

**ANALISIS KARAKTERISTIK BAHAN PENGIKAT CAMPURAN
PERKERASAN JALAN (ASPAL) DARI LIMBAH PERKERASAN JALAN**

(SKRIPSI)

Oleh

**FADHIL ZHURAHMAN ASRI
NPM 2015011082**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRAK

ANALISIS KARAKTERISTIK BAHAN PENGIKAT CAMPURAN PERKERASAN JALAN (ASPAL) DARI LIMBAH PERKERASAN JALAN

Oleh

FADHIL ZHURAHMAN ASRI

Kelangkaan aspal telah meningkatkan kebutuhan akan sumber daya alternatif yang dapat diandalkan. Penelitian ini mengevaluasi potensi limbah perkerasan jalan sebagai sumber aspal melalui metode ekstraksi dan evaporasi, sehingga didapatkan residu berupa aspal bekas pakai. Karakteristik aspal bekas yang diuji meliputi Berat Jenis, Daktilitas, Penetrasi, Titik Lembek, Kehilangan Berat, RTFOT, DSR, dan viskositas. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai viskositas aspal bekas suhu pemadatan dan suhu pencampuran adalah 145-159 °C dan 173 - 193 °C , sedangkan uji DSR menunjukkan nilai modulus geser sebesar 117 kPa - 5,82 kPa pada suhu 58 °C-82°C. Hasil uji RTFOT menunjukkan kehilangan berat rata-rata sebesar 2,845%. Berat jenis aspal bekas adalah 1,0692. Nilai penetrasi menunjukkan penurunan sebesar 9,33 mm dan daktilitas tidak memenuhi standar dengan nilai 5,75 cm . Titik lembek aspal bekas adalah 75°C berada di atas standar 48°C-58°C. Disarankan penelitian lebih lanjut untuk memperbaiki karakteristik aspal bekas pakai agar dapat memenuhi standar yang ditetapkan dan memberikan kontribusi positif pada pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas.

Kata kunci : Aspal Bekas Pakai, Ekstraksi, Evaporasi, Tes Reologi.

ABSTRACT

ANALYSIS OF BINDER CHARACTERISTICS OF ASPHALT MIXTURES FROM ROAD PAVEMENT WASTE

By

FADHIL ZHURAHMAN ASRI

The scarcity of asphalt has increased the demand for reliable alternative resources. This study evaluates the potential of reclaimed asphalt pavement (RAP) as a source of asphalt through extraction and evaporation methods, resulting in reclaimed asphalt residue. The characteristics of the reclaimed asphalt tested include Specific Gravity, Ductility, Penetration, Softening Point, Weight Loss, RTFOT, DSR, and viscosity. The test results show that the viscosity of the reclaimed asphalt at compaction and mixing temperatures is 145-159 °C and 173-193 °C, respectively, while the DSR test shows a shear modulus value of 117 kPa - 5.82 kPa at temperatures of 58 °C-82°C. The RTFOT test results indicate an average weight loss of 2.845%. The specific gravity of the reclaimed asphalt is 1.0692. The penetration value shows a decrease of 9.33 mm, and the ductility does not meet the standard with a value of 5.75 cm. The softening point of the reclaimed asphalt is 75°C, which is above the standard range of 48°C-58°C. Further research is recommended to improve the characteristics of reclaimed asphalt pavement to meet established standards and contribute positively to the construction of high-quality road infrastructure.

Keywords: Recycled Asphalt Binder (RAB), Extraction, Evaporation, rheology test.

**ANALISIS KARAKTERISTIK BAHAN PENGIKAT CAMPURAN
PERKERASAN JALAN (ASPAL) DARI LIMBAH PERKERASAN JALAN**

Oleh:

FADHIL ZHURAHMA ASRI

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Mencapai Gelar
SARJANA TEKNIK**

Pada

**JURUSAN TEKNIK SIPIL
Fakultas Teknik Universitas Lampung**



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

**Judul Skripsi : ANALISIS KARAKTERISTIK BAHAN
PENGIKAT CAMPURAN PERKERASAN
JALAN (ASPAL) DARI LIMBAH
PERKERASAN JALAN**

Nama Mahasiswa : Fadhil Zhurahman Asri

Nomor Pokok Mahasiswa : 2015011082

Program Studi : Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

MENYETUJUI

1. Komisi Pembimbing

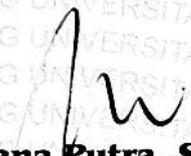

Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002


**Dr. Eng. Ir. Aleksander Purba,
S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**

NIP 19681107 200012 1 001

2. Ketua Jurusan Teknik Sipil


Sasana Putra, S.T., M.T.

NIP 19691111 200003 1 002

3. Ketua Program Studi Teknik Sipil


Dr. Suyadi, S.T., M.T.

NIP 19741225 200501 1 003

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Sasana Putra, S.T., M.T.

**Sekretaris : Dr. Eng. Ir. Aleksander Purba,
S.T., M.T., IPM., ASEAN Eng.**

**Penguji
Bukan Pembimbing : Dr. Ir. Rahayu Sulistyorini, S.T., M.T.**

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Ir. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.)

NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 30 Juli 2024

(Handwritten signatures and initials)

LEMBAR PERNYATAAN

Dengan ini menyatakan sebenarnya bahwa:

1. Skripsi yang berjudul analisis karakteristik bahan pengikat campuran perkerasan jalan (aspal) dari limbah perkerasan jalan didapat dari Ide Pembimbing I. Skripsi ini berupa penelitian yang tidak melakukan penjiplakan atau pengutipan atas karya penulis lain atau yang disebut dengan plagiarisme.
2. Hak intelektual atas karya ilmiah tersebut diserahkan sepenuhnya kepada para dosen peneliti tersebut dan Universitas Lampung.

Atas pernyataan di atas, jika di kemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung sanksi yang diberikan kepada saya dan saya sanggup dituntut sesuai hukum yang berlaku.

Bandar Lampung, Juli 2024



Fadhil Zhurahman Asri

RIWAYAT HIDUP



Penulis dilahirkan di Kota Banjarmasin pada tanggal 03 Februari 2002. Penulis merupakan anak ketiga dari tiga bersaudara, putri dari Bapak Ir. Asri Alnas dan Ibu Dwi Alfina. Penulis merupakan tiga bersaudara dengan memiliki 2 orang kakak bernama Fauzan Oktavian dan Fiona Amalia

Penulis memulai pendidikan di TK Indocement Tarjun dan melanjutkan pendidikan sekolah dasar di SD Kartika yang diselesaikan pada tahun 2014. Pada tahun 2017, penulis menyelesaikan pendidikan Sekolah Menengah Pertama di SMPN 7 Bandar Lampung dan melanjutkan Sekolah Menengah Atas di SMAN 3 Bandar Lampung yang diselesaikan pada tahun 2020. Penulis diterima sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil, Universitas Lampung pada tahun 2020.

Pada Juni 2023, penulis mengikuti Kerja Praktik pada Proyek Pembangunan Gedung Kantor Pelayanan Pajak Pratama Natar Lampung. Sedangkan pada Januari – Februari 2023, penulis mengikuti Kuliah Kerja Nyata di Desa Marang, Pesisir Barat. Pada tahun 2022 sampai 2024 penulis tercatat sebagai anggota Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung sebagai anggota Departemen Penelitian dan Pengembangan. Penulis juga tercatat sebagai Pembimbing Mahasiswa Baru pada pengakderan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil (HIMATEKS) Universitas Lampung pada periode 2022/2023.

Selama masa perkuliahan, penulis pernah diangkat menjadi Koordinator pada acara *Civil Brings Revolution* (CBR) yang kedelepan pada tahun 2023. Selanjutnya, penulis mengambil tugas akhir untuk skripsi pada tahun 2023, dengan judul skripsi Analisis Karakteristik Bahan Pengikat Campuran Perkerasan Jalan (Aspal) Dari Limbah Perkerasan Jalan.

PERSEMBAHAN

Alhamdulillahhirabbilalamin, Kuucapkan Syukur atas Karunia-Mu dan Dengan Segala Kerendahan Hati meraih Ridho Illahi Robbi dan syafaat nabi Muhammad SAW, Kupersembahkan karya Kecilku ini untuk orang-orang yang aku sayangi

Bapak dan Ibuku

Kedua orang tua, Bapak Ir. Asri Alnas dan Ibu Dwi Alfina. yang telah memberikan cinta, dukungan, doa yang besar dan pengorbanan yang tak terhingga. Terima kasih telah memberikan saya kekuatan dan semangat untuk menyelesaikan studi ini

Abang dan uniku Tersayang

Untuk panutanku abang tersayang yang sudah memberikan motivasi dan Uniku yang selalu ada di sisi saya dalam suka dan duka, memberikan semangat serta hiburan.

Dosen Teknik Sipil

Yang telah memberikan ilmu dan petunjuk selama proses belajar mengajar ini. Tidak lelah untuk memberi ilmu serta membimbing hingga terselesainya skripsi ini.

Diri Saya Sendiri

Skripsi ini saya persembahkan untuk diri saya sendiri, sebagai bukti usaha dan kerja keras saya dalam menyelesaikan studi ini.

MOTTO

“Karena sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan.”

(Q.S. Al-Insyirah: 5-6)

“Kalau sudah hebat untuk menyakiti orang lain, berarti sudah cukup kuat menerima balasannya”

(Q.S. AL Isra: 7)

“You're on your own kid, you always have been”
(Kamu punya diri kamu sendiri, ingat selalu akan hal itu)

(Taylor Swift - You're on your own kid)

“Cintamu boleh gagal, tetapi studi dan karirmu harus super. Karena sukses mengundang cinta yang berkelas.”

(Unknown)

SANWACANA

Atas berkat rahmat hidayat Allah S.W.T. dengan mengucapkan puja – puji syukur Alhamdulillah, penulis mampu menyelesaikan skripsi yang berjudul “Analisis Karakteristik Bahan Pengikat Campuran Perkerasan Jalan (Aspal) Dari Limbah Perkerasan Jalan (Uji Laboratorium)” sebagai salah satu syarat dalam mendapatkan gelar Sarjana Teknik Sipil di Universitas Lampung. Diharapkan dengan terselesainya skripsi ini, penulis mampu memberikan hasil mengenai Karakteristik aspal bekas pakai sebagai referensi dan pengembangan ilmu pengetahuan di bidang perkerasan jalan. Pada penyusunan laporan, penulis mendapatkan banyak bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis mengucapkan banyak terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., I.P.M, selaku Rektor Universitas Lampung sekaligus Dosen Teknik Sipil.
2. Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc., selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
3. Bapak Sasana Putra, S.T., M.T., selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung sekaligus Dosen Pembimbing Utama yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan bimbingan dan pengarahan dalam proses penyelesaian skripsi. Diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi, dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Saya berharap semua kebaikan yang telah Bapak berikan akan selalu membawa berkah bagi Bapak dan seluruh keluarga.
4. Dr.Eng., Ir Aleksander Purba, S.T., M.T.,IPM.,ASEAN Eng. selaku Dosen Pembimbing Kedua yang sudah meluangkan waktunya dalam memberikan arahan, bimbingan, dan dukungannya dalam proses penyelesaian skripsi. Diucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya atas pengetahuan, ide, inspirasi,

dan petunjuk yang sangat berharga, khususnya dalam proses penyelesaian skripsi ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih atas kebaikan hati, pemahaman, dan kesabaran yang telah diberikan selama proses penulisan ini. Saya berharap semua kebaikan yang telah Bapak berikan akan selalu membawa berkah bagi Bapak dan seluruh keluarga.

5. Ibu Dr. Rahayu Sulistiyorini, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang selalu mampu memberikan pengetahuan baru, masukan, serta kritik dan saran yang sangat bermanfaat baik dalam proses perkuliahan maupun dalam proses penyusunan skripsi ini. Semoga segala kebaikan Ibu akan selalu membawa keberkahan bagi Ibu dan Keluarga..
6. Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang sudah memberikan ilmu dan wawasan yang bermanfaat dalam proses pembelajaran agar lebih baik kedepannya.
7. Seluruh staf dari Laboratorium Jalan Raya (Mas Ihsan, Mas Andi dan Pak Suroto) yang sudah memberikan fasilitas sarana prasarana dalam menunjang penelitian serta memberikan saran, dukungan serta bimbingan selama kami melakukan penelitian.
8. Kedua orang tuaku tercinta, Bapak Ir Asri Alnas. dan Ibu Dwi Alfina, yang sudah memberikan dorongan materil dan spiritual dalam menyelesaikan skripsi.
9. Mahasiswi dengan NPM 2015041034 yang telah memberikan dukungan support dari awal pengerjaan skripsi ini sampai dengan selesainya masa studi saya sangat amat berterimakasih atas dorongan semangatnya.
10. Yolanda Septia Thalita, Almiftah bima, Ryan kusuma dan Nabel almas yang sangat membantu selama proses penelitian dan memberikan warna selama proses penelitian di Lab dengan segala pertikaian dan tingkah laku lucu yang terjadi tiap harinya, Terima kasih Tim Lab Jalan yang senantiasa sabar membantu apabila ada kesulitan dan kesusahan.
11. Keluarga besar angkatan 2020 (BRINGAS) yang menemani, memberikan semangat, dan dukungan yang luar biasa dalam proses penyelesaian skripsi. Terimakasih kita sudah bertahan dan menjalani kehidupan skripsi yang menyenangkan ini. Semoga usai dari studi ini kita semua bisa mendapatkan pekerjaan yang sangat kita inginkan.

12. Abang, mbak, terutama keluarga besar teknik sipil 18 yang sudah membantu dalam proses penyelesaian skripsi serta memberikan pengalaman, cerita dan arahan selama di perkuliahan sehingga saya bisa bertahan dan nyaman di kampus ini. Kepada adik-adikku tersayang 22 yang membawa banyak cerita dan canda tawa selama di perkuliahan, semoga kalian semua lulus cepat dan tidak ada masalah serius dalam perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa laporan masih jauh dari kata sempurna, sehingga saran dan masukan membangun diperlukan oleh penulis agar laporan sempurna di kemudian hari. Akhir kata, penulis berharap semoga skripsi ini dapat bermanfaat dan berguna.

Bandar Lampung, 30 Juli 2024

Penulis,



Fadhil Zhurahman Asri

DAFTAR ISI

DAFTAR ISI	i
DAFTAR GAMBAR	iv
DAFTAR TABEL	v
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang.....	1
1.2 Rumusan Masalah	2
1.3 Tujuan Penelitian.....	3
1.4 Batasan Penelitian	3
1.5 Manfaat penelitian	3
1.6 Sistematika Penulisan.....	4
II. TINJAUAN PUSTAKA	5
2.1 Perkerasan Jalan	5
2.2 Bahan Pengikat Perkerasan Jalan (aspal)	5
2.2.1 Jenis-Jenis Aspal	6
2.2.2 Aspal Minyak (Petroleum Aspal).....	7
2.2.3 Aspal Keras/ <i>cement</i> (AC).....	7
2.2.4 Aspal cair (<i>Cut Back Asphalt</i>)	8
2.2.5 Komposisi aspal.....	9
2.2.6 Sifat aspal	9
2.3 Limbah Perkerasan Jalan.....	13
2.3.1 Karakteristik Aspal Dari Limbah Perkerasan Jalan.....	14
2.3.2 Penggunaan Limbah Perkerasan jalan.....	16
2.4 Ekstraksi	17
2.5 Evaporasi	18
2.6 Uji Reologi Aspal.....	19
2.6.1 Pengujian Berat Jenis Aspal	20

2.6.2 Pengujian Penetrasi Aspal	20
2.6.3 Pengujian Titik Lembek	21
2.6.4 Pengujian Daktilitas.....	21
2.6.5 Pengujian Kehilangan Berat Minyak.....	21
2.6.6 TFOT (<i>Thin Film Oven Test</i>)	22
2.6.7 RTFOT (<i>Rolling Thin Film Oven Test</i>)	22
2.6.8 Viskositas	23
2.6.9 <i>Dynamic Shear Rheometers</i>	25
2.6.10 <i>Performance Grade (PG)</i>	25
2.7 Penelitian Terdahulu.....	26
III. METODELOGI PENELITIAN	29
3.1 Waktu dan Tempat	29
3.2 Pelaksanaan Pengujian	29
3.3 Bahan Penelitian.....	29
3.4 Tahapan dan Metode Penelitian	29
3.5 Ekstraksi	30
3.6 Evaporasi	32
3.7 Pengujian Benda Uji.....	33
3.7.1 Pengujian Berat Jenis Aspal.....	33
3.7.2 Pengujian Penetrasi Aspal	34
3.7.3 Pengujian Titik Lembek	35
3.7.4 Pengujian Daktilitas.....	35
3.7.5 RTFOT (<i>Thin Film Oven Test</i>).....	36
3.7.6 <i>Preassured Aging Vassel (PAV)</i>	37
3.7.7 Viskositas	39
3.8 Bagan Alir Penelitian	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	42
4.1 Pengujian Bahan.....	42
4.2 Pengujian yang dilakukan.....	42
4.3 Hasil Pengujian Aspal Modifikasi.....	43
4.3.1 Titik Lembek	43

4.3.2 Daktilitas.....	46
4.3.3 Penetrasi	48
4.3.4 Berat Jenis	51
4.3.5 RTFOT (<i>Rolling Thin Film Oven Test</i>)	52
4.3.6 Viskositas	54
4.3.7 <i>Dynamic Shear Rheometer (DSR)</i>	56
4.3.8 Komparasi Dengan Penelitian Terdahulu.....	58
V. KESIMPULAN DAN SARAN	59
5.1 Kesimpulan.....	59
5.2 Saran.....	60
DAFTAR PUSTAKA	61

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1. Komposisi dari aspal.	9
Gambar 2.2. kelompok aspal dengan nilai viscositas yang sama pada temperatur 140° F atau 60° C.	11
Gambar 2.3. Grafik viskositas vs temperatur pada 2 macam aspal yang sama viskositasnya pada temperatur 60° C.	12
Gambar 2.4. Perbedaan viskositas pada aspal setelah Thin Film Oven Test (gambar ilustrasi)	13
Gambar 3.1. Gambar Bagan alir penelitian.	41
Gambar 4. 1. Grafik hasil pengujian viskositas.	55
Gambar 4. 2. Perbandingan hubungan Modulus Geser dan temperatur aspal bekas pakai dan aspal murni. (Ariawan, 2017).....	57

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Klasifikasi Aspal Cair (<i>Cut Black Asphalt</i>)	8
Tabel 2.2. Toleransi Pembacaan penetrasi	20
Tabel 4. 1. Hasil penelitian pengujian Titik Lembek	44
Tabel 4. 2. Data Perbandingan Hasil Pengujian Titik Lembek	45
Tabel 4. 3. Hasil Pengujian Daktilitas	47
Tabel 4. 4. Hasil pengujian Pentrasi	49
Tabel 4. 5. Data Pembanting hasil pengujian penterasi.	50
Tabel 4. 6. Hasil Pengujian Berat Jenis Aspal.	52
Tabel 4. 7. Hasil Pengujian Kehilangan Berat (RTFOT)	53
Tabel 4. 8. Perbandingan dengan Spesifikasi Umum 2018 Divisi 6	55

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kemajuan dalam ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang teknik sipil telah membuka peluang untuk memanfaatkan kembali limbah aspal sebagai komponen dalam campuran perkerasan jalan. Infrastruktur jalan raya, yang menjadi bagian integral dari perkembangan perkotaan dan transportasi berkelanjutan, menghadapi tantangan meningkatnya limbah perkerasan jalan yang mencapai sekitar 1-10% dari total bahan konstruksi pada proyek-proyek tersebut, dengan sebagian besar limbah 50-80% masih dapat dimanfaatkan kembali (Suprpto, 2004). Kelangkaan pasokan aspal turut memperkuat urgensi pengelolaan limbah ini, yang tidak hanya menyangkut aspek teknis, tetapi juga dampak lingkungan (Kementerian Pekerjaan Umum, 2011).

Dalam konteks ini, daur ulang material dari limbah aspal menjadi pendekatan menarik untuk mengurangi dampak lingkungan dan memperpanjang siklus hidup material konstruksi (Sihombing et al., 2018). Strategi ini bukan hanya memberikan solusi terhadap masalah limbah, tetapi juga menjadi langkah proaktif untuk menjaga kualitas dan keberlanjutan infrastruktur jalan raya.

Penelitian ini bertujuan untuk menggali potensi limbah perkerasan jalan tak terpakai sebagai sumber daya yang dapat didaur ulang, khususnya dalam hal ekstraksi aspal. Penggunaan pertalit sebagai agen ekstraksi memiliki keunggulan dalam memisahkan aspal dan agregat dengan efisiensi tinggi. Selanjutnya, metode evaporasi digunakan untuk memisahkan aspal dari pertalit, membuka potensi untuk memperoleh aspal dengan kualitas yang dapat diuji.

Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan (Permana, 2015) melalui proses pemurnian bahan pengikat campuran perkerasan jalan dari zat terlarut melalui cara destilasi di dapat data uji karakteristik bahan pengikat campuran perkerasan jalan hasil dari limbah perkerasan jalan menunjukkan penetrasi sebesar 3 mm, titik lembek mencapai 64°C, dan daktilitas sebesar 105 mm. Hasil pengujian tersebut memenuhi beberapa dari persyaratan yang ditetapkan. Sedangkan pada penelitian yang dilakukan (Setiawan & Pradani, 2013) didapatkan pemurnian aspal melalui cara vakum di dapat nilai penetrasi sebesar 2,16 mm, titik lembek mencapai 57°C, dan berat jenis aspal 1,043.

Melalui penelitian ini, diharapkan pemahaman mendalam mengenai karakteristik bahan pengikat perkerasan jalan hasil pemurnian dengan metode evaporasi dari ekstraksi limbah perkerasan jalan tak terpakai dapat diperoleh. Informasi ini menjadi dasar pengembangan teknologi daur ulang yang lebih efisien dan berkelanjutan, serta kontribusi konkret pada pengelolaan limbah dan pengembangan bahan konstruksi yang ramah lingkungan. Di samping itu, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada pemahaman dampak ekstraksi dan evaporasi terhadap karakteristik bahan pengikat perkerasan jalan, dengan potensi penerapan dalam industri konstruksi dan pengelolaan limbah infrastruktur jalan raya di masa depan.

1.2 Rumusan Masalah

Penggunaan aspal sebagai bahan pengikat dalam campuran perkerasan jalan memiliki peranan krusial dalam membentuk kekuatan interlocking antar agregat. Sumber daya aspal bersifat tidak terbarukan, dan seiring dengan peningkatan kebutuhan untuk pembangunan infrastruktur, pertanyaan muncul mengenai potensi pemanfaatan aspal bekas sebagai bahan pengikat. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis karakteristik bahan pengikat perkerasan jalan yang berasal dari aspal bekas, dengan fokus pada upaya mengevaluasi kualitas aspal bekas pakai sebagai bahan pengikat perkerasan jalan.

1.3 Tujuan Penelitian

Tentang penelitian mengenai karakteristik aspal bekas pakai dari limbah perkerasan jalan, tujuan penelitian adalah:

1. Melakukan pengujian titik lembek, daktilitas, penetrasi, berat jenis, RTFOT (*Thin Film Oven Test*), viskositas, dan *Dynamic Shear Rheometer* (DSR) untuk memahami sifat-sifat dasar dari aspal bekas pakai.
2. Mengevaluasi karakteristik dan kinerja aspal bekas pakai dalam konteks ketahanan terhadap penuaan serta respons mekaniknya terhadap gaya geser dan deformasi.

1.4 Batasan Penelitian

Adapun batasan penelitian ini yaitu pada analisis karakteristik aspal akan yang terbatas pada parameter fisik tertentu, seperti uji Penetrasi, Berat jenis, titik lembek aspal, RTFOT, DSR, dan Daktilitas aspal tanpa melibatkan uji kinerja aspal dalam situasi praktis.

1.5 Manfaat penelitian

Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat dalam mengoptimalkan penggunaan pertalit dalam proses ekstraksi aspal dari limbah perkerasan jalan tak terpakai, meningkatkan kualitas aspal yang dihasilkan, serta menyediakan landasan untuk aplikasi praktis dalam industri konstruksi. Selain itu, penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi pada upaya pengelolaan limbah konstruksi yang lebih efisien, melalui pemahaman yang lebih baik terhadap dampak lingkungan dan pengembangan kebijakan berkelanjutan.

1.6 Sistematika Penulisan

BAB I PENDAHULUAN

Pada bab ini dari sub bab yang berisi Latar Belakang, Rumusan Masalah, Tujuan Penelitian, Manfaat Penelitian, Batasan Masalah.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini terdiri dari sub yang berisikan : Konsep Dasar Daur Ulang Limbah Perkerasan Jalan, Proses Ekstraksi Aspal dan Penggunaan Peralit, Metode Evaporasi dalam Pemisahan Aspal dan Peralit, Karakteristik Fisik dan Kimia Aspal, Aplikasi Industri dan Kebijakan Terkait

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini terdiri sub bab yang berisikan : Desain Penelitian, Populasi dan Sampel, Variabel Penelitian, Teknik Pengumpulan Data, Prosedur Ekstraksi dan Evaporasi, Teknik Analisis Data

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini terdiri dari sub bab yang berisikan : Deskripsi Sampel dan Karakteristik Awal, Kualitas Aspal , dan perbandingan dengan aspal jenis lain

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini terdiri dari sub bab yang berisikan : Ringkasan Temuan, Implikasi Keseluruhan

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Jalan

Perkerasan jalan merujuk pada lapis tambahan yang ditempatkan antara tanah dasar dan permukaan atas badan jalan. Fungsi perkerasan jalan adalah memberikan kekuatan dan ketahanan terhadap deformasi yang mungkin terjadi akibat beban roda berulang. Perkerasan jalan ini bisa terbuat dari bahan khusus yang dipilih dengan cermat, dan istilah lain yang dapat digunakan untuk menyebutnya adalah *pavement*. Perkerasan jalan memiliki peran penting dalam meningkatkan daya tahan dan kinerja jalan terhadap penggunaan yang berulang (Suprpto, 2004). Aspal memainkan peran penting dalam meningkatkan daya tahan dan kinerja perkerasan jalan terhadap beban dan kondisi lingkungan. Oleh karena itu, penelitian mengenai karakteristik bahan pengikat dalam campuran perkerasan jalan menjadi suatu hal yang sangat penting.

2.2 Bahan Pengikat Perkerasan Jalan (aspal)

Menurut (Sukirman, 1999) dalam bukunya yang berjudul "Perkerasan Lentur Jalan Raya", aspal, sebagai bahan pengikat dalam perkerasan jalan, memiliki karakteristik yang krusial dalam menentukan kinerja dan daya tahan perkerasan tersebut. Definisi aspal merujuk pada material berwarna hitam atau coklat tua yang, pada suhu ruang, berbentuk padat sampai agak padat yang berasal dari salah satu energi tak terbaharukah yaitu hasil destilasi minyak bumi. Pada suhu tertentu, aspal dapat mengalami perubahan fasa menjadi lunak/cair. Sifat termoplastisnya memungkinkan aspal untuk mengeras dan mengikat agregat pada tempatnya ketika temperatur turun.

Hydrocarbon, sebagai bahan dasar utama dari aspal yang umumnya dikenal sebagai bitumen, menandai sifat kimia utama aspal. Aspal memiliki kemampuan untuk mengikat agregat dalam campuran aspal beton, memberikan lapisan kedap air, dan menunjukkan ketahanan terhadap pengaruh asam, basa, dan garam.

Meskipun aspal hanya merupakan komponen kecil dalam campuran perkerasan jalan, sekitar 4-10% berdasarkan berat atau 10-15% berdasarkan volume, namun memiliki peran krusial. Aspal juga memiliki sifat-sifat tertentu yang memengaruhi daya tahan dan kinerja perkerasan jalan, seperti memberikan lapisan kedap air dan ketahanan terhadap cuaca dan reaksi kimia.

Namun, sifat aspal tidak bersifat tetap mereka dapat berubah akibat panas dan umur. Proses perubahan ini dapat mengakibatkan kekakuan, kerapuhan, dan pengurangan daya adhesi terhadap partikel agregat. Oleh karena itu, diperlukan pemahaman yang mendalam terhadap sifat-sifat aspal serta penerapan langkah-langkah yang baik dalam proses pelaksanaan perkerasan jalan untuk mengatasi atau mengurangi dampak perubahan ini. Tinjauan pustaka ini memberikan dasar pengetahuan yang diperlukan untuk memahami karakteristik aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan jalan, dengan penekanan pada aspek-aspek penting seperti sifat termoplastis, komposisi kimia, dan perubahan sifat seiring waktu.

2.2.1 Jenis-Jenis Aspal

Berdasarkan cara diperolehnya aspal dapat dibedakan atas:

1. Aspal alam, dapat dibedakan atas
 - Aspal gunung (*rock asphalt*), contoh aspal dari Pulau Buton.
 - Aspal danau (*lake asphalt*), contoh aspal dari Bermudez, Trinidad.
2. Aspal buatan
 - Aspal minyak, merupakan hasil penyulingan minyak bumi.

- Tar, merupakan hasil penyulingan batu bara. Tidak umum digunakan untuk perkerasan jalan karena lebih cepat mengeras, peka terhadap perubahan temperatur dan beracun.

2.2.2 Aspal Minyak (Petroleum Aspal)

Aspal minyak dengan bahan dasar aspal dapat dibedakan atas:

1. Aspal keras/panas (*asphalt cement*, AC), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas. Aspal ini berbentuk padat pada keadaan penyimpanan (temperatur ruang).
2. Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan dingin.
3. Aspal emulsi (*emulsion asphalt*), adalah aspal yang disediakan dalam bentuk emulsi. Dapat digunakan dalam keadaan dingin ataupun panas. Aspal emulsi dan *Cutback* aspal umum digunakan pada campuran dingin atau pada penyemprotan dingin.

2.2.3 Aspal Keras/*cement* (AC)

Aspal semen pada temperatur ruang (25° - 30° C) berbentuk padat. Aspal semen terdiri dari beberapa jenis tergantung dari proses pembuatannya dan jenis minyak bumi asalnya. Pengelompokan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25° C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya.

Di Indonesia, aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya yaitu :

1. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40 - 50.
2. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60 - 70.
3. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85 - 100.
4. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120- 150.
5. AC pen 200/300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200- 300.

Aspal semen dengan penetrasi rendah digunakan di daerah bercuaca panas atau lalu lintas dengan volume tinggi, sedangkan aspal semen

dengan penetrasi tinggi digunakan untuk daerah bercuaca dingin atau lalu lintas dengan volume rendah. Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

2.2.4 Aspal cair (*Cut Back Asphalt*)

Aspal cair adalah campuran antara aspal semen dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi. Dengan demikian *cut back asphalt* berbentuk cair dalam temperatur ruang

Berdasarkan bahan pencairnya dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan atas:

1. RC (*Rapid Curing cut back*) Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin atau premium. RC merupakan *cutback* aspal yang paling cepat menguap.
2. MC (*Medium Curing cut back*) Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan pencair yang lebih kental seperti minyak tanah.
3. SC (*Slow Curing Cut Back*) Merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti solar. Aspal jenis ini merupakan *cuthack* aspal yang paling lama menguap.

Berdasarkan nilai viskositas pada temperatur 60° C, *cutback* aspal dapat dibedakan atas :

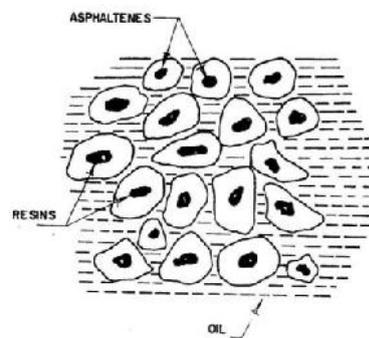
Tabel 2.1. Klasifikasi Aspal Cair (*Cut Black Asphalt*)

Solvent	Viskositas	Solvent	Viskositas	Solvent	Viskositas
RC 30	60	MC 30	60	SC 30	60
RC 70	40	MC 70	140	SC 70	140
RC 250	500	MC 250	500	SC 250	500
RC 800	1600	MC 800	1600	SC 800	1600
RC 3000	6000	MC 3000	6000	SC 3000	6000

2.2.5 Komposisi aspal

Aspal merupakan unsur *hydrokarbon* yang sangat kompleks, sangat sukar untuk memisahkan molekul-molekul yang membentuk aspal tersebut. Di samping itu setiap sumber dari minyak bumi menghasilkan komposisi molekul yang berbeda beda.

Komposisi dari aspal terdiri dari *asphaltenes* dan *maltenes*. *Asphaltenes* merupakan material berwarna hitam atau coklat tua yang tidak larut dalam *heptane*. *Maltenes* larut dalam *heptane*, merupakan cairan kental yang terdiri dari *resins* dan *oils*. *Resins* adalah cairan berwarna kuning atau coklat tua yang memberikan sifat adhesi dari aspal, merupakan bagian yang mudah hilang atau berkurang selama masa pelayanan jalan. Sedangkan *oils* yang berwarna lebih muda merupakan media dari *asphaltenes* dan resin. Proporsi dari *asphaltenes*, *resins*, dan *oils* berbeda-beda tergantung dari banyak faktor seperti kemungkinan beroksidasi, proses pembuatannya, dan ketebalan lapisan aspal dalam campuran.



Gambar 2.1. Komposisi dari aspal.

2.2.6 Sifat aspal

Aspal yang dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai :

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara aspal itu sendiri.

2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

Berarti aspal haruslah mempunyai daya tahan (tidak cepat rapuh) terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastis yang baik.

a. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan. Sifat ini merupakan sifat dari campuran aspal, jadi tergantung dari sifat agregat, campuran dengan aspal, faktor pelaksanaan. Meskipun demikian sifat ini dapat diperkirakan dari pemeriksaan *Thin Film Oven Test (TFOT)*.

b. Adhesi dan Kohesi

Adhesi adalah kemampuan aspal untuk mengikat agregat sehingga dihasilkan ikatan yang baik antara agregat dengan aspal. Kohesi adalah kemampuan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

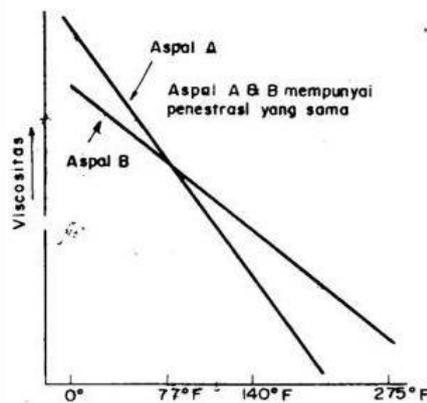
c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal adalah material yang termoplastis, berarti akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur.

Kepekaan terhadap temperatur dari setiap hasil produksi aspal berbeda-beda tergantung dari asalnya walaupun aspal tersebut mempunyai jenis yang sama. Pada gambar 2.2 terlihat 2 kelompok aspal dengan nilai penetrasi yang sama pada temperatur 77° F atau 25° C, tetapi tidak berasal dari sumber yang sama.

Pada temperatur selain 25°C viskositas dari kedua aspal tersebut berbeda. Hal ini disebabkan karena kepekaan terhadap temperaturnya berbeda. Pada gambar 2.2 terlihat 2 kelompok aspal dengan nilai viskositas yang sama pada temperatur 140°F atau 60°C , tetapi berbeda pada temperatur yang lain. Dengan diketahuinya kepekaan terhadap temperatur dapatlah ditentukan pada temperatur berapa pula sebaiknya dipadatkan sehingga menghasilkan hasil yang baik. Pada gambar 2.2 terlihat bahwa pada temperatur di atas 25°C aspal A lebih cair dari aspal B, sehingga temperatur yang dibutuhkan oleh aspal A untuk pencampuran dengan agregat lebih rendah dan aspal A dapat dipadatkan dengan baik pada temperatur yang lebih rendah dari aspal B.

Sedangkan pada gambar 2.2 terlihat bahwa pada temperatur di atas temperatur 60°C ($= 140^{\circ}\text{F}$) aspal C lebih lembek dari aspal D, sehingga temperatur yang dibutuhkan untuk pencampuran menggunakan aspal D akan lebih rendah dibandingkan dengan jika menggunakan aspal C.

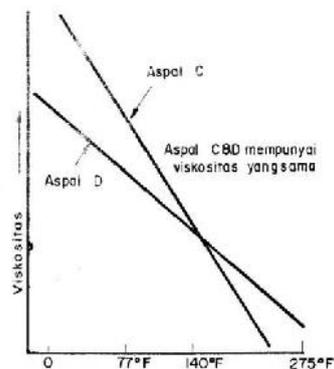


Gambar 2.2. kelompok aspal dengan nilai viskositas yang sama pada temperatur 140°F atau 60°C .

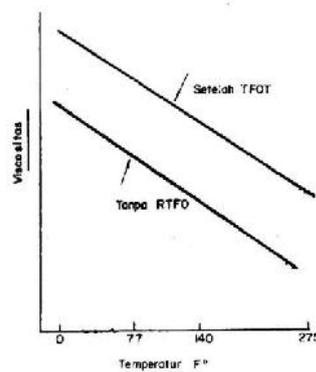
Tetapi di bawah temperatur 60°C , aspal C lebih keras. Berarti aspal C cepat mengeras dan cepat pula mencair, sehingga waktu pelaksanaan harus lebih pendek, dibandingkan dengan aspal D. Aspal D kurang peka terhadap temperatur dibandingkan dengan aspal C.

d. Kekerasan aspal

Aspal pada proses pencampuran dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga agregat dilapisi aspal atau aspal panas disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses peleburan. Pada waktu proses pelaksanaan, terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas (viskositas bertambah tinggi). Peristiwa kerapuhan terus berlangsung setelah masa pelaksanaan selesai. Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami oksidasi dan polimerisasi yang besarnya dipengaruhi juga oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi. Pada gambar 2.3 terlihat perbedaan viskositas pada aspal sebelum dan setelah proses pemeriksaan pengovenan lapisan tipis aspal (*Thin Film Oven Test*).



Gambar 2.3. Grafik viskositas vs temperatur pada 2 macam aspal yang sama viskositasnya pada temperatur 60° C.



Gambar 2.4. Perbedaan viskositas pada aspal setelah *Thin Film Oven Test* (gambar ilustrasi)

2.3 Limbah Perkerasan Jalan

Limbah Perkerasan Jalan adalah substansi yang berasal dari lapisan perkerasan aspal yang sudah tua, umumnya diperoleh melalui proses penggarukan (*milling*) lapisan perkerasan aspal yang sudah ada (Badan Standarisasi Nasional, 2015). Menurut (Al-Qadi et al., 2007), Limbah Perkerasan Jalan merupakan campuran material agregat dan aspal yang dapat diolah kembali untuk digunakan dalam pembuatan perkerasan jalan. Praktik daur ulang perkerasan aspal dianggap menguntungkan dari perspektif teknis, ekonomis, dan lingkungan. Penggunaan RAP juga memberikan manfaat dalam mengurangi limbah hasil bongkaran jalan, sekaligus menjadi solusi efektif untuk mengelola material sisa pembongkaran jalan.

Pemanfaatan limbah perkerasan jalan dapat dilakukan dengan cara ekstraksi menggunakan bahan pelarut seperti alkohol, heksana, toulena, dan minyak bumi untuk mengetahui kadar aspal yang terkandung di dalamnya. Pemanfaatan limbah perkerasan jalan ini menjadi jawaban atas permasalahan lingkungan akibat menumpuknya aspal bekas yang dapat mencemari tanah dan air tanah di lingkungan pembuangan, serta dapat mengatasi masalah lingkungan yang timbul akibat pemanfaatan berlebih hasil minyak bumi yang digunakan sebagai sumber utama aspal (Kurniasari dkk., 2018).

2.3.1 Karakteristik Aspal Dari Limbah Perkerasan Jalan

Dalam jurnal (Al-Qadi et al., 2007) Secara umum, binder aspal atau yang biasa di kenal *Reclaimed Asphalt Bintumen (RAB)* mengalami dua tahap penuaan: jangka pendek dan jangka panjang. Selama konstruksi (jangka pendek), binder aspal terpapar udara panas pada suhu antara 135 hingga 163°C, mengakibatkan peningkatan signifikan dalam viskositas dan perubahan pada sifat reologi dan fisik kimia terkait, seperti modulus shear kompleks dan adhesi. Selama pelayanan (jangka panjang), binder aspal juga mengalami penuaan dan pengerasan melalui berbagai mekanisme. Pengerasan karena penuaan selama konstruksi dan pelayanan dikaitkan dengan enam mekanisme utama (Roberts et al., 1996) :

- Oksidasi melalui reaksi difusi antara binder dan oksigen di udara;
- Volatilisasi melalui penguapan komponen yang lebih ringan terutama selama konstruksi;
- Polimerisasi melalui reaksi kimia komponen molekuler;
- Tixotropi karena pembentukan struktur dalam binder aspal selama periode waktu yang lama;
- Sineresis karena eksudasi komponen minyak tipis; dan
- Pemisahan melalui penghilangan konstituen minyak, resin, dan aspalten oleh agregat absorptif.

Tingkat penuaan yang dialami oleh binder aspal selama produksi dan pelayanan juga tergantung pada konten rongga HMA. Binder yang dipulihkan dari HMA yang berpori telah menunjukkan kekakuan yang jauh lebih besar daripada HMA reguler (Kemp & Predoehl, 1981). Selain itu, sifat binder yang telah menua bergantung pada tingkat kerusakan pada perkerasan yang didaur ulang (Smiljanic et al., 1993). Semakin besar kerusakan pada perkerasan sebelum didaur ulang, semakin besar perubahan yang terjadi pada sifat binder. Ini terilustrasi oleh berkurangnya ketangguhan oksidasi pada perkerasan yang lebih baik terjaga. Penimbunan juga mempercepat penuaan binder karena

material lebih rentan terhadap paparan udara dan oksidasi (McMillan & Palsat, 1985).

Saat binder aspal bereaksi dan kehilangan beberapa komponennya selama proses penuaan, perilaku reologinya secara alami akan berbeda dari bahan virgin. Hal ini menunjukkan pentingnya mengendalikan proses pencampuran antara binder daur ulang dan binder virgin. Jika binder lama terlalu kaku, pencampuran binder lama dan virgin mungkin tidak berkinerja seperti yang diharapkan. Pada persentase kecil (hingga 20%), binder yang telah menua tidak signifikan memengaruhi sifat pencampuran binder virgin dan RAP (Kennedy et al., 1998). Namun, ketika digunakan pada persentase menengah hingga tinggi, binder yang telah menua dapat signifikan mempengaruhi sifat pencampuran dan dapat memengaruhi grade binder yang dihasilkan. Modifikasi terkini telah diperkenalkan pada pabrik aspal konvensional untuk mengurangi penuaan binder lama selama produksi campuran. Ini termasuk mixer drum kontra aliran dan pemanas microwave (Hansen et al., 2013). Sedangkan panas microwave lebih mudah diserap oleh agregat, tidak diserap dengan mudah oleh binder, sehingga mengurangi kerentanannya terhadap penuaan selama produksi.

Sifat-sifat binder yang telah menua juga dipengaruhi oleh tingkat kerusakan kelembaban pada perkerasan yang ada sebelum didaur ulang. Pada dasarnya, HMA yang telah di strip tidak seharusnya didaur ulang karena kemungkinan terjadinya kerusakan ini kembali pada HMA yang baru (Karlsson & Isacsson, 2006). Namun, ketika persentase kecil RAP digunakan (15 hingga 20%) bersama dengan agen anti-strip, sampel dengan HMA yang rusak oleh kelembaban memberikan kekuatan dan ketahanan kelembaban yang sebanding dengan sampel yang dibuat dengan bahan virgin (Amirkhanian & Williams, 1993). Peneliti lain melaporkan bahwa material RAP sebenarnya mungkin memberikan ketahanan kelembaban yang lebih baik daripada HMA virgin karena

agregatnya sudah tertutup dan dilindungi dengan binder (Karlsson dan Isacsson, 2006).

2.3.2 Penggunaan Limbah Perkerasan jalan

Penggunaan limbah perkerasan jalan, yang dikenal sebagai *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), telah mencapai berbagai aplikasi, terutama sebagai bahan lapis pondasi jalan. Praktik umum stabilisasi bahan RAP dengan menggunakan aspal atau semen telah menjadi langkah umum dalam konstruksi struktur perkerasan. Teknologi *cold recycling*, di mana campuran bahan RAP ditambah dengan bahan peremaja dan/atau agregat/bahan tambah lainnya, menjadi pilihan umum. Proses ini melibatkan penghamparan dan pemadatan untuk membentuk lapisan perkerasan baru.

Pemanfaatan RAP di Indonesia dengan sistem daur ulang pencampuran dingin telah dimulai pada tahun 2007 di beberapa ruas jalan, seperti Pantura, Sei Lilin, dan Pekalongan (Yamin & Widajat, 2008 ; Conbloc, 2007). Selain itu, penggunaan bahan RAP dengan sistem daur ulang pencampuran panas sudah diimplementasikan di ruas jalan Bawen-Kertosono, dan Bekasi-Cikampek sejak tahun 1996. Di Provinsi Jawa Barat, melalui Balai Besar Pelaksanaan Jalan Nasional DKI Jakarta – Jawa Barat, Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, RAP telah diaplikasikan pada perkerasan beraspal di ruas jalan nasional Soekarno – Hatta (Bdg) sepanjang 2,24 km melalui kegiatan Rehabilitasi Mayor pada Tahun Anggaran 2021. Lokasi ini dijadikan objek penelitian perkerasan jalan beraspal dengan 50% kadar RAP. Sebagai pembanding, ruas jalan lain di wilayah Jawa Barat, seperti Jalan Raya Jatinangor (Jatinangor) dan Jalan Jatinangor – Bts. Kota Sumedang, yang menjalani Rehabilitasi Mayor tanpa RAP (0% RAP), juga ditetapkan sebagai objek penelitian (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2020).

Implementasi teknologi *cold recycling* di Indonesia terbukti memberikan berbagai keuntungan, termasuk biaya pekerjaan yang lebih murah, pelaksanaan pekerjaan yang lebih mudah dan praktis, efisiensi energi dengan sistem pencampuran dingin, pengurangan eksploitasi bahan agregat dan aspal, serta dampak lingkungan yang rendah dengan emisi gas yang minim. Teknologi ini telah berhasil diterapkan dalam proyek rehabilitasi struktur perkerasan jalan nasional Pantura Jawa (Widajat, 2009). Walaupun begitu, penggunaan bahan RAP di Indonesia masih menghadapi beberapa kendala, baik dari segi teknis maupun non-teknis. Oleh karena itu, investigasi mendalam terhadap bahan RAP menjadi sangat penting untuk memahami jenis campuran RAP yang memiliki kinerja lebih baik. Dalam tulisan ini, akan dibahas kemajuan penelitian mengenai bahan RAP yang telah dilakukan di Pusat Studi Transportasi selama 10 tahun terakhir.

Di luar negeri, khususnya di Amerika Serikat, penggunaan *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP) menunjukkan peningkatan seiring waktu. Meskipun sejumlah negara bagian memperbolehkan penggunaan hingga 30 persen RAP dalam campuran aspal panas, rata-rata penggunaan masih sekitar 12 persen. Penggunaan RAP terutama ditemukan pada lapisan dasar dan pengikat, dengan tingkat yang lebih tinggi untuk jalan berlalu lintas ringan. Meskipun ada upaya untuk meningkatkan penggunaan RAP, masih terdapat kendala teknis dan kekhawatiran terkait kualitas campuran, konsistensi RAP, serta pemilihan binder dan desain campuran. Meski demikian, sekitar setengah dari negara bagian melaporkan peningkatan penggunaan RAP dari 2007 hingga 2009, menunjukkan adanya perkembangan positif dalam penerapan teknologi ini di sejumlah wilayah (Copeland, 2011).

2.4 Ekstraksi

Ekstraksi aspal adalah proses yang digunakan untuk memisahkan atau mengambil komponen tertentu dari campuran aspal dengan menggunakan

pelarut khusus (Smith et al., 2020). Dalam konteks ini, pelarut bertindak sebagai agen yang mampu melarutkan aspal atau komponen aspal yang diinginkan, memungkinkan pemisahan atau pengambilan zat tersebut dari campuran aspal yang kompleks .

Pelarut yang digunakan dalam ekstraksi aspal dipilih berdasarkan sifat-sifat kimia dan fisiknya, serta sifat-sifat aspal yang akan diekstraksi. Pelarut ini biasanya dipilih agar dapat melarutkan komponen aspal yang spesifik tanpa mengubah sifat-sifat penting lainnya dari campuran aspal. Misalnya, pelarut tertentu dapat dipilih untuk melarutkan fraksi aspal tertentu, seperti bitumen, sementara menyisakan komponen lain seperti agregat.

Proses ekstraksi aspal memiliki berbagai aplikasi dalam industri konstruksi jalan, termasuk dalam pemurnian aspal yang telah digunakan atau limbah aspal, analisis komposisi aspal, serta pemulihan bahan-bahan berharga dari campuran aspal yang tidak terpakai. Dengan menggunakan teknik ekstraksi yang tepat, para insinyur sipil dan ilmuwan material dapat memperoleh aspal atau komponen aspal dengan tingkat kemurnian yang tinggi, yang dapat digunakan untuk berbagai tujuan seperti pemeliharaan jalan raya, produksi campuran aspal baru, atau pengembangan teknologi daur ulang aspal (Jones & Brown, 2018).

2.5 Evaporasi

Evaporasi adalah proses alami yang terjadi ketika molekul-molekul zat cair menerima energi panas tambahan, yang membuat mereka melepaskan diri dari gaya tarik antar molekul dan berubah menjadi gas (Novriyadi, 2023). Proses ini juga dapat dijelaskan dalam Kamus Besar Bahasa Indonesia (KBBI) sebagai peristiwa di mana jumlah molekul yang keluar dari permukaan lebih besar daripada jumlah yang kembali ke permukaan air (Admin, 2023).

Dalam konteks kimia, evaporasi adalah perubahan zat cair menjadi gas atau uap, yang sering disebut sebagai penguapan (Bella, 2024). Evaporasi bertujuan untuk mengurangi zat cair, memekatkan larutan yang terdiri dari zat terlarut yang tidak mudah menguap dan pelarut yang mudah menguap. Perlu ditekankan bahwa evaporasi berbeda dengan pengeringan, karena pada proses evaporasi, sisa dari penguapan adalah zat cair, kadang-kadang dalam bentuk yang sangat viskos, dan bukan zat padat.

Ada beberapa jenis evaporasi yang umum digunakan, termasuk *Submerged Combustion Evaporator* yang dipanaskan oleh api di bawah permukaan cairan, serta *Direct Fired Evaporator* yang menggunakan pengapian langsung untuk memanaskan cairan mendidih.

Dalam lingkungan alam, evaporasi adalah proses di mana air dalam bentuk cair berubah menjadi uap atau gas di atmosfer. Faktor-faktor yang memengaruhi tingkat evaporasi meliputi suhu, luas permukaan, kecepatan angin, tekanan atmosfer, dan energi penyedia. Proses evaporasi melibatkan pemecahan ikatan molekul-molekul air di permukaan cairan (Sains, 2023).

2.6 Uji Reologi Aspal

Reologi aspal adalah ilmu yang mempelajari tentang transformasi bentuk dan aliran material aspal, atau dapat diartikan sebagai ilmu penting untuk mengetahui dan mengidentifikasi perubahan bentuk dari kinerja perkerasan aspal. Reologi aspal biasa diaplikasikan untuk menguji bagaimana kualitas aspal sebelum dan sesudah diaplikasikan pada pembangunan infrastruktur jalan raya (Indriyati & Susanto, 2015).

Pengujian tentang uji fisik Reologi aspal dilakukan untuk melihat bagaimana karakteristik bahan pengikat aspal dengan tujuan mengetahui tingkat kekerasan dan deformasi aspal akibat dari perubahan temperatur serta pemberian beban untuk menganalisis perubahan bentuk terhadap aliran material (Indriyati & Susanto, 2015).

2.6.1 Pengujian Berat Jenis Aspal

Berat jenis adalah perbandingan antara 1 gram material bitumen dengan 1 mL air suling pada temperatur sama (25 C). Berat jenis aspal lebih kecil dari 1gr/cm³ menunjukkan adanya *wax* atau *parafin crude* lebih banyak yang mengakibatkan kurangnya sifat kelekatan dan ketahanan terhadap daya apung akibat gaya air. Berat jenis aspal baik untuk penetrasi 60 maupun penetrasi 80 disyaratkan minimal harus mencapai 1gr/cm³ (SNI 06-2441-1991). Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling, dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Tujuan percobaan ini adalah untuk C menentukan berat jenis aspal dengan menggunakan piknometer.

2.6.2 Pengujian Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, dengan beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu (SNI 06-2456-1991). Pembacaan angka penetrasi rata-rata dalam bilangan bulat sekurang-kurangnya 3 pembacaan dengan ketentuan di bawah ini :

Tabel 2.2. Toleransi Pembacaan penetrasi

Hasil Penetrasi	0-49	50-149	150-249	>250
Toleransi	2	4	6	8

Sumber : Standar Nasional Indonesia (SNI 06-2456-1991)

Apabila perbedaan antara masing-masing pembacaan melebihi toleransi, pemeriksaan harus diulang. Aspal dengan penetrasi kurang dari 350 dapat diuji dengan alat-alat dan cara pemeriksaan ini, sedangkan aspal dengan penetrasi antara 350-500 perlu dilakukan dengan alat-alat lain.

2.6.3 Pengujian Titik Lembek

Titik lembek adalah suhu pada bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun sehingga lapisan aspal yang tertahan dalam ukuran cincin berukuran tertentu, sehingga aspal tersebut menyentuh pelat dasar yang terletak dibawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat dari pemanasan yang dilakukan.

2.6.4 Pengujian Daktilitas

Maksud pemeriksaan ini adalah nilai keelastisitasan aspal, yang diukur dari jarak terpanjang, apabila antara dua cetakan berisi bitumen keras yang ditarik sebelum putus pada suhu 25°C dan dengan kecepatan 50 mm/menit (SNI 062432-1991).

2.6.5 Pengujian Kehilangan Berat Minyak

Aspal yang dipanaskan sampai suhu tertentu akan mengalami kehilangan berat akibat terjadinya penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Penurunan berat yang besar akan mengakibatkan aspal akan cepat mengeras dan merapuh (SNI 06- 2440-1991). Tujuan dari percobaan ini adalah untuk menetapkan kehilangan berat minyak dan aspal dengan cara pemanasan dan tebal tertentu yang dinyatakan dalam persen berat semula

2.6.6 TFOT (*Thin Film Oven Test*)

TFOT (*Thin Film Oven Test*) merupakan metode penting untuk mensimulasikan penuaan aspal yang melibatkan hilangnya komponen volatil, suatu faktor kunci dalam proses ini. Pada umumnya, bahan pengikat aspal mengalami kehilangan volatil selama tahap pembuatan dan penempatan. Proses-proses ini, yang melibatkan suhu tinggi, menyebabkan penuaan bahan pengikat aspal dengan menghilangkan sejumlah besar volatil. Metode uji ini, yang dijelaskan dalam ASTM D2872, bertujuan untuk menstimulasikan penuaan jangka pendek bahan pengikat selama pencampuran panas, dengan fokus pada efek pengerasan panas dan udara pada lapisan tipis aspal yang terpapar dalam bentuk lapisan tipis statis.

Data dari uji ini mencerminkan perkiraan perubahan sifat aspal selama pencampuran panas konvensional pada suhu sekitar 302°F (150°C), seperti terlihat dari pengukuran viskositas dan reologi lainnya. Metode ini menghasilkan residu yang mendekati kondisi aspal yang tergabung dalam perkerasan. Jika suhu pencampuran signifikan berbeda dari tingkat 302°F (150°C), akan terjadi perubahan lebih atau kurang pada sifat-sifat aspal. Uji ini juga dapat digunakan untuk menentukan perubahan massa, yang merupakan indikator volatilitas aspal.

2.6.7 RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Test*)

RTFOT (*Rolling Thin Film Oven Test*) adalah suatu metode uji laboratorium yang dirancang untuk menstimulasikan penuaan pada bahan pengikat aspal selama proses pencampuran, transportasi, dan penempatan. Dalam prosedur ini, sampel aspal ditimbang ke dalam botol kaca dan ditempatkan dalam rak berputar di dalam oven. Rak tersebut secara perlahan berputar sementara oven menjaga suhu uji yang ditentukan. Selama uji, udara disemprotkan ke dalam botol untuk beberapa detik setiap rotasi. Uji berlangsung selama 75 menit, dan

setelah itu, sampel aspal diambil, didinginkan, dan ditimbang. Kehilangan massa dihitung dari berat awal dan akhir bahan pengikat aspal dalam botol.

RTFOT dimaksudkan untuk menstimulasikan pengerasan aspal yang terjadi selama pencampuran, transportasi, dan penempatan. Keberhasilan uji dievaluasi dengan mengukur persentase kehilangan massa. Nilai kehilangan massa yang tinggi menunjukkan bahwa sejumlah besar minyak ringan telah menguap selama penuaan, yang dapat membuat bahan pengikat aspal rentan terhadap pengerasan berlebihan, penyusutan, dan retakan. Standar penilaian kinerja saat ini mensyaratkan bahwa kehilangan massa selama penuaan (dalam RTFOT) tidak boleh lebih dari 1.0%.

RTFOT dikembangkan sebagai perbaikan dari metode sebelumnya, TFOT (*Thin-Film Oven Test*), untuk menstimulasikan penuaan bahan pengikat aspal dalam jangka pendek. Kelebihan RTFOT melibatkan eksposur bahan pengikat aspal yang baru terus-menerus terhadap panas dan aliran udara karena gerakan berputar dari rak oven. Metode ini membantu menjaga dispersi modifikasi bahan pengikat aspal dan mencegah terbentuknya lapisan permukaan yang menghambat penuaan. Meskipun RTFOT dan metode lainnya menyediakan cara untuk memahami karakteristik penuaan bahan pengikat aspal, ada catatan bahwa kondisi di laboratorium mungkin tidak sepenuhnya mencerminkan penuaan di lapangan. Sehingga, disarankan untuk mempertimbangkan indeks penuaan dan menjalankan RTFOT pada berbagai waktu dan suhu untuk hasil yang lebih representatif.

2.6.8 Viskositas

Viskositas merupakan ukuran ketahanan cairan terhadap aliran, dimana semakin rendah viskositas, semakin mudah alirannya. Seperti halnya densitas (ASTM D70; ASTM E102), viskositas juga dipengaruhi oleh

suhu, meningkat ketika suhu menurun. Sifat viskositas sangat penting dalam konteks aspal karena memengaruhi sejumlah faktor, termasuk laju penyebaran minyak aspal, penetrasi ke dalam agregat, dan pemilihan peralatan mekanis untuk peletakan aspal di jalan raya.

Pengukuran viskositas dapat bersifat absolut atau relatif. Viskositas absolut diukur menggunakan metode standar yang hasilnya dapat ditelusuri kembali ke satuan dasar. Ini berbeda dengan pengukuran relatif yang dilakukan dengan alat yang mengukur tarikan kental dalam suatu cairan tanpa laju geser yang diketahui dan/atau seragam. Keuntungan viskosimetri absolut termasuk independensinya terhadap jenis atau merek viskosimeter yang digunakan, memungkinkan perbandingan data antar laboratorium di seluruh dunia. Viskosimeter rotasional modern (AASHTO T316) dapat mengukur viskositas absolut untuk fluida Newtonian dan non-Newtonian pada berbagai laju geser yang dikendalikan.

Terdapat pula metode uji standar untuk mengukur viskositas minyak, seperti ASTM D445 dan ASTM D4486, yang menggunakan viskosimeter kenematik kapiler kaca dan menghasilkan pengukuran absolut dalam satuan centistokes (cSt) hanya untuk minyak dengan perilaku aliran Newtonian. Meskipun viskosimeter Saybolt pernah digunakan, sekarang sudah usang, dan industri minyak sekarang beralih ke metode pengukuran viskositas kenematik dengan viskosimeter modern. Uji viskositas rotasional (AASHTO T316; ASTM D4402) pada bahan pengikat aspal asli dilakukan untuk mengevaluasi kerja pada suhu tinggi dan memastikan kecukupan keluwesan bahan pengikat saat dipompa dan dicampur. Selain itu, viskositas yang diukur digunakan untuk membuat grafik suhu–viskositas khusus untuk suatu jenis bahan pengikat.

2.6.9 Dynamic Shear Rheometers

Dynamic Shear Rheometers (DSR) merupakan metode uji dinamis yang digunakan untuk mengukur sifat reologi aspal pada kondisi beban yang berubah secara dinamis. DSR melakukan pengukuran terhadap kekakuan (*stiffness*) atau resistensi bahan pengikat terhadap deformasi di bawah beban yang bervariasi. DSR biasanya dilakukan pada sampel aspal asli, sampel dari uji *rolling thin-film oven* (RTFO), serta pada bahan pengikat yang telah mengalami penuaan. Metode ini membantu menentukan sifat-sifat aspal pada suhu rendah atau suhu termal yang dapat menyebabkan retakan.

Pada konteks kalimat di atas, DSR digunakan untuk mengevaluasi sifat-sifat reologi aspal pada suhu rendah atau termal. Pengukuran ini membantu dalam menilai kekakuan bahan pengikat aspal dan resistensinya terhadap deformasi selama pembebanan. Informasi yang diperoleh dari uji ini memberikan kontribusi penting dalam merancang dan membangun perkerasan jalan yang dapat berkinerja tinggi dengan ketahanan terhadap retakan termal yang minimal.

Penting untuk dicatat bahwa ada asumsi dasar dalam prosedur uji RTFO dan PAV bahwa aspal akan menunjukkan perilaku penuaan yang konsisten dalam rentang tertentu dan bahwa penuaan tersebut akan memiliki efek yang dapat diprediksi pada kinerja dalam campuran dan perkerasan. Metode alternatif, seperti DSR, membantu memberikan pemahaman lebih lanjut tentang sifat-sifat reologi aspal dan dapat memberikan informasi yang lebih terperinci tentang respons aspal terhadap beban dinamis dan perubahan suhu.

2.6.10 Performance Grade (PG)

Performance Grades (PG) merupakan sebuah sistem klasifikasi aspal yang diperkenalkan melalui metode *Superpave* (*Superior Performance*

Asphalt Pavement). Metode ini secara komprehensif menggunakan pendekatan yang berbeda dari metode *Penetration Grade* dan *Viscosity Grade* dalam hal uji, peralatan, persyaratan, serta pemilihan aspal. Dengan mempertimbangkan karakteristik kinerja termal dan reologi aspal, *Performance Grades* menawarkan suatu kerangka kerja yang lebih modern dan canggih untuk menilai dan memilih bahan pengikat aspal yang lebih sesuai dengan tuntutan desain dan performa perkerasan jalan. Melalui pendekatan ini, *Performance Grades* memberikan solusi yang lebih terperinci dan akurat terhadap tantangan pengembangan infrastruktur jalan raya modern, menjamin ketahanan dan kinerja yang superior dalam berbagai kondisi lingkungan dan lalu lintas.

2.7 Penelitian Terdahulu

Ada beberapa penelitian yang menganalisis karakteristik limbah perkerasan jalan. Di bawah ini adalah beberapa penelitian yang berkaitan dengan analisis karakteristik aspal dari limbah perkerasan jalan

1. Performance Analysis of Resilient Modulus and Farigue Resistance of AC-BC Mixture with Full Extracted Asbuton and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) (Andhika Putra et al., 2021)

Penelitian menghasilkan temuan bahwa penggunaan material RAP dengan aspal modifikasi (Asbuton murni) dapat meningkatkan kekakuan aspal. Salah satu campuran khusus, dengan kadar Asbuton murni 6% dan kadar material RAP 50%, mencapai kinerja tertinggi dengan nilai stabilitas maksimal dalam uji Marshall, Modulus Resilien tinggi pada temperatur pengujian 45°C, dan umur kelelahan paling panjang dalam pengujian ketahanan terhadap kelelahan. Selain itu, karakteristik material RAP asphalt yang dihasilkan dari penelitian ini mencakup *Asphalt Penetration* (dmm) sebesar 10,80, *Asphalt Specific Gravity* sebesar 1,142, *Softening Point* (°C) sebesar 75,50, dan *Flash Point* (°C) sebesar 332.

2. Development of Resilient Modulus Model Proposed For Bio-Asphalt As Modifier In Asphalt Concrete Containing Reclaimed Asphalt Pavement (Sihombing et al., 2020)

Hasil penelitian menunjukkan peningkatan Smix seiring dengan peningkatan proporsi RAP, menunjukkan peningkatan ikatan antara bitumen RAP dan agregat. Meskipun nilai Smix melebihi campuran kontrol, kinerja khas BioCS terlihat dalam produksi Smix. Sebagai tambahan, penelitian ini mencatat properti bitumen RAP, termasuk penetrasi (25 °C, 100g, 5 detik) sebesar 10, *ductility* (10 °C, 5cm/menit) sebesar 38, dan *softening point* sebesar 80 °C. Oleh karena itu, penelitian ini menyimpulkan bahwa penggunaan biomassa cangkang kelapa sebagai bio-aspal memiliki potensi sebagai bahan perkerasan yang dapat diperbaharui dan berkelanjutan, sebagaimana ditunjukkan oleh hasil pengujian pada campuran aspal AC-WC.

3. Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) (Maha et al., 2015)

Temuan dari penelitian menunjukkan bahwa campuran beraspal hangat (SASO) dan campuran beraspal hangat dengan RAP (SASORAP) memiliki kinerja superior dibandingkan dengan campuran beraspal panas konvensional (HM) dari segi modulus resilien dan ketahanan terhadap kelelahan. Pengujian terhadap JMF 2009 mengungkapkan karakteristik material, seperti Kadar Aspal sebesar 5,9%, Kadar Air 1,50%, Penetrasi 63,7 Dmm, Titik Melembek 48,9 °C, dan Daktilitas lebih dari 140 dengan panjang 27 cm.

4. Effects of Cement and Emulsified Asphalt on Properties of Mastics and 100% Cold Recycled Asphalt Mixtures (Li et al., 2019)

Dari penelitian yang dilakukan, terlihat bahwa campuran Aspal Dingin yang Didaur Ulang (CRAM) terbukti menjadi metode yang ekonomis dan ramah lingkungan untuk menggunakan kembali 100% *Reclaimed Asphalt Pavement* (RAP), seperti yang terlihat dari penentuan eksperimental gradasi. Penelitian ini mengevaluasi sifat rheological dan mikro struktur

dari berbagai mastik, termasuk mineral filler-asphalt, mineral filler-residue, dan cement-residue mastik. Perlu dicatat bahwa penambahan semen secara signifikan meningkatkan ikatan antarmuka dalam mastik, meningkatkan ketahanan terhadap kerusakan akibat air dan stabilitas pada suhu tinggi CRAM. Selain itu, penelitian ini menetapkan bahwa dalam kondisi tertentu, properti CRAM sesuai dengan spesifikasi teknis yang relevan untuk aplikasi lapisan bawah permukaan jalan. Secara bersamaan, aspal daur ulang yang diekstraksi dari RAP, dengan penetrasi sebesar 20 dan *ductility* sebesar 34,5 cm, menunjukkan penuaan yang signifikan. Meskipun demikian, aspal ini tetap berperan penting dalam proses difusi binder aspal yang baru ditambahkan, seperti titik lembek sebesar 65°C dan viskositas dinamis sebesar 544 Pa·s pada suhu 60°C.

III. METODELOGI PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Inti Jalan Raya Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung selama 3 bulan

3.2 Pelaksanaan Pengujian

Prosedur penelitian yang akan dilaksanakan mulai dari awal sampai akhir dijelaskan secara berurutan sebagai berikut:

3.3 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan untuk melakukan penelitian ini adalah hasil pengupasan perkerasan jalan Soekarno-Hatta Panjang, Bandar Lampung.

3.4 Tahapan dan Metode Penelitian

Tahapan penelitian ini terdiri dari dua tahap, tahap pertama terdiri dari pengumpulan data dan tahap kedua yaitu uji laboratorium untuk mengetahui karakteristik material bahan pengikat hasil dari limbah perkerasan jalan. Selanjutnya hasil akhir yang diperoleh dari analisis ini dibandingkan dengan Spesifikasi Bina Marga 2020. Penelitian ini dilakukan dengan langkah-langkah berikut :

1. Penetapan judul penelitian dengan mengkaji latar belakang permasalahan dengan gambaran umum dilanjutkan dengan merumuskan permasalahan yang akan diteliti serta tujuan.

2. Tinjauan Pustaka, melakukan kajian teori serta Norma, Standar, Peraturan, Dan Manual (NSPM) yang menunjang pemecahan permasalahan yang akan dibahas. Kajian ini meliputi pembahasan tentang bagaimana karakteristik bahan pengikat hasil limbah perkerasan jalan yang didapatkan dari proses pemisahan zat teralur hasil ekstraksi menggunakan pertalite yang kemudian dipisahkan dengan cara evaporasi.

3. Pengumpulan data

Data yang dikumpulkan berupa data primer yang diperoleh secara langsung dari lokasi tempat penelitian serta dari hasil pengamatan laboratorium. Data yang digunakan dalam penelitian kali ini adalah analisis kandungan aspal hasil ekstraksi sesuai dengan SNI 03-3640-1994 dengan limbah perkerasan jalan yang kemudian di dapat pemisahan antara agregat dan aspal. Untuk mendapatkan aspal murni dari hasil ekstraksi perlu dilakukan pemulihan aspal sesuai dengan AASHTO T-170 dimanau aspal (dari hasil ekstraksi) yang masih bercampur dengan pertalit di pisahkan dengan cara evaporasi agar diperoleh aspal murni. Data-data yang diperoleh dari sini adalah :

- Sifat Fisik bahan pengikat hasil dari limbah perkerasan jalan di Ruas Jalan Soekarno-Hatta.
- Metode Pemulihan Aspal hasil ekstraksi.

4. Pengolahan dan Analisis Data

Melakukan analisis data yang berkaitan dengan perhitungan seberapa

3.5 Ekstraksi

Penelitian ini memanfaatkan pedoman SNI 03-6894-2002, yang mengacu pada metode ekstraksi sentrifugal sebagai cara untuk menguji kandungan aspal dengan memisahkan campuran melalui proses pengadukan larutan dan benda uji secara mekanis. Digunakan larutan pertalit dalam proses ekstraksi sebagai pelarut (Sastri & Oktaviani, 2021).

- Alat dan bahan yang digunakan :

Bahan-bahan yang digunakan pada pengujian ekstraksi kadar aspal adalah sampel limbah perkerasan jalan lapangan , larutan pertalite.

Sedangkan untuk alat pengujian menggunakan alat berikut:

 1. Alat ekstraksi sentrifus yang dilengkapi dengan cawan, kecepatan putaran alat bervariasi hingga 3600 rpm (radius per menit)
 2. Kertas saring atau filter dengan berbentuk lingkaran yang bagian tengah berlubang dengan tebal $(0,125 \pm 0,0125)$ cm
 3. Timbangan digital
 4. Oven dengan alat pengatur suhu (110 ± 5) °C
 5. Gelas kimia
 6. Wadah

- Langkah langkah pengujian yaitu sebagai berikut :
 1. Siapkan peralatan dan benda uji
 2. Timbang benda uji dan saringan (filter) sebelum melakukan ekstraksi kadar aspal
 3. Letakan benda uji pada cawan mesin *centrifuge extractor*
 4. Tambahkan pelarut pertalite sebanyak ± 500 ml untuk masingmasing benda uji sampai terendam
 5. Pasang filter atau kertas saring di atas cawan dan memasang penutup *centrifuge extractor* serta menguncinya
 6. Letakkan gelas kimia di bawah lubang pengeluaran larutan untuk mengumpulkan larutannya
 7. Jalankan sentrifus pada putaran rendah kemudian makin tinggi hingga 3600 rpm
 8. Hentikan alat sentrifus setelah tidak ada larutan yang mengalir dari lubang pembuangan
 9. Tambahkan 200 ml pelarut (sesuai jumlah sampel) pertalite atau pertamax melalui lubang pada penutup cawan
 10. Ulangi Langkah 8 hingga Langkah 10 sampai larutan yang keluar dari mesin bersih atau jernih

11. Penimbangan filter sesudah pengujian ekstraksi
12. Setelah selesai, lalu keluarkan benda uji (agregat) beserta kertas filter yang tetinggal dalam alat dan ditempatkan dalam cawan kemudian di oven
13. Agregat didinginkan terlebih dahulu, lalu timbang
14. Menghitung nilai kadar aspal
15. Menghitung analisis saringan
16. Mengulangi langkah tersebut untuk sampel berikutnya

3.6 Evaporasi

Evaporasi adalah proses pemisahan zat padat yang tidak mudah menguap dalam larutan dengan menguapkan cairan, meninggalkan zat padat yang terkonsentrasi.

- Alat dan bahan yang digunakan :
 1. Larutan campuran aspal dan pertalit.
 2. Wadah evaporasi.
 3. Pemanas atau sumber panas.
 4. Timbangan atau alat pengukur volume.
 5. Jam atau alat pemantau waktu.
- Langkah langkah percobaan yaitu sebagai berikut :
 1. Persiapkan campuran aspal dan pertalit dalam suatu wadah evaporasi.
 2. Tempatkan wadah di atas sumber panas untuk memanaskan campuran.
 3. Biarkan campuran menguap, meninggalkan zat padat yang terkonsentrasi.
 4. Catat waktu dan perubahan fisik selama proses evaporasi.
 5. Hentikan pemanasan setelah proses dianggap cukup.
 6. Timbang atau ukur volume zat padat yang tersisa untuk evaluasi hasil.
 7. Analisis hasil dan efektivitas metode evaporasi

3.7 Pengujian Benda Uji

Dalam penelitian ini alat-alat yang digunakan berasal dan tersedia di Laboratorium Jalan Raya Teknik Sipil Universitas Lampung. Jenis dan standar pengujian bahan pengikat campuran perkerasan ini sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga 2018.

Benda Uji yang di dapat dari proses ekstraksi limbah perkerasan jalan berupa aspal murni hasil pemulihan menggunakan cara evaporasi yang kemudian akan di uji dengan pengujian aspal menurut Spesifikasi Bina Marga 2018 yang akan di uji melalui tahapan benda uji sebagai berikut:

3.7.1 Pengujian Berat Jenis Aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dengan berat air suling, dengan isi yang sama pada suhu tertentu. Tujuan percobaan ini yaitu untuk untuk menentukan berat jenis aspal dengan menggunakan alat piknometer.

- Alat dan bahan yang digunakan:
 1. Tabung Piknometer
 2. Air Suling
 3. Timbangan dengan kapasitas 5000 gr dan ketelitian 0,01 gr
 4. Aspal
- Langkah Langkah percobaan:
 1. Membersihkan, dan mengeringkan piknometer
 2. Menimbang piknometer dengan ketelitian 0,01 gram (di dapat A gram)
 3. Menimbang piknometer yang berisi air suling penuh dengan ketelitian 0,01 gram (didapat berat B gram)
 4. Menimbang piknometer dengan penutupnya yang telah terisi benda uji dengan ketelitian 0,01 gram.
 5. Mengisi piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan menutupnya tanpa di tekan, lalu mendiamkan agar gelembung

udara keluar. Kemudian menimbang piknometer beserta aspal dan air suling di dalamnya.

3.7.2 Pengujian Penetrasi Aspal

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan penetrasi bitumen keras atau lembek (solid atau semi solid) dengan memasukkan jarum penetrasi ukuran tertentu, dengan beban dan waktu tertentu ke dalam bitumen pada suhu tertentu.

Prosedur pengujian penetrasi adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dengan cawan contoh, setelah dingin, dimasukkan ke dalam bejana air bersuhu konstan 25°C. Benda uji didiamkan ± 30 ñ 60 menit.
2. Alat penetrasi dipersiapkan dengan memasang jarum penetrasi pada pemegang jarum. Dial gauge diatur hingga terletak pada angka nol. Pemberat sebesar 50 gr telah diletakkan untuk memperoleh beban sebesar $(100 \pm 0,1 \text{ gr})$.
3. Setelah 30 ñ 60 menit, cawan contoh dipindahkan ke tempat air yang berada di bawah alat penetrasi yang suhu airnya juga dikontrol bersuh 25°C.
4. Jarum diturunkan perlahan hingga jarum menyentuh permukaan benda contoh.
5. Lalu pemegang jarum dilepas serentak dengan dimulainya waktu pada stop watch. Lama penetrasi adalah 5 detik.
6. Setelah 5 detik, angka pada dial gauge alat penetrasi dibaca kemudian dicatat.
7. Jarum penetrasi kemudian diangkat perlahan untuk mempersiapkan alat untuk uji coba berikutnya
8. Langkah ñ langkah a hingga g diulang hingga 4 kali sehingga kita mendapatkan 5 hasil bacaan dengan jarak antara satu lubang dengan lubang lainnya $\pm 1 \text{ cm}$.
9. Langkah ñ langkah a hingga i diulang kembali untuk benda uji 2.

3.7.3 Pengujian Titik Lembek

Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan titik lembek aspal dan ter yang berkisar antara 30°C sampai 200°C. Yang dimaksud dengan titik lembek adalah suhu pada saat bola baja, dengan berat tertentu, mendesak turun suatu lapisan aspal atau ter yang tertahan dalam cincin berukuran tertentu, sehingga aspal atau ter menyentuh pelat dasar yang terletak di bawah cincin pada tinggi tertentu, sebagai akibat kecepatan pemanasan tertentu. Pada pengujian titik lembek, sampel dibuat sebanyak tiga (3) benda uji per kondisi.

Prosedur pengujian titik lembek adalah sebagai berikut:

1. Benda uji dipasang dan diatur di atas dudukannya dan pengarah bola diletakkan di atasnya. Kemudian seluruh peralatan tersebut dimasukkan ke dalam bejana gelas.
2. Bejana diisi dengan air suling baru, dengan suhu (5 ± 1) °C sehingga tinggi permukaan air berkisar antara 101.6 ñ 108 mm. Termometer yang sesuai untuk pekerjaan ini diletakkan diantara kedua benda uji (kurang lebih 12.7 mm dari tiap cincin).
3. Jarak antara permukaan pelat dasar benda uji diatur sehingga menjadi 25.4 mm. Bola ñ bola baja yang bersuhu 50°C diletakkan di atas dan di tengah permukaan masing ñ masing benda uji yang bersuhu 50°C menggunakan penjepit dengan bantuan pengarah bola.
4. Bejana dipanaskan dengan kecepatan pemanasan 50°C per menit. Kecepatan pemanasan ini tidak boleh diambil dari kecepatan pemanasan rata ñ rata dari awal dan akhir pekerjaan ini. Untuk 3 menit berikutnya, perbedaan kecepatan pemanasan per menit tidak boleh melebihi 0,50°C.

3.7.4 Pengujian Daktilitas

Maksud pemeriksaan ini adalah mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada

suhu dan kecepatan tarik tertentu. Pada pengujian Daktilitas, sampel dibuat tiga (3) per kondisi. Setelah dilakukan pembentukan benda uji, dilakukan tahap pengujian daktilitas:

1. Benda uji didiamkan pada suhu 25 °C dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit.
2. kemudian benda uji dilepaskan dari pelat dasar dan sisi - sisi cetaknya.
3. Benda uji dipasang pada alat mesin uji dan ditarik secara teratur dengan kecepatan 5 cm/menit, sampai benda uji putus. Perbedaan kecepatan lebih kurang 5% masih diizinkan. Jarak dibaca antara pemegang cetakan, pada saat benda uji putus (dalam cm).
4. Selama percobaan berlangsung benda selalu terendam sekurang-kurangnya 2,5 cm dari air dan suhu dipertahankan tetap (25 ± 0.5) °C.
5. Apabila benda uji menyentuh dasar mesin uji atau terapung pada permukaan air maka pengujian dianggap tidak normal; untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda uji dengan menambah methyl alkohol atau glycerin, apabila pemeriksaan normal tidak berhasil setelah dilakukan 3 kali maka dilaporkan bahwa pengujian daktilitas bintumen tersebut gagal.

3.7.5 RTFOT (*Thin Film Oven Test*)

Pengujian RTFOT (*Rolling Thin-Film Oven Test*) digunakan untuk mengevaluasi efek panas dan udara terhadap bahan pengikat aspal. Penelitian ini menggunakan rujukan AASHTO T240-13. Pengujian ini penting dalam industri konstruksi jalan untuk memahami bagaimana sifat-sifat aspal berubah setelah mengalami paparan panas dan udara, yang dapat mempengaruhi kinerja aspal dalam campuran aspal.

Berikut adalah poin-poin prosedur pengujian RTFOT:

1. Persiapan Sampel: Film tipis bahan aspal ditempatkan dalam oven pada suhu dan waktu tertentu.
2. Pemanasan: Sampel dipanaskan dalam oven selama periode waktu tertentu pada suhu tertentu (misalnya, 163°C) untuk menstimulasikan kondisi lapangan.
3. Pengukuran: Efek panas dan udara dievaluasi dengan mengukur perubahan sifat fisik sampel sebelum dan setelah perlakuan oven.
4. Pengujian Residu: Residu dari pengujian ini juga dapat digunakan untuk pengujian tambahan sesuai kebutuhan standar yang berlaku.
5. Perhitungan Perubahan Massa: Opsional, perubahan massa sampel juga dapat dihitung untuk mengetahui perubahan massa persen dari bahan aspal asli.

Penting untuk mengikuti prosedur pengujian dengan cermat sesuai standar yang berlaku.

3.7.6 *Preassured Aging Vassel (PAV)*

Pengujian PAV (*Pressurized Aging Vessel*) digunakan untuk mempercepat proses penuaan (oksidasi) dari campuran aspal dengan menggunakan udara bertekanan dan suhu tinggi. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk menstimulasikan proses penuaan oksidatif yang terjadi pada campuran aspal selama penggunaan di lapangan, dan pengujian ini dimaksudkan untuk digunakan dengan residu dari T 240 (RTFOT).

Berikut adalah poin-poin prosedur pengujian PAV berdasarkan informasi yang terdapat dalam dokumen tersebut:

1. Persiapan Sampel:
 - Kondisikan campuran aspal sesuai dengan T 240 (RTFOT).
 - Setelah menggabungkan residu RTFOT ke dalam satu wadah dan mencampur sesuai dengan spesifikasi T 240, tuangkan

residu panas langsung ke dalam panci baja tahan karat untuk kondisioning langsung di PAV.

- Tempatkan pemegang panci di dalam pressure vessel.
 - Pilih suhu penuaan dan panaskan pressure vessel hingga suhu penuaan yang dipilih .
2. Pengaturan Suhu dan Tekanan:
- Pilih suhu penuaan yang diinginkan dan panaskan pressure vessel hingga suhu penuaan yang dipilih.
 - Lakukan beberapa tes untuk menentukan suhu optimum di mana tekanan diterapkan pada pressure vessel.
 - Saat suhu di dalam pressure vessel berada dalam 10°C dari suhu penuaan, terapkan tekanan udara sebesar $2.1 \pm 0.1 \text{ MPa}$.
3. Pengendalian Tekanan dan Suhu:
- Pastikan terdapat pressure release valve untuk mencegah tekanan di dalam vessel melebihi 2.2 MPa .
 - Gunakan pressure regulator yang mampu mengontrol tekanan di dalam vessel dengan ketelitian ± 1 persen, dan dengan kapasitas yang cukup untuk menjaga tekanan di dalam vessel pada $2.1 \pm 0.1 \text{ MPa}$.
 - Gunakan slow release bleed valve yang memungkinkan tekanan di dalam vessel pada akhir prosedur kondisioning untuk dikurangi secara linear dari 2.1 MPa ke tekanan atmosfer lokal dalam 9 ± 1 menit .
4. Pelaporan Hasil:
- Laporkan informasi identifikasi sampel, suhu penuaan uji terdekat, waktu total selama penuaan di luar rentang suhu yang ditentukan, waktu total penuaan, dan suhu pemanasan jika suhu di atas 163°C diperlukan selama penanganan bahan .

3.7.7 Viskositas

Pengujian viskositas aspal minyak dengan alat Brookfield termosel merupakan metode untuk mengukur kemampuan aspal dalam mengalir pada berbagai rentang suhu. Alat Brookfield termosel memungkinkan pengujian dilakukan pada suhu yang dikontrol secara presisi, sehingga memungkinkan untuk memahami perubahan viskositas aspal seiring dengan perubahan suhu. Proses pengujian ini membantu dalam mengevaluasi kualitas aspal serta memprediksi perilaku aspal dalam aplikasi praktis, seperti konstruksi jalan. Dengan demikian, pengujian viskositas aspal minyak dengan alat Brookfield termosel memberikan informasi yang penting untuk memastikan performa dan keandalan aspal dalam berbagai kondisi lingkungan.

Berikut adalah prosedur umum pengujian viskositas aspal menggunakan alat Brookfield:

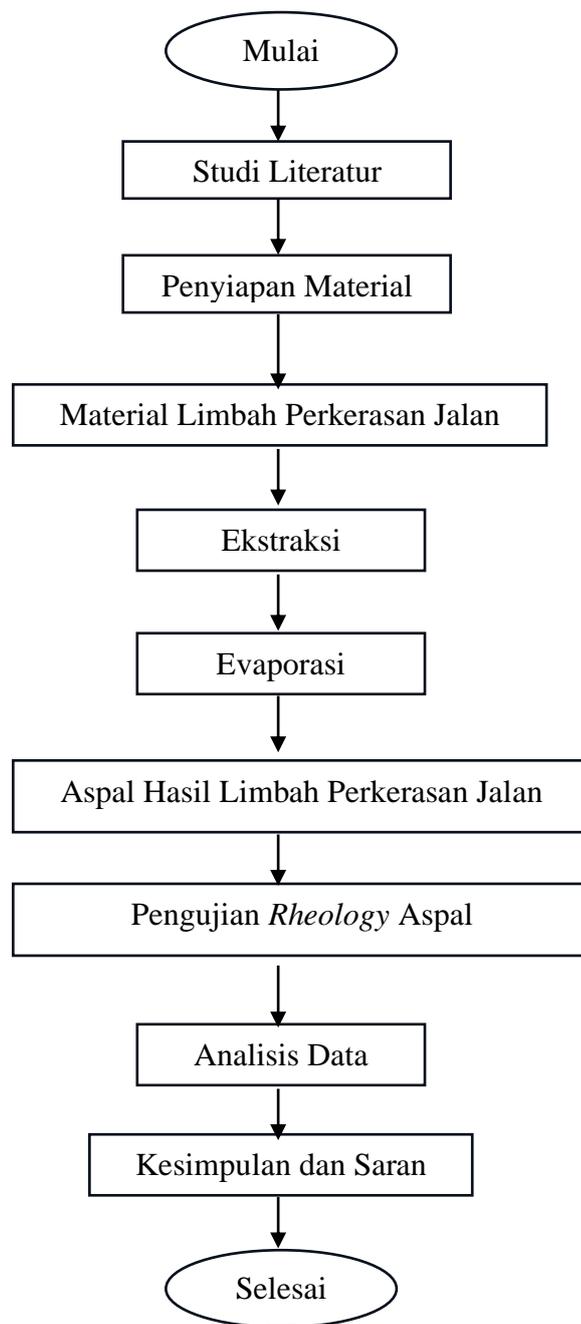
1. Persiapan Sampel:
 - Ambil sampel aspal yang akan diuji.
 - Panaskan sampel aspal hingga mencapai suhu yang diinginkan sesuai dengan standar pengujian.
2. Persiapan Alat Brookfield:
 - Pastikan alat Brookfield dalam kondisi baik dan terkalibrasi.
 - Pasang spindel yang sesuai dengan viskositas yang akan diukur. Atur kecepatan putaran spindel sesuai dengan standar pengujian.
3. Pengujian Viskositas:
 - Masukkan sampel aspal ke dalam cangkir pengujian alat Brookfield.
 - Mulai putar spindel dengan kecepatan yang telah diatur.
 - Catat nilai viskositas yang ditunjukkan pada layar alat pada interval waktu tertentu.
 - Ulangi pengujian dengan variasi suhu dan kecepatan putaran sesuai kebutuhan.

4. Analisis Data:

- Setelah selesai pengujian, analisis data viskositas untuk mengevaluasi karakteristik aspal yang diuji. Bandingkan hasil pengujian dengan standar viskositas yang ditetapkan untuk menentukan kualitas aspal.

Pengujian viskositas aspal dengan alat Brookfield penting untuk memastikan kualitas dan performa aspal dalam aplikasi konstruksi jalan. Dengan mengikuti prosedur pengujian yang benar, dapat memastikan hasil pengujian yang akurat dan dapat diandalkan.

3.8 Bagan Alir Penelitian



Gambar 3.1. Gambar Bagan alir penelitian.

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengujian dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

1. Hasil pengujian menunjukkan variasi dari standar yang ditetapkan bahwa hasil uji RTFOT adalah 2,845%, mendekati batas maksimal standar sebesar 3,5%. Namun, nilai penetrasi menunjukkan penurunan sebesar 9,33 mm, yang tidak memenuhi standar minimal 10 mm. Daktilitas juga tidak memenuhi standar dengan nilai 5,75 mm, di mana standarnya berkisar antara 100-200 cm. Viskositas menunjukkan temperatur pencampuran 173-193 °C lebih tinggi dari standar, tetapi temperatur pemadatan 145-159 °C masih dalam batas yang diizinkan. Uji DSR menunjukkan penurunan signifikan pada suhu 82°C, dengan modulus geser turun menjadi 5,82 kPa dari 117 kPa pada suhu 58°C.
2. Ditemukan bahwa aspal bekas pakai mengalami persentase kehilangan berat rata-rata sebesar 2,845 % selama uji RTFOT, menunjukkan sejauh mana aspal tersebut tahan terhadap proses penuaan yang mana standar yang ditetapkan maksimal 3%.Terjadi penurunan nilai penetrasi sebesar 9,33 mm, menandakan penurunan konsistensi aspal bekas pakai dibandingkan dengan aspal baru yang nilainya 60-70 mm. Modulus geser rata-rata pada aspal bekas pakai adalah 117 kPa pada suhu 58°C, sedangkan aspal baru adalah 4,71 KPa pada suhu 58°C, mengindikasikan perbedaan respons mekanik terhadap gaya geser dan deformasi. Titik lembek aspal bekas pakai adalah 75°C, dibandingkan dengan standar 48°C-58°C, yang mempengaruhi konsistensi aspal dalam berbagai suhu. Selain itu, panjang retakan pada uji daktilitas untuk aspal bekas pakai adalah 5,75 cm, dibandingkan dengan standar 100-200 cm, mencerminkan kemampuan aspal bekas pakai untuk menahan deformasi sebelum pecah.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil pengujian bahan aspal bekas pakai (RAB) yang telah dilakukan dalam penelitian ini, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan selanjutnya, antara lain:

1. Salah satu saran yang perlu dipertimbangkan adalah perlunya dilakukan penelitian lebih lanjut yang lebih mendalam untuk memperbaiki karakteristik material aspal bekas pakai sehingga dapat memenuhi standar yang ditetapkan. Penelitian lanjutan ini dapat mencakup studi tentang berbagai teknik modifikasi, proses pengolahan yang lebih efisien, serta pengembangan formulasi campuran aspal yang optimal.
2. Penggunaan teknik pengujian yang lebih canggih dan akurat juga merupakan hal yang sangat penting dalam evaluasi sifat-sifat aspal dengan lebih detail. Dengan mempertimbangkan penggunaan metode pengujian yang lebih teliti, informasi yang lebih akurat mengenai karakteristik material aspal bekas pakai dapat diperoleh, memungkinkan analisis yang lebih mendalam terhadap kualitas aspal tersebut.
3. Evaluasi terhadap proses pengolahan aspal bekas pakai juga perlu diperhatikan secara serius guna meningkatkan kualitasnya. Optimalisasi proses ini melalui penggunaan teknologi dan metode pengolahan yang tepat dapat memberikan kontribusi besar dalam memperbaiki sifat-sifat aspal bekas pakai sehingga sesuai dengan standar yang berlaku.

Dengan mengimplementasikan saran-saran di atas, diharapkan pengembangan material aspal bekas pakai (RAB) dapat menjadi lebih baik dan sesuai dengan standar yang ditetapkan, serta memberikan kontribusi positif dalam pembangunan infrastruktur jalan yang berkualitas.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdul Latif, A. N. L. A. (2014). *Comparison Of Bitumen Rheological Properties Between 60/70 And 80/100 Grade Penetration Bitumen*.
- Admin. (2023). Evaporasi adalah: Pengertian, Proses, Faktor, dan Contoh. *Freedomsia*. <https://www.freedomsiana.id/evaporasi-adalah/>
- Al-Qadi, I. L., Elseifi, M., & Carpenter, S. H. (2007). *Reclaimed asphalt pavement—a literature review*.
- Amirkhanian, S. N., & Williams, B. (1993). Recyclability of moisture damaged flexible pavements. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 5(4), 510–530.
- Andhika Putra, T., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2021). Performance Analysis of Resilient Modulus and Fatigue Resistance of AC-BC Mixture with Full Extracted Asbuton and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Teknik Sipil*, 28(3), 349–358. <https://doi.org/10.5614/jts.2021.28.3.12>
- Ariawan, I. M. A. (2017). Analisis Modulus Kompleks Geser (G*) Aspal Akibat Perubahan Karakteristik Viscous Elastic Aspal Karena Penuaan. *Konferensi Nasional Teknik Sipil 11*, 2, 89–90.
- Badan Standarisasi Nasional. (2015). *SNI 8198:2015 Tentang Spesifikasi campuran beraspal panas bergradasi menerus (Laston)*.
- Bella, A. (2024). *Evaporasi adalah*. Pakdosen.co.id. <https://pakdosen.co.id/evaporasi-adalah/>
- Cheng, L., Zhang, L., Zhang, F., Zhang, D., & Ma, Y. (2023). Evaluation of the effects of asphalt binder aging degree on the curing, compatibility, and mechanical behaviors of epoxy asphalt binders. *Construction and Building Materials*, 377, 131131. <https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.131131>
- Copeland, A. (2011). *Reclaimed asphalt pavement in asphalt mixtures: State of the practice*. United States. Federal Highway Administration. Office of

Research

- Direktorat Jenderal Bina Marga. (2018). *spesifikasi umum 2018 untuk pekerjaan konstruksi jalan dan jembatan*.
- Hamzaoui, R., Guessasma, S., & Bennabi, A. (2013). Characterization of the viscoelastic behavior of the pure bitumen grades 10/20 and 35/50 with macroindentation and finite element computation. *Journal of Applied Polymer Science*, *130*(5), 3440–3450.
- Hansen, K. R., Copeland, A., & Association, N. A. P. (2013). *Annual asphalt pavement industry survey on recycled materials and warm-mix asphalt usage: 2009-2012*. National Asphalt Pavement Association.
- Indriyati, E. W., & Susanto, H. A. (2015). Kajian Sifat-Sifat Reologi Aspal dengan Penambahan Limbah Ban Bekas. *Dinamika Rekayasa*, *11*(1), 24–28.
- Jones, R., & Brown, K. (2018). Asphalt Recycling: Methods and Applications. *International Journal of Civil Engineering*, *12*, 235–248.
- Karlsson, R., & Isacson, U. (2006). Material-related aspects of asphalt recycling—state-of-the-art. *Journal of materials in civil Engineering*, *18*(1), 81–92.
- Kementerian Pekerjaan Umum. (2011). *Pemerintah Harus Tingkatkan Produksi Dan Pemanfaatan Asbuton*. <https://pu.go.id/berita/pemerintah-harus-tingkatkan-produksi-dan-pemanfaatan-asbuton>
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2020). *Laporan Kinerja Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat*.
- Kemp, G. R., & Predoehl, N. H. (1981). A comparison of field and laboratory environments on asphalt durability. *Association of Asphalt Paving Technologists Proceedings*, *50*.
- Kennedy, T. W., Tam, W. O., & Solaimanian, M. (1998). Optimizing use of reclaimed asphalt pavement with the Superpave system. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, *67*.
- Li, Y., Lyv, Y., Fan, L., & Zhang, Y. (2019). Effects of cement and emulsified asphalt on properties of mastics and 100% cold recycled asphalt mixtures. *Materials*, *12*(5). <https://doi.org/10.3390/ma12050754>

- Lu, P., Ma, Y., Ye, K., & Huang, S. (2022). Analysis of high-temperature performance of polymer-modified asphalts through molecular dynamics simulations and experiments. *Construction and Building Materials*, 350, 128903. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128903>
- Maha, I., Sugeng, B., Affendi, F., & Rahman, H. (2015). Kinerja Campuran Beraspal Hangat Laston Lapis Pengikat (AC-BC) dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). *Jurnal Teknik Sipil*, 22(1), 57–66.
- McMillan, C., & Palsat, D. (1985). Alberta's experience in asphalt recycling. *Proceedings of the Canadian Technical Asphalt Association*, 30, 148–167.
- Novriyadi. (2023). Apa Itu Evaporasi? Serta Faktor yang Mempengaruhinya. *Lamudi*. <https://www.lamudi.co.id/journal/apa-itu-evaporasi/>
- Permana, I. (2015). Analisis Penggunaan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Sebagai Bahan Campuran Aspal Dingin Bergradaasi terbuka dengan Menggunakan Aspal Emulsi Jenis Kationik (Studi Kasus Material RAP dari Jalan Ir. Soekarno Tabanan). *Skripsi. Jurusan Teknik Sipil Institut Teknologi Sepuluh November*.
- Putra, I. G. A. A. (2023). Analysis Of Complex Shear Modulus Asphalt (G^*) And Phase Angle ($\hat{\Gamma}$) On 60/70 Penetration Asphalt With The Addition Of Mask Waste Content. *Journal of Civil Engineering and Planning (JCEP)*, 4(2), 277–284.
- Roberts, F. L., Kandhal, P. S., Brown, E. R., Lee, D.-Y., & Kennedy, T. W. (1996). *Hot mix asphalt materials, mixture design and construction*.
- Sains. (2023). *Apa itu Evaporasi? Ini Faktor, Proses, Contoh dan Pengaplikasiannya Berbagai Bidang*. Bangun Pendidikan. <https://bangunpendidikan.com/evaporasi>
- Sastri, F., & Oktaviani, O. (2021). Pengaruh Ekstraksi Kadar Aspal Dengan Larutan Pertamax Dan Peralite. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 17(3), 259–266.
- Setiawan, H., & Pradani, N. (2013). Analisis Sifat Fisik Material Perkerasan Jalan Hasil Daur Ulang. *Jurnal Teknik Sipil Dan Infrastruktur*, 3(2).
- Shiao, Y., Changjun, Z., & Yiren, S. (2022). Evaluation of Rejuvenated Aged-Asphalt Binder by Waste-Cooking Oil with Secondary Aging Considered. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 34(8), 4022157.

[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)MT.1943-5533.0004306](https://doi.org/10.1061/(ASCE)MT.1943-5533.0004306)

- Sihombing, A. V. R., Subagio, B. S., & Hariyadi, E. S. (2018). Potensi Bioaspal pada Bahan Daur Ulang Aspal dan Campuran Beraspal Hangat. *Jurnal Transportasi*, 18(1), 59–66.
- Sihombing, A. V. R., Subagio, B. S., Hariyadi, E. S., & Yamin, A. (2020). Development of resilient modulus model proposed for bio-asphalt as modifier in asphalt concrete containing reclaimed asphalt pavement. *International Journal of GEOMATE*, 19(71), 130–136. <https://doi.org/10.21660/2020.71.68349>
- Smiljanic, M., Stefanovic, J., Neumann, H. J., Rahimian, I., & Jovanovic, J. (1993). Ageing of asphalt on paved roads; Characterization of asphalt extracted from the wearing course of the Belgrade-Nis highway. *Erdoel und Kohle Erdgas Petrochemie vereinigt mit Brennstoff-Chemie;(Germany)*, 46(6).
- Smith, J., Johnson, A., & Williams, B. (2020). Advances in Asphalt Extraction Techniques. *Journal of Construction Materials*, 25, 112–125.
- Sukirman, S. (1999). *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.
- Suprpto. (2004). *BAHAN DAN STRUKTUR JALAN RAYA* (Anjangsono, N. Adilla, & Riza Ainu (ed.); Vol. 3). KMTS FT UGM.
- Suroso, T. W. (2005). Hubungan antara Komposisi Kimia Aspal dan Sifat Rheologi Aspal. *Jurnal Jalan-Jembatan*, Vol 22 No 1 (2005), 5. <https://binamarga.pu.go.id/jurnal/index.php/jurnaljalanjembatan/article/view/379/271>
- Widajat, D. (2009). Uji coba teknologi daur ulang campuran dingin dengan foam bitumen pada jalan Pantura Jawa Barat. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 26(1), 57–72.
- Yamin, R. A., & Widajat, D. (2008). Penggunaan Foam Bitumen Untuk Daur Ulang Perkerasan Jalan. *Pusat Litbang Jalan dan Jembatan. Bandung*.
- Zaumanis, M., Mallick, R. B., & Frank, R. (2015). Evaluation of different recycling agents for restoring aged asphalt binder and performance of 100% recycled asphalt. *Materials and Structures*, 48, 2475–2488.
- Zoorob, S. E., & Airey, G. D. (2005). An Investigation into the Effect of

Composition on Performance of Penetration Grade Road Bitumens, Part 1: SARA Analysis. *Proceedings of the 3rd International SIV Congress, Nottingham, UK, 22–24.*