

TUGAS AKHIR

STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIAWI

DARI *REJUVENATING AGENT* DAN *RECYCLED*

ASPHALT BINDER



SEPTIA RIADHOTUSSOLIHAH

03011281621054

PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS SRIWIJAYA

2021

TUGAS AKHIR

STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIA WI DARI *REJUVENATING AGENT* DAN *RECYCLED ASPHALT BINDER*

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik
pada Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya**



SEPTIA RIADHOTUSSOLIHAH

03011281621054

**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
JURUSAN TEKNIK SIPIL DAN PERENCANAAN
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS SRIWIJAYA
2021**

HALAMAN PENGESAHAN

STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIAWI DARI BAHAN REJUVENATING AGENT DAN RECYCLED ASPHALT BINDER

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mendapatkan Gelar Sarjana Teknik

Oleh:

SEPTIA RIADHOTUSSOLIHAH

03011281621054

Palembang, Januari 2021

Diperiksa dan disetujui oleh,

Dosen Pembimbing I,

Dosen Pembimbing II,

Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc., Ph. D.

NIP. 196010301987032003

Prof. Yang Shih-Hsien



KATA PENGANTAR

Puji dan syukur penulis haturkan kehadiran Allah Subhanahu Wa Ta'ala yang telah melimpahkan rahmat, hidayah, dan kesehatan kepada penulis sehingga dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini. Pada kesempatan ini, penulis juga hendak mengucapkan banyak terimakasih kepada pihak-pihak yang telah banyak membantu penyelesaian laporan Tugas Akhir ini, diantaranya:

1. Kepada kedua orang tua dan keluarga dari penulis yang telah memberikan doa, motivasi, semangat dan bantuan nya.
2. Bapak Ir. Helmi Haki, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
3. Ibu Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc., Ph. D. dan Bapak Prof. Yang Shih-Hsien selaku Dosen Pembimbing Tugas Akhir yang selalu memberikan bimbingan, nasihat dan saran dalam proses pembuatan dan penyelesaian tugas akhir.
4. Bapak Anthony Costa S. T., M. T., Bapak Ir. Helmi Haki, M. T. dan Ibu Rhapsyalyani S. T., M. Eng. selaku Dosen Pembimbing Akademik.
5. Bapak/Ibu Dosen Pengudi Sidang Tugas Akhir.
6. Seluruh Dosen Teknik Sipil serta jajaran pegawai Jurusan Teknik Sipil dan Perencanaan Universitas Sriwijaya.
7. Teman-teman angkatan 2016 Sipil Indralaya dan Palembang. Terkhusus untuk Permata Endah Wulandari, Suprianto dan teman-teman yang telah membantu saya dalam pembuatan Tugas Akhir ini.

Penulis berharap semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dalam ilmu Teknik Sipil secara umum dan bidang Penyehatan Lingkungan secara khusus.

Palembang, Januari 2021



Septia Riadhotussolihah

DAFTAR ISI

	Halaman
Halaman Judul	i
Halaman Pengesahan.....	ii
Kata Pengantar	iii
Daftar Isi.....	iv
Daftar Gambar.....	vi
Daftar Tabel	vii
Daftar Lampiran.....	viii
Ringkasan	ix
Summary.....	x
Pernyataan Integritas	xi
Halaman Persetujuan	xii
Pernyataan Persetujuan Publikasi	xiii
Riwayat Hidup	xiv
 BAB 1 PENDAHULUAN	 1
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Perumusan Masalah.....	2
1.3. Tujuan Penelitian.....	2
1.4. Ruang Lingkup Penelitian.....	3
 BAB 3 DASAR TEORI.....	 4
2.1. <i>Reclaimed Asphalt Pavement (RAP)</i>	4
2.2. <i>Rejuvenating Agent</i> dan RAB	5
2.3. Simulasi Penuaan Bahan	8
2.3.1. Penuaan Jangka Pendek	9
2.3.2. Pekerjaan Laboratorium pada Simulasi Jangka Panjang	10
2.4. Karakteristik <i>Rejuvenating Agent</i>	13
2.5. Pengujian Karakteristik Bahan.....	14
2.5.1. Karakteristik Fisik	14
2.5.2. Karakteristik Rheologi.....	15

2.5.3. Karakteristik Kimiai	18
2.6. Ringkasan dari Dasar Teori	19
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN.....	20
3.1. Umum	20
3.2. Metodologi Penelitian.....	20
3.2.1. Bahan	21
3.2.2. Persiapan Sampel	22
3.2.3. Simulasi Penuaan Bahan.....	24
3.2.4. Karakteristik Fisik.....	24
3.2.5. Karakteristik Kimiai.....	25
3.3. Analisa Hasil dan Diskusi	26
BAB 4 ANALISIS DAN PEMBAHASAN	28
4.1. Hasil Penelitian	28
4.1.1. Dynamic Shear Rheometer (DSR).....	28
4.1.2. Fourier Transform – Infrared (FT-IR) Spectroscopy	34
4.2. Pembahasan.....	37
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	40
5.1. Kesimpulan	40
5.2. Saran	40
Daftar Pustaka	42
Lampiran	46
Lembar Asistensi.....	70
Berita Acara Sidang Sarjana	72

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Komponen dari Kompleks Modulus (G^*)	16
2.2. Model Burgers	17
3.1. Diagram Alir Tahapan Penelitian	21
3.2. <i>Rejuvenating Agent</i> (1) RA-1 (2) RA-2 (3) Pengujian Material Menggunakan <i>Rotational Viscometer</i>	22
3.3. <i>Vacuum Evaporator</i>	23
3.4. <i>Rotary Evaporator</i>	23
3.5. Pengujian <i>Rolling Thin Film Oven</i> (RTFO).....	24
3.6. <i>Dynamic Shear Rheometer</i>	25
3.7. <i>Fourier Transform – Infrared Spectrometer</i>	26
4.1. <i>Complex Modulus</i> dan <i>Phase Angle</i> - Frekuensi	29
4.2. <i>Mastercurve</i> $ G^*/\sin \delta$ - Frekuensi pada suhu 64°C	30
4.3. <i>Complex Modulus</i> dan <i>Phase Angle</i> - Temperatur.....	31
4.4. $ G^*/\sin \delta$ - Temperatur dari (a) RAB (b) <i>Rejuvenating Agent</i>	32
4.5. Hasil Perhitungan J_{nr} dari Pengujian MSCR.....	33
4.6. Hasil Pengujian FT-IR <i>Spectroscopy</i>	35

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Penelitian Terdahulu Mengenai Simulasi Penuaan Bahan	11
2.2. Spesifikasi dari <i>Rejuvenating Agent</i>	13
3.1. Sifat Bahan	22
3.2. Penamaan Sampel	23
4.1. Hasil Analisa OMNIC <i>Software</i> pada Hasil Pengujian FT-IR	36
4.2. Hasil Perhitungan Penurunan berdasarkan Hasil Pengujian <i>Dynamic Shear Rheometer (a) Frequency Sweep (b) Temperature Sweep</i>	37
4.3. Rumus Indeks Senyawa Kimia pada Material (Nivitha et. al., 2016).....	38
4.4. Nilai Indeks dari Senyawa Kimia pada Material yang Diuji	39

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
A. Penelitian Sebelumnya pada Penambahan <i>Rejuvenating Agent</i> pada RAB.....	47
B. Penelitian Terdahulu pada Sifat Rejuvenating Agent	50
C. ASTM D2872 <i>Standard Test Method for Effect of Heat and Air on a Moving Film of Asphalt (Rolling Thin-Film Oven Test)</i>	54
D. ASTM D7175 <i>Standard Test Method for Determining the Rheological Properties of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer</i>	58
E. ASTM D7405 <i>Standard Test Method for Multiple Stress Creep and Recovery (MSCR) of Asphalt Binder Using a Dynamic Shear Rheometer</i>	67

RINGKASAN

STUDI KARAKTERISTIK FISIK DAN KIMIAWI DARI *REJUVENATING AGENT* DAN *RECYCLED ASPHALT BINDER*

Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir, 11 Januari 2021

Septia Riadhotussolihah; Dibimbing oleh Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc. Ph. D. dan Prof. Yang Shih-Hsien

Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Sriwijaya

xi + 59 halaman, 15 gambar, 8 tabel, 5 lampiran

Sumatera Selatan adalah provinsi terbesar keenam di Indonesia dengan total panjang dari jalan yang ada di provinsi ini adalah sekitar 1513.65 km. Jalan ini tentunya akan membutuhkan peningkatan mutu seiring dengan bertambahnya waktu penggunaan jalan tersebut. Salah satu cara untuk meningkatkan mutu tersebut adalah dengan menggunakan zat aditif yang disebut sebagai *rejuvenating agent* yang ditambahkan kedalam *Recycled Asphalt Binder* (RAB). Tujuan dari pelaksanaan penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik fisik dan kimiawi dari *rejuvenating agent* dan *recycled asphalt binder*. Penelitian ini menggunakan tiga jenis bahan yaitu RAB dan dua jenis *rejuvenating agent* (RA-1 dan RA-2). Lalu, dilakukan *short-term aging* terhadap *rejuvenating agent* untuk mengetahui efeknya terhadap *rejuvenating agent* yang selanjutnya disebut sebagai (RA-1 dan RA-2). Karakteristik dari kelima material lalu diuji dengan menggunakan *Rotational Viscometer*, *Dynamic Shear Rheometer* (DSR), dan *Fourier Transform – Infrared (FT-IR) Spectroscopy*. Berdasarkan dengan hasil analisa, diketahui bahwa nilai viskositas dari RAB adalah 65690 cp, sementara untuk RA-1 dan RA-2 adalah 463.5 cp dan 3094 cp. Berdasarkan tren yang dihasilkan dari pengujian DSR, nilai *rutting parameter* akan berkurang pada RA-1 dan naik pada RA-2 setelah dilaksanakan *short-term aging*. Untuk karakteristik kimiawi, setelah menghitung indeks dari luasan hasil FT-IR *Spectroscopy*, diketahui bahwa kelima material mengandung banyak senyawa alifatik dan aromatik.

Kata kunci: DSR, FT-IR, RAB, *Rejuvenator*, *Viscometer*

SUMMARY

STUDY OF PHYSICAL AND CHEMICAL PROPERTIES OF REJUVENATING AGENT AND RECYCLED ASPHALT BINDER

Septia Riadhotussolihah; Guided by Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc., Ph. D. and Prof. Yang Shih-Hsien

Civil Engineering, Faculty of Engineering, Sriwijaya University

xi+ 59 pages, 15 images, 8 tables, 5 attachments

South Sumatera is the sixth largest province in Indonesia with a total length of road are around 1513.65 km. This road will require an increase in quality when it has been used for a long time. One of them is to use additive called rejuvenating agent into Recycled Asphalt Binder (RAB). The purpose of this study was obtaining the physical and chemical characteristics of the RAB and rejuvenating agent. This study is using three materials which are RAB and two types of rejuvenating agent (RA-1and RA-2). Then, the rejuvenating agent was carried out to short-term aging to determine the effect of it to rejuvenating agent which is called as RA-1 SA and RA-2 SA. The characteristics of the five materials were tested using a Rotational Viscometer, Dynamic Shear Rheometer (DSR) and Fourier transform – Infrared (FT-IR) Spectroscopy. Based on the research findings, it is known that the viscosity value of RAB is 65690 cp, while for RA-1 and RA-2 are 463.5 and 3094 cp. For the trend resulting from DSR testing, the rutting parameter value will decrease in RA-1 and increase in RA-2 after short-term aging is implemented. For chemical characteristics, after calculating the index, it is known that the five materials in this study contain a lot of aliphatic and aromatic compounds.

Keywords: DSR, FT-IR, RAB, Rejuvenator, Viscometer

PERNYATAAN INTEGRITAS

Yang bertanda tangan di bawah ini:

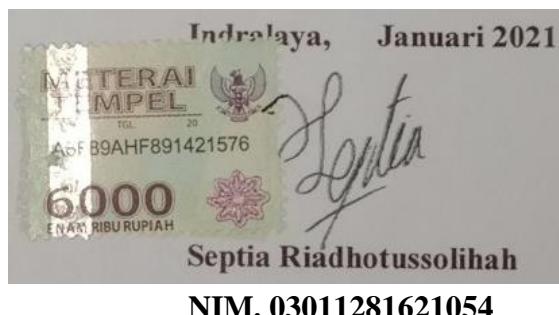
Nama : Septia Riadhotussolihah

NIM : 03011281621054

Judul Tugas Akhir : Studi Karakteristik Fisik dan Kimawi dari Bahan
Rejuvenating Agent dan Recycled Asphalt Binder

Menyatakan bahwa Tugas Akhir saya merupakan hasil karya sendiri didampingi tim pembimbing dan bukan hasil penjiplakan/plagiat. Apabila ditemukan unsur penjiplakan/plagiat dalam Tugas Akhir ini, maka saya bersedia menerima sanksi akademik dari Universitas Sriwijaya sesuai aturan yang berlaku.

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa ada paksaan dari siapapun.



HALAMAN PERSETUJUAN

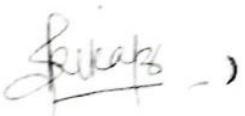
Karya tulis ilmiah berupa Tugas Akhir ini dengan judul "Studi Karakteristik Fisik dan Kimia dari *Rejuvenating Agent* dan *Recycled Asphalt Binder*" yang disusun oleh Septia Riadhotussolihah, 03011281621054 telah dipertahankan di hadapan Tim Penguji Karya Ilmiah Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya pada tanggal 22 Desember 2020.

Palembang, Januari 2021

Tim Penguji Karya Ilmiah berupa Tugas Akhir

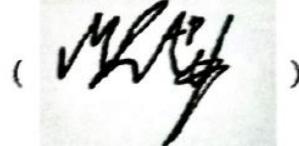
Ketua:

1. Prof. Ir. Hj. Erika Buchari, M. Sc., Ph. D.
NIP. 196010301987032003
2. Prof Yang, Shih-Hsien

()
()

Anggota:

3. Dr. Edi Kadarsa, S. T., M. T.
NIP. 197311032008121003
4. Mirka Pataras, S. T., M. T.
NIP. 198111202008121001
5. Aztri Yuli Kurnia, S. T., M. Eng.
NIP. 198807132012122003
6. Prof. Dr. Eng. Ir. H. Joni Arliansyah, M.T.
NIP. 196706151995121002

()
()
()
()



PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Septia Riadhotussolihah

NIM : 03011281621054

Judul Tugas Akhir : Studi Karakteristik Fisik dan Kimawi dari Bahan
Rejuvenating agent dan Recycled Asphalt Binder

Memberikan izin kepada dosen pembimbing saya dan Universitas Sriwijaya untuk mempublikasikan hasil penelitian saya untuk kepentingan akademik. Apabila dalam waktu satu tahun tidak dipublikasikan karya tulis ini, maka saya setuju menempatkan dosen pembimbing saya sebagai penulis korespondensi (*corresponding author*).

Demikian pernyataan ini saya buat dalam keadaan sadar dan tanpa paksaan dari siapapun.

Indralaya, Januari 2021



Septia Riadhotussolihah

NIM. 03011281621054

RIWAYAT HIDUP

Nama : Septia Riadhotussolihah
Tempat, Tanggal Lahir : Palembang, 11 September 1998
Jenis Kelamin : Perempuan
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Warga Negara : Indonesia
Alamat Rumah : Jl. Ogan 3 No. 1235 Rt. 20 Rw. 05 Lebung Gajah
Kecamatan Sematang Borang Perumnas, Kota Palembang,
Provinsi Sumatera Selatan
Nama Ayah : Harumin
Nama Ibu : Marwiyah
Nomor HP : 081367726341
E-mail : septiariadhotussolihah@gmail.com
Riwayat Pendidikan :

Institusi Pendidikan	Fakultas	Jurusan	Masa
SD Paramount School Palembang	-	-	2004-2010
SMP Negeri 9 Palembang	-	-	2010-2013
SMA Negeri 17 Palembang	-	IPA	2013-2016
Universitas Sriwijaya	Teknik	Teknik Sipil	2016-2020

Demikian riwayat hidup ini saya buat dengan sebenarnya.

Hormat saya,



Septia Riadhotussolihah
NIM. 0301128162

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Indonesia adalah negara yang memiliki 34 provinsi dengan total luas 1,913,578.68 km² (Indonesia, 2015). Salah satu dari provinsi di Indonesia adalah Sumatera Selatan dimana provinsi ini merupakan provinsi terluas keenam di Indonesia. Berdasarkan Badan Pusat Statistik (2019), jumlah panjang jalan di Sumatera Selatan adalah 1513.65 km dan sekitar 21% dari jalan tersebut telah rusak.

Jalan yang telah mengalami kerusakan ini memerlukan pemeliharaan, rehabilitasi, atau rekonstruksi agar jalan tersebut dapat digunakan sebagai sarana publik (Roberts et al., 1991). Metode peningkatan kualitas jalan di Indonesia banyak dilakukan dengan memberikan lapisan perkerasan baru pada jalan karena pembuatannya yang tergolong mudah, cepat, dan lebih ekonomis (Hermawan, 2017). Tetapi, opsi ini dianggap kurang berkelanjutan (*sustainable*) karena orang akan tetap memberikan lapisan baru kepada perkerasan jalan. Jika konstruksi perkerasan jalan akan menggunakan material baru, maka dapat membuat makin banyak emisi. Ma et al. (2016) telah melakukan penelitian mengenai emisi *Greenhouse Gas* (GHG) pada konstruksi perkerasan jalan dimana fase konstruksi yang ditinjau adalah produksi material, fase pencampuran, fase transportasi pencampuran, fase penghamparan, fase kompaksi, dan fase perawatan. Fase yang menghasilkan emisi GHG terbanyak adalah fase pencampuran saat konstruksi perkerasan aspal dan fase produksi material saat konstruksi *cement-stabilized aggregate base/sub-base*.

Terdapat metode lain untuk mengurangi penggunaan perkerasan baru dan *overlay*. Metode ini menggunakan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), yaitu hasil penggilingan dari perkerasan lama yang terdiri dari agregat dan bahan pengikat aspal yang telah lama digunakan atau disebut juga dengan *Recycled Asphalt Binder* (RAB) (Al-Qadi et al., 2007). Menggunakan RAP sebagai perkerasan dianggap lebih ramah lingkungan dan mengurangi emisi GHG. Metode ini juga memberikan dampak yang baik untuk sektor ekonomi karena bahan yang digunakan adalah material yang sudah ada sebagai ganti bahan yang baru. Tetapi,

kekurangan dari RAP adalah sifatnya yang tidak bisa lebih baik dari perkerasan baru karena oksidasi dan viskositas dari RAB lebih tinggi dibanding bahan ikat aspal yang baru (Moghaddam and Baaj, 2016). Berdasarkan Xu dan Wang (2018), kekakuan dan kegetasan dari material RAP dapat diperlembut dengan menggunakan *rejuvenating agent*. Menurut Moghaddam dan Baaj (2016), *rejuvenating agent* adalah bahan tambah untuk memulihkan sifat dari RAB menjadi kondisi yang mirip dengan bahan pengikat yang baru. Terdapat banyak peneliti yang telah melaksanakan studi mengenai karakteristik fisik dan kimiawi menggunakan simulasi penuaan bahan untuk *rejuvenating agent* yang telah dicampurkan dengan RAB (Asli & Karim, 2011; H. F. Haghshenas et al., 2018; Pradyumna et al., 2013). Beberapa penelitian yang telah dilakukan belum banyak dilaksanakan pada RAB dan *rejuvenating agent* secara terpisah, terlebih untuk simulasi penuaan bahan *rejuvenating agent*.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan karakteristik fisik dan kimiawi dari *rejuvenating agent* dan *recycled asphalt binder* secara terpisah untuk mengetahui lebih baik mengenai sifat fisik dan kimiawi dari *rejuvenating agent* baik menggunakan dan tanpa simulasi penuaan bahan beserta *Recycled Asphalt Binder* (RAB). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah dengan pengujian benda uji di laboratorium menggunakan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) dan *Fourier Transform – Infrared (FT-IR) Spectroscopy* dengan hasil pengujian adalah diketahuinya sifat fisik dan kimiawi dari bahan yang akan diuji.

1.2. Perumusan Masalah

Perumusan masalah yang terdapat pada penelitian ini adalah tentang bagaimana karakteristik dari bahan *rejuvenating agent* dan RAB secara terpisah menurut sifat fisik dan kimiawinya maupun pengaruh simulasi penuaan terhadap *rejuvenating agent*.

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari melaksanakan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Untuk menginvestigasi sifat fisik dan kimiawi dari RAB, *rejuvenating agent* komersial dan alami.

2. Untuk menginvestigasi efek dari simulasi penuaan penuaan jangka pendek (*short-term aging*) terhadap *rejuvenating agent*.

1.4. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup dari penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Variabel dari penelitian S1 adalah RAB dan dua jenis *rejuvenating agent* yang didapat dari pasaran (RA-1 and RA-2). Sebagian dari *rejuvenating agent* akan dilaksanakan simulasi penuaan. Untuk jangka pendek, pengujian menggunakan *Rolling Thin Film Oven Test* (RTFOT) yang akan disebut dengan RA-1 SA dan RA-2 SA. Untuk penelitian S2, terdapat satu jenis *rejuvenating agent* lain yang akan diuji yaitu *rejuvenating agent* yang berasal dari bahan limbah. Lalu, penelitian juga akan dilanjutkan dengan menambahkan *rejuvenating agent* kedalam RAB.
2. Pengujian pada penelitian S1 dibagi menjadi dua aspek yaitu aspek fisis dan kimiawi. Pengujian yang akan dilaksanakan dari aspek fisis adalah pengujian rheologi dan viskositas. Karakteristik rheologi akan diuji menggunakan alat *Dynamic Shear Rheometer* (DSR). Alat ini akan menjalankan simulasi *temperature sweep*, *frequency sweep*, dan *creep-recovery*. Untuk pengujian sifat kimiawi akan dilaksanakan menggunakan alat *Fourier Transform – Infrared (FT-IR) Spectroscopy*. Pada penelitian S2, aspek fisis juga akan diketahui melalui *penetration test* dan *softening point test*. Sementara pada aspek kimiawi, penelitian juga akan dilakukan menggunakan alat *Thin Layer Chromatography with Flame Ionized Detection* (TLC-FID), *Gel Permeation Chromatography* (GPC), dan *Nuclear Magnetic Resonance* (NMR).

DAFTAR PUSTAKA

- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M. dan Carpenter, S. H., 2007. *Reclaimed Asphalt Pavement—A Literature Review* (0197-9191).
- Asli, H. dan Karim, M. R., 2011. *Implementation of Waste Cooking Oil as RAP Rejuvenator*. Jurnal dimuat di *Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies Vol. 8 (The 9th International Conference of Eastern Asia Society for Transportation Studies, 2011)*.
- Besamusca, J., Sorensen, A. dan Southwell, C., 2012. *Addressing Ageing Characteristics of Bituminous Binders in Europe*. Jurnal dimuat dalam *Eurasphalt & Eurobitume Congress, 5th, 2012, Istanbul, Turki*.
- Blomberg, T., Makowska, M. dan Pellinen, T., 2016. *Laboratory Simulation of Bitumen Aging and Rejuvenation to Mimic Multiple Cycles Of Reuse*. *Transportation Research Procedia, 14*, 694-703.
- Bowers, B. F., Huang, B. dan Shu, X., 2014. *Refining Laboratory Procedure for Artificial RAP: A Comparative Study*. *Construction and Building Materials, 52*, 385-390.
- Brownridge, J., 2010. *The Role of an Asphalt Rejuvenator in Pavement Preservation: Use and Need for Asphalt Rejuvenation*. Jurnal dimuat dalam *Compendium of Papers From the First International Conference on Pavement Preservation*.
- Controls Group., 2018a. *Advance Pavements Testing Systems RTFOT Rolling Thin-Film Oven. 4*.
- Cortizo, M. dkk , 2004. *Effect of the Thermal Degradation of SBS Copolymers During the Ageing of Modified Asphalts*. *Polymer Degradation and Stability, 86(2)*, 275-282.
- Devulapalli, L., Kothandaraman, S. K. dan Sarang, G., 2019. *A Review on the Mechanisms Involved in Reclaimed Asphalt Pavement*. *International Journal of Pavement Research and Technology, 12(2)*, 185-196.
- Haghshenas, H. dkk, 2016. *Research on High-RAP Asphalt Mixtures with Rejuvenators and WMA Additives*.

- Haghshenas, H. F. dkk, 2018. *Evaluation of Long-Term Effects of Rejuvenation On Reclaimed Binder Properties Based On Chemical-Rheological Tests And Analyses. Materials and Structures*, 51(5), 134.
- Headquarters, A. C., 1996. Air Command Headquarters Site Visit Report 15 Wing Moose Jaw 6-7 August 1996 Material Safety Data Sheet : 00000136. Diambil dari <https://tbisolutionsllc.com/wp-content/uploads/2017/05/PDF-TBISolutionsLLC-Web.pdf>
- Hermawan, L., 2017. Perencanaan Tebal Lapis Tambah (*Overlay*) Berdasarkan Metode Lendutan Balik.
- Indonesia, R., 2015. Peraturan Menteri Dalam Negeri Nomor 56 Tahun 2015 tentang Kode dan Data Wilayah Administrasi Pemerintahan. *Sekretariat Kabinet RI. Jakarta.*
- Jin, J. dkk, 2018. *Structure characteristics of organic bentonite and the effects on rheological and aging properties of asphalt. Powder Technology*, 329, 107-114.
- Khadivar, A. dan Kavussi, A., 2013. *Rheological characteristics of SBR and NR polymer modified bitumen emulsions at average pavement temperatures. Construction and Building Materials*, 47, 1099-1105.
- Lins, V. dkk, 2008. *Photodegradation of Hot-mix Asphalt. Fuel*, 87(15-16), 3254-3261.
- Liu, X. dkk, 2015. *Effect of ultraviolet aging on rheology and chemistry of LDH-modified bitumen. Materials*, 8(8), 5238-5249.
- Lv, S. dkk, 2019. *Fatigue equation for asphalt mixture under low temperature and low loading frequency conditions. Construction and Building Materials*, 211, 1085-1093.
- Macosko, C. W. dan Larson, R. G., 1994. *Rheology: principles, measurements, and applications*.
- Mezger, T. G., 2011. *The Rheology Handbook : for Users of Rotational and Oscillatory Rheometers 3rd Revised Edition (Vol. 3rd edition)*: Vincentz Network GmbH & Co KG.

- Moghaddam, T. B. dan Baaj, H., 2016. *The Use of Rejuvenating Agents in Production of Recycled Hot Mix Asphalt: A Systematic Review.* *Construction and Building Materials*, 114, 805-816.
- Mouillet, V., Farcas, F. dan Besson, S., 2008. *Ageing by UV Radiation of an Elastomer Modified Bitumen.* *Fuel*, 87(12), 2408-2419.
- Nayak, P. dan Sahoo, U. C., 2017. *A Rheological Study on Aged Binder Rejuvenated With Pongamia Oil and Composite Castor Oil.* *International Journal of Pavement Engineering*, 18(7), 595-607.
- Okotore, R., 1998. *Basic Separation Techniques in Biochemistry: New Age International.*
- Ongel, A. dan Hugener, M., 2015. *Impact of Rejuvenators on Aging Properties of Bitumen.* *Construction and Building Materials*, 94, 467-474.
- Pan, P. dkk, 2018. *A Comprehensive Evaluation of Rejuvenator on Mechanical Properties, Durability, and Dynamic Characteristics of Artificially Aged Asphalt Mixture.* *Materials*, 11(9), 1554.
- Pradhan, S. K. dan Sahoo, U. C., 2019. *Performance Assessment of Aged Binder Rejuvenated With Polanga Oil.* *Journal of Traffic and Transportation Engineering (English Edition)*, 6(6), 608-620.
- Pradyumna, T. A., Mittal, A. dan Jain, P., 2013. *Characterization of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Use in Bituminous Road Construction.* *Procedia-Social and Behavioral Sciences*, 104, 1149-1157.
- Roberts, F. L. dkk, 1991. *Hot Mix Asphalt Materials, Mixture Design and Construction.*
- Smith, B. C., 2011. *Fundamentals of Fourier transform infrared spectroscopy:* CRC Press.
- Statistik, B. P., 2016. Statistik lingkungan hidup indonesia. Indonesia: Jakarta.
- Statistik, B. P., 2018. *Length of Road by Type of Surface Indonesia, 1957-2018 (Km).* Diambil dari <https://www.bps.go.id/linkTableDinamis/view/id/820>
- TA Instruments., 2006. *TA Instruments Rheometers*. 36.
- Thermo Fisher Scientific., 2007. *Nicolet FT-IR Spectrometer*. 4.
- Wei, H. dkk, 2019. *Aging Mechanism and Properties of SBS Modified Bitumen Under Complex Environmental Conditions.* *Materials*, 12(7), 1189.

- Wu, H.-C. dan Eamon, C. D., 2017. *Strengthening of Concrete Structures Using Fiber Reinforced Polymers (FRP): Design, Construction and Practical Applications*: Woodhead Publishing.
- Xu, G. dan Wang, H., 2018. *Diffusion and Interaction Mechanism of Rejuvenating Agent With Virgin And Recycled Asphalt Binder: A Molecular Dynamics Study*. *Molecular Simulation*, 44(17), 1433-1443. doi:10.1080/08927022.2018.1515483
- Yu, X. dkk, 2014. *Rheological, Microscopic, and Chemical Characterization of the Rejuvenating Effect on Asphalt Binders*. *Fuel*, 135, 162-171.
- Zadshir, M., Hosseinezhad, S. dan Fini, E. H., 2019. *Deagglomeration of Oxidized Asphaltenes as A Measure of True Rejuvenation for Severely Aged Asphalt Binder*. *Construction and Building Materials*, 209, 416-424.
- Zaumanis, M., Mallick, R. B. dan Frank, R., 2014. *Determining Optimum Rejuvenator Dose for Asphalt Recycling Based on Superpave Performance Grade Specifications*. *Construction and Building Materials*, 69, 159-166.
- Zhang, D., Zhang, H. dan Shi, C., 2017. *Investigation of Aging Performance of SBS Modified Asphalt With Various Aging Methods*. *Construction and Building Materials*, 145, 445-451.
- Zhang, H. dkk, 2018. *Evaluation of Aging Behaviors of Asphalt Binders Through Different Rheological Indices*. *Fuel*, 221, 78-88.
- Zhang, H. dkk, 2011. *Investigation of Microstructures and Ultraviolet Aging Properties of Organo-Montmorillonite/SBS Modified Bitumen*. *Materials Chemistry and Physics*, 129(3), 769-776.