakaran terkendali terhadap sekam padi menjadi abu sekam padi untuk meningkatkan kemampuan modifiernya.
- 3) Melakukan analisis untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO) dari campuran beraspal panas  $AC_{NR}-WC_{NR}$  yang menggunakan abu sekam padi, Lateks Pravulkanisasi dan kombinasi dari keduanya dengan pengujian Marshall.
- 4) Pengujian kinerja campuran beraspal panas karet lateks pravulkanisasi dengan abu sekam padi dengan pengujian modulus resilien dengan alat UTM

(*Universal Testing Material*) untuk mengetahui modulus kekakuan campuran secara mekanistik.

- 5) Pengujian kinerja campuran beraspal panas karet lateks pravulkanisasi dengan abu sekam padi melalui pengujian ketahanan kelelahan (*fatigue cracking*) atau retak lelah dengan alat uji ITFT (*indirect tensile fatigue testing*).
- 6) Melakukan pengembangan model matematis modulus resilien dan ketahanan kelelahan (*fatigue*) campuran dengan persamaan regresi linier berganda.

### 1.5. Batasan Penelitian

Agar penelitian ini terfokus pada penyelesaian masalah maka perlu diberikan batasan-batasan sebagai berikut:

- 1) Penelitian dilakukan di Laboratorium Perkerasan Jalan Raya Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya dan lainnya.
- 2) Aspal yang digunakan adalah aspal penetrasi 60/70 produksi PT Aspal Bangun Sarana.
- 3) Karet yang digunakan berupa lateks pravulkanisasi yang diperoleh dari Puslitbang Jalan dan Jembatan PT. Mastic Utama Sarana merk Vulatex.
- 4) Sekam padi diperoleh dari daerah kawasan pertanian Pegayut, Jakabaring, Kabupaten Banyuasin, Provinsi Sumatera Selatan.
- 5) Agregat kasar yang digunakan berupa batu pecah yang berasal dari daerah Musi II Kota Palembang sedangkan agregat halus menggunakan pasir sungai Musi.
- 6) Komposisi lateks pravulkanisasi dengan kadar 0% dan 7%% terhadap berat aspal sebagai substitusi aspal. Sedangkan untuk abu sekam padi sebagai pengganti filler dengan kadar 50%, 75% dan 100% terhadap berat abu batu sebagai kontrol.
- 7) Metode penelitian makrostruktur berkaitan dengan pemeriksaan sifat fisik sampel dengan pengujian : penetrasi, titik lembek, viskositas, daktilitas, DSR (*Dynamic Shear Rheometer*), Pengujian Marshall, Pengujian Modulus Resilien dengan UTM, serta Pengujian ketahanan Kelelahan dengan alat uji ITFT (*indirect tensile fatigue test*).

- 8) Metode penelitian mikrostruktur berkaitan dengan interaksi kimia pada benda uji yang dapat ditinjau oleh pengujian SEM-EDS (*Scanning Electron Microscope Energy Dispersive System*), XRD (*X-Ray Diffraction*) dan XRF (*X-Ray Fluorescence*).

## DAFTAR PUSTAKA

- Abdelmagid, A. A., & Pei Feng, C. (2019). Evaluating the effect of rice-husk ash and crumb-rubber powder on the high-temperature performance of asphalt binder. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 31(12), 04019296.
- Abutalib, N., Fini, E.H., Aflaki, S and Abu-Lebdeh, T.M, (2015). Investigating Effects of Application of Silica Fume to Reduce Asphalt Oxidative Aging, *American Journal of Engineering and Applied Sciences*, 8 (1), 176.184 doi: 10.3844/ajeassp.2015.176.184.
- Ahsan, M. B., and Z. Hossain. (2018). Supplemental use of rice husk ash (RHA) as a cementitious material in concrete industry. *Constr. Build. Mater.* 178 (Jul): 1-9. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.101>.
- Alaaeldin A. A. Abdelmagid and Cheng Pei Feng. (2019). Evaluating the Effect of Rice-Husk Ash and Crumb-Rubber Powder on the High-Temperature Performance of Asphalt Binder. *J. Mater. Civ. Eng.*, 31(12): 04019296.
- Al-Hdabi, A. (2016). Laboratory investigation on the properties of asphalt concrete mixture with Rice Husk Ash as filler. *Construction and Building Materials*, 126, 544-551.
- Al-Sabaeei, A. M., Agus Mustofa, B., Sutanto, M. H., Sunarjono, S., & Bala, N. (2020). Aging and Rheological Properties of Latex and Crumb Rubber Modified Bitumen Using Dynamic Shear Rheometer. *Journal of Engineering & Technological Sciences*, 52(3).
- Ameli, A., Babagoli, R., Norouzi, N., Jalali, F., & Mamaghani, F. P. (2020). Laboratory evaluation of the effect of coal waste ash (CWA) and rice husk ash (RHA) on performance of asphalt mastics and Stone matrix asphalt (SMA) mixture. *Construction and Building Materials*, 236, 117557.
- Ansari A.H, F M Jakarni, R Muniandy, and S Hassim. A review on the application of natural rubber as asphalt Modifier. *International Conference on Road and Airfield Pavement Technologies 2019 (ICPT 2019)*. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 1075 (2021) 012031. IOP Publishing. doi:10.1088/1757-899X/1075/1/012031.
- Anwaar Hazoor Ansari, Fauzan Mohd Jakarni, Ratnasamy Muniandy, Salihudin Hassim, Zafreen Elahi. Natural rubber as a renewable and sustainable bio-modifier for pavement applications: A review *Journal of Cleaner Production* 289 (2021) 125727.



- Arabani, M., and S. A. Tahami. 2017. Assessment of mechanical properties of rice husk ash modified asphalt mixture. *Constr. Build. Mater.* 149 (Sep) : 350-358. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.127>.
- Badan Pusat Statistik (2021). Luas Panen dan Produksi Padi di Indonesia 2021 (Angka Sementara). *Berita Resmi Statistik No.77/10/Th. XXIV*, 15 Oktober 2021.
- Bakheit, I., & Xiaoming, H. (2019). Modification of the dry method for mixing crumb rubber modifier with aggregate and asphalt based on the binder mix design. *Construction and Building Materials*, 220, 278-284.
- Bethary, R. T., & Intari, D. E. (2021). Modulus Resilien Campuran Beraspal Modifikasi Polimer Ac-Wc Menggunakan Filler Gypsum. *Jurnal Transportasi*, 21(3), 165–172-165–172.
- Cai, J., Y.J. Xue, L. Wan, S. P. Wu, and K. Jenkins. (2013). Study on basic properties and high-temperature performance of rice-husk-ash modified-asphalt. *Appl. Mech. Mater.* 333-335: 1889-1894. <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/AMM.333-335.1889>.
- Caroles, L. (2021). Hubungan Nilai Modulus Kekakuan Pada Alat Marshall Test Terhadap Alat Light Weight Deflectometer (Lwd) Laboratorium. Universitas Hasanuddin,
- Chen, Z., Pei, J., Wang, T., & Amirghanian, S. (2019). High temperature rheological characteristics of activated crumb rubber modified asphalts. *Construction and Building Materials*, 194, 122-131.
- Cui, W., Wu, K., Cai, X., Tang, H., & Huang, W. (2020). Optimizing gradation design for ultra-thin wearing course asphalt. *Materials*, 13(1), 189.
- Kadarsa E, Ardi Virgo Nino Putra, Melawaty Agustien. (2020). Use of Latex as a Renewable and Sustainable Asphalt Mixture Material. *International Journal of Innovative Science and Research Technology*. Volume 5, Issue 4, April – 2020. ISSN No:-2456-2165.
- Fernandes, I. J., F. A. L. Sánchez, J. R. Jurado, A. G. Kieling, T. L. A. C. Rocha, C. A. M. Moraes, and V. C. Sousa. 2017. “Physical, chemical and electric characterization of thermally treated rice husk ash and its potential application as ceramic raw material.” *Adv. Powder Technol.* 28 (4): 1228–1236. <https://doi.org/10.1016/j.apt.2017.02.009>.
- Fini E.H, P. Hajikarimi, M. Rahi, F. Moghadas Nejad, Physiochemical, rheological, and oxidative aging characteristics of asphalt binder in the presence of mesoporous silica nanoparticles, *J. Mater. Civ. Eng.* 28 (2) (2015) 04015133.

- Goldstein J, D.E. Newbury, P. Echlin, D.C. Joy, A.D. Romig Jr, C.E. Lyman, E. Lifshin (2012). *Scanning Electron Microscopy and X-ray Microanalysis: A Text for Biologists, Materials Scientists, and Geologists*, Springer Science & Business Media.
- Guo, F., Zhang, J., Pei, J., Zhou, B., Falchetto, A. C., & Hu, Z. (2020). Investigating the interaction behavior between asphalt binder and rubber in rubber asphalt by molecular dynamics simulation. *Construction and Building Materials*, 252, 118956.
- Hunter, R. N., Self, A., Read, J., & Hobson, E. (2015). *The shell bitumen handbook (Vol. 514)*: Ice Publishing London, UK:.
- Islam, K. T., M. B. Ahsan, and Z. Hossain. 2018. "Use of rice hull ash (RHA) as a sustainable source of construction materials." In *Proc., Tran-SET Conf. 2018*, 141–145. Longview, TX: Transportation Consortium of South-Central States.
- Jarurat Wititanapanit, Juan S. Carvajal-Munoz, Gordon Airey. Performance-related and rheological characterisation of natural rubber modified bitumen. *Construction and Building Materials* 268 (2021) 121058.
- Jaya, R. P., M. R. Hainin, N. A. Hassan, H. Yaacob, M. K. I. M. Satar, M. N. M. Warid, A. Mohamed, M. E. Abdullah, and N. I. Ramli. 2018. "Marshall stability properties of asphalt mixture incorporating black rice husk ash." In *Vol. 5 of Proc., 3rd Int. Conf. on Green Chemical Engineering and Technology*, 22056–22062. Amsterdam, Netherlands: Elsevier.
- Jitsangiam, P., Nusit, K., Phenrat, T., Kumlai, S., & Pra-ai, S. (2021). An examination of natural rubber modified asphalt: Effects of rubber latex contents based on macro-and micro-observation analyses. *Construction and Building Materials*, 289, 123158.
- Karatai, T. R., J. W. Kaluli, C. Kabubo, and G. Thiong'o. 2017. "Soil stabilization using rice husk ash and natural lime as an alternative to cutting and filling in road construction." *J. Constr. Eng. Manage.* 143 (5): 04016127. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001235](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001235).
- Kuity A, A. Das, Homogeneity of filler distribution within asphalt mix—a microscopic study, *Constr. Build. Mater.* 95 (2015) 497–505.
- Le, H. T., and H. M. Ludwig. 2016. "Effect of rice husk ash and other mineral admixtures on properties of self-compacting high performance concrete." *Mater. Des.* 89 (Jan): 156–166. <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2015.09.120>.

- Li, P., Ding, Z., Zou, P., & Sun, A. (2017). Analysis of physico-chemical properties for crumb rubber in process of asphalt modification. *Construction and Building Materials*, 138, 418-426.
- Lu, Z., Sha, A., Wang, W., & Gao, J. (2020). Studying the Properties of SBS/Rice Husk Ash-Modified Asphalt Binder and Mixture. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2020.
- Ludwig Reimer (2013). *Scanning Electron Microscopy: Physics of Image Formation and Microanalysis*, vol. 45, Springer.
- Mikhailenko P (2015). Valorization of by-products and Products From Agro-industry for the Development of Release and Rejuvenating Agents for Bituminous Materials (Doctoral dissertation), Université Paul Sabatier-Toulouse III.
- Mistry R, S. Karmakar, T. Kumar Roy, Experimental evaluation of rice husk ash and fly ash as alternative fillers in hot-mix asphalt, *Road Mater. Pavement Des.* 20 (4) (2019) 979–990.
- Mithil Mazumder, Raju Ahmed, Ahmed Wajahat Ali, Soon-Jae Lee (2018). SEM and ESEM techniques used for analysis of asphalt binder and mixture: A state of the art review. *Construction and Building Materials* 186 313–329
- Ilmiah, Rihnatul (2017) *Pengaruh Penambahan Abu Sekam Padi Sebagai Pozzolan Pada Binder Geopolimer Menggunakan Alkali Aktifator Sodium Silikat ( $Na_2SiO_3$ ) Serta Sodium Hidroksida ( $NaOH$ )*. Diploma thesis, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.
- Ngoc, N.N., Le Xuan, T., La The, V., Bui Thi, V.A. (2018), High-purity amorphous silica from rice husk: Preparation and characterization, *Vietnam Journal of Chemistry*, 56(6), 730-736, doi.org/10.1002/ vjch.201800079.
- Paotong, P., Jaritngam, S., & Taneerananon, P. (2020). Use of Natural Rubber Latex (NRL) in Improving Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Engineering Journal*, 24(2), 53-62.
- Papagiannakis, A. T., & Masad, E. A. (2008). *Pavement design and materials*: John Wiley & Sons.
- Pode, R. (2016). Potential application of rice husk ash waste from rice husk biomass power plant. *Renewable Sustainable Energy Rev.* 53 (Jan) : 1468-1485. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2015.09.051>.
- Poovaneshvaran, S., Hasan, M. R. M., & Jaya, R. P. (2020). Impacts of recycled crumb rubber powder and natural rubber latex on the modified asphalt

- rheological behaviour, bonding, and resistance to shear. *Construction and Building Materials*, 234, 117357.
- Prastanto, H., Firdaus, Y., Puspitasari, S., Ramadhan, A., & Falaah, A. F. (2019, April). Study of physical characteristic of rubberized hot mix asphalt based on various dosage of natural rubber latex and solid rubber. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 509, No. 1, p. 012049). IOP Publishing.
- Ramadhan, A., Puspitasari, S., Prastanto, H., Falaah, A. F., Maspanger, D. R., Andriani, W., & Firdaus, Y. (2020, June). Development of Rubberized Asphalt Technology Based on Asphalt Cement (AC Pen 60) and Fresh Natural Rubber in Indonesia. In *Macromolecular Symposia* (Vol. 391, No. 1, p. 2000075).
- Rahman, Harmein, & Zega, R. T. (2018). Analisis Kesesuaian Model Modulus Aspal dan Campuran Laston Lapis Aus untuk Aspal Modifikasi Asbuton Murni. *J. Tek. Sipil ITB*, 25(1), 71-80.
- Rianto, R. H. (2007). Pengaruh Abu Sekam Sebagai Bahan Filler Terhadap Karakteristik Campuran Aspal Emulsi Bergradasi Rapat (CEBR) (Doctoral dissertation, Tesis Universitas Diponegoro. 1-85).
- Rodríguez-Fernández, I., Baheri, F. T., Cavalli, M. C., Poulidakos, L. D., & Bueno, M. (2020). Microstructure analysis and mechanical performance of crumb rubber modified asphalt concrete using the dry process. *Construction and Building Materials*, 259, 119662.
- Sargin, Ş., Saltan, M., Morova, N., Serin, S., & Terzi, S. (2013). Evaluation of rice husk ash as filler in hot mix asphalt concrete. *Construction and Building Materials*, 48, 390-397.
- Saowapark W, Jubsilp C, Rimdusit S (2019). Natural rubber latex-modified asphalts for pavement application: effects of phosphoric acid and sulphur addition. *Road Mater. Pavement Des.*, 20, 211–24.
- Shen, J., Liu, X., Zhu, S., Zhang, H., Tan, J. (2011). Effects of calcination parameters on the silica phase of original and leached rice husk ash, *Materials Letters*, 65(8), 1179-1183, doi: 10.1016/j.matlet.2011.01.034.
- Sembiring S, A. Riyanto, I. Firdaus, Junaidi, R. Situmeang. (2021). ICASMI 2020 Journal of Physics: Conference Series 1751 012071 IOP Publishing doi:10.1088/1742-6596/1751/1/012071.
- Singh B, L. Kumar, M. Gupta, M. Chauhan, G.S. Chauhan, Effect of activated crumb rubber on the properties of crumb rubber-modified bitumen, *J. Appl.*

- Polym. Sci. 129 (5) (2013) 2821–2831.
- Siswanto, H. E. N. R. I. (2019). Effect of latex to minimize the use of asphalt in asphalt concrete wearing course. In *Materials Science Forum* (Vol. 961, pp. 39-44). Trans Tech Publications Ltd.
- Sobolev K, I.F. Vivian, R. Saha, N.M. Wasiuddin, N.E. Saltibus (2014). The effect of fly ash on the rheological properties of bituminous materials, *Fuel* 116 (2014) 471–477.
- Sukirman S (2016). *Beton aspal campuran panas*. Institut Teknologi Nasional. Bandung.
- Tahami, S. A., Mirhosseini, A. F., Dessouky, S., Mork, H., & Kavussi, A. (2019). The use of high content of fine crumb rubber in asphalt mixes using dry process. *Construction and Building Materials*, 222, 643-653.
- Tan, Y.Q., Shan, L.Y. and Fang, J. (2009). Anti-cracking mechanism of diatomite asphalt and diatomite asphalt mixture at low temperature, *Journal of Southeast University*, 25 (1),74-78.
- Underwood B.S, Y.R. Kim, Microstructural investigation of asphalt concrete for performing multiscale experimental studies, *Int. J. Pavement Eng.* 14 (5) (2013) 498–516.
- Vasavi Swetha, D, K DR (2014). Effect of natural rubber on the properties of bitumen and bituminous mixes. *Int. J. Civ. Eng. Technol.*, 5, 976–6308.
- Venudharan, V., Biligiri, K. P., & Das, N. C. (2018). Investigations on behavioral characteristics of asphalt binder with crumb rubber modification: Rheological and thermo-chemical approach. *Construction and Building Materials*, 181, 455-464.
- Wang L, Y. Xing, C. Chang, Microscopic and dynamic rheological characteristics of crumb rubber modified asphalt, *J. Wuhan Univ. Technol. Mater. Sci. Ed.* 25 (6) (2010) 1022–1026.
- Wen Y, Wang Y, Zhao K and Sumalee A (2017). The use of natural rubber latex as a renewable and sustainable modifier of asphalt binder *Int. J. Pavement Eng.* 18 6 547-59.
- Whiteside P.J, J.A. Chininis, H.K. Hunt (2016). Techniques and challenges for characterizing metal thin films with applications in photonics, *Coatings* 6 (3) 35.

- Wititanapanit, J., Carvajal-Munoz, J. S., & Airey, G. (2021). Performance-related and rheological characterisation of natural rubber modified bitumen. *Construction and Building Materials*, 268, 121058.
- Xiao F, Amirkhanian S, Wang H, Hao P (2014). Rheological property investigations for polymer and polyphosphoric acid modified asphalt binders at high temperatures. *Constr. Build. Mater.*, 64, 316–23.
- Yang Leng (2009). *Materials Characterization: Introduction to Microscopic and Spectroscopic Methods*, John Wiley & Sons.
- Yao H, Z. You, L. Li, C.H. Lee, D. Wingard, Y.K. Yap, S.W. Goh, Rheological properties and chemical bonding of asphalt modified with nanosilica, *J. Mater. Civ. Eng.* 25 (11) (2012) 1619–1630.
- Yusoff N.I.M, A.A.S. Breem, H.N. Alattug, A. Hamim, J. Ahmad, The effects of moisture susceptibility and ageing conditions on nano-silica/polymer modified asphalt mixtures, *Constr. Build. Mater.* 72 (2014) 139–147.
- Zhang F, Hu C (2013). The research for SBS and SBR compound modified asphalts with polyphosphoric acid and sulfur. *Constr. Build. Mater.*, 43, 461–8.
- Zborowski A, Kaloush KE (2007). Predictive Equations to Evaluate Thermal Fracture of Asphalt Rubber Mixtures. *Road Mater. Pavement Des.*, 8, 819–33.