

TUGAS AKHIR

**KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN ASPAL
MENGUNAKAN MINYAK KELAPA SAWIT**

**INDIRECT TENSILE STRENGTH OF ASPHALT MIXED
USING PALM OIL**

AZWAR MUFTIAZA

D011 17 1521



PROGRAM SARJANA DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS HASANUDDIN

2022

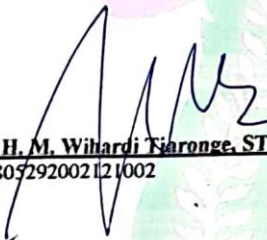
LEMBAR PENGESAHAN (TUGAS AKHIR)**KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN
MINYAK KELAPA SAWIT****Disusun dan diajukan oleh:****AZWAR MUFTIAZA****D011 17 1521**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka Penyelesaian Studi Program Sarjana Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 21 Oktober 2022 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan


menyetujui,

Pembimbing I,

Pembimbing II,




Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002



Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, S.T., M.T
NIP: 197309262000121002

Ketua Program Studi,



Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST, M.Eng
NIP: 196805292002121002

PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Azwar Muftiaza
NIM : D011 17 1521
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S1

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul:

KUAT TARIK CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN MINYAK KELAPA SAWIT

Adalah karya tulisan saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa Skripsi/Tesis/Disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan Skripsi/Tesis/Disertasi ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Gowa, 13 Oktober 2022

Yang membuat pernyataan,

A 10,000 Rupiah Indonesian banknote is shown with a signature over it. The banknote features the Garuda Pancasila emblem and the text 'DUA BELAS RIBU RUPIAH' and 'DUA BELAS RIBU RUPIAH'. The signature is written in black ink over the banknote.

Azwar Muftiaza

NIM: D011 17 1521

KATA PENGANTAR

Puji dan syukur kita panjatkan ke-hadirat Tuhan Yang Maha Esa, atas berkat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir yang berjudul **“KUAT TARIK CAMPURAN ASPAL MENGGUNAKAN MINYAK KELAPA SAWIT”** yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Oleh karena itu, dengan segala ketulusan, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada :

1. **Bapak Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST, MT.**, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing II yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
2. **Bapak Prof. Dr. H. M Wihardi Tjaronge ST., M.Eng.**, selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku dosen pembimbing I yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga selesainya penulisan ini.
3. **Bapak Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT.**, selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
4. Seluruh dosen Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
5. Seluruh staf dan karyawan Departemen Teknik Sipil, staf dan karyawan Fakultas Teknik serta staf Laboratorium dan asisten Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada :

1. Kedua orang tua yang tercinta, yaitu ayahanda **Prof. Ir. H. Lambang Basri Said M.T Ph.d** dan ibunda **Dr. Ir. Hj. Nuraeni MS.** atas doa, kasih sayangnya, dan segala dukungan selama ini, baik spritiual maupun material, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.
2. **Ocang, Ali, Theo, dkk** selaku rekan-rekan di **Laboratorium Riset Eco Material**, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
3. Saudara-saudari **PLASTIS 2018** yang senantiasa memberikan warna yang sangat begitu indah, dukungan yang tiada henti, semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini.
4. Teman-teman pengurus **HMS FT-UH Periode 2019**, yang telah memberi warna dan drama dalam perjalanan perkuliahan saya.

Penulis menyadari bahwa setiap karya buatan manusia tidak akan pernah luput dari kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan pembaca kiranya dapat memberi sumbangan pemikiran demi kesempurnaan dan pembaharuan tugas akhir ini.

Akhirnya semoga Tuhan Yang Maha Esa melimpahkan berkat dan karunia-Nya kepada kita dan semoga tugas akhir ini dapat memberikan manfaat, khususnya dalam bidang Teknik Sipil.

Gowa, 13 Oktober 2022

Penulis

ABSTRAK

Pada pembangunan sarana transportasi jalan raya di Indonesia saat ini untuk perkerasan masih didominasi oleh penggunaan aspal. Jenis aspal yang paling banyak digunakan untuk perkerasan jalan raya adalah aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi, yang kemudian dikenal dengan sebutan aspal minyak.

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran HRS-WC menggunakan minyak kelapa sawit sebagai bahan penguji dan menganalisis hubungan antara nilai tegangan tarik dengan jumlah tumbukan yang dilakukan di tiap sampel.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa hubungan tegangan dan regangan pada jumlah tumbukan 2 x 75 tumbukan membentuk garis lurus hingga 30% pada daerah elastis, sedangkan hubungan tegangan dan regangan pada jumlah tumbukan 2 x 100 tumbukan membentuk garis hingga 35% pada daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan pada jumlah tumbukan 2 x 150 tumbukan membentuk garis lurus hingga 50% pada daerah elastis, hubungan tegangan dan regangan pada jumlah tumbukan 2 x 200 tumbukan membentuk garis hingga 40% pada daerah elastis, dan hubungan tegangan dan regangan pada jumlah tumbukan 2 x 250 tumbukan membentuk garis hingga 35% pada daerah elastis. Hubungan antara nilai tegangan tarik dengan regangan tumbukan 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, dan 2 x 250 tumbukan adalah masing-masing sebesar 2 x 75 sebesar 1,03 MPa , 2 x 100 sebesar 0,74 MPa, 2 x 150 sebesar 0,95 MPa, 2 x 200 sebesar 0,87 MPa, dan 2 x 250 sebesar 1,10 MPa. Sedangkan hubungan antara kadar aspal minyak dengan nilai kuat tarik tidak langsung dapat didekati dengan persamaan polinomial pangkat dua yaitu $Y = -0.6688x^2 + 7.4372x - 10.81$.

ABSTRACT

The construction of road transportation facilities in Indonesia for pavement is still dominated by the use of asphalt. The most widely used type of asphalt for road pavement is asphalt derived from petroleum distillation, which is then known as oil asphalt.

The purpose of this study was to analyze the stress and strain relationship of the HRS-WC mixture using palm oil as a test material and to analyze the relationship between the tensile stress value and the number of collisions per sample.

The results of this study indicate that the relationship between stress and strain at 2 x 75 collision forms a straight line up to 30% in the elastic area, while the stress and strain relationship at 2 x 100 collision forms a line up to 35% in the elastic area. The strain at 2 x 150 collision forms a straight line up to 50% in the elastic area, the stress and strain relationship at 2 x 200 collision forms a line up to 40% in the elastic area, and the stress and strain relationship at 2 x 250 collision forming a line up to 35% in the elastic region. 2 x 75, 2 x 100, 2 x 150, 2 x 200, 2 x 250 are each of 2 x 75 as big as 1,03 MPa , 2 x 100 as big as 0,74 MPa , 2 x 150 as big as 0,95 MPa , 2 x 200 as big as 0,87 MPa , dan 2 x 250 as big as 1,10 MPa. Meanwhile, the relationship between oil asphalt content and the tensile strength value can not be directly approximated by the polynomial equation to the power of two, namely $Y = -0.6688x^2 + 7.4372x - 10.81$.

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
PERNYATAAN KEASLIAN KARYA ILMIAH	Error! Bookmark not defined.
KATA PENGANTAR	iii
ABSTRAK	vi
ABSTRACT	vii
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR TABEL	xi
BAB 1. PENDAHULUAN	1
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	2
C. Tujuan Penelitian	2
D. Batasan Masalah	2
E. Manfaat Penelitian.....	3
F. Sistematika Penulisan	3
BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA	5
A. Aspal.....	5
A.1. Jenis- Jenis Aspal	5
A.2. Jenis Campuran Beraspal	7
B. Agregat	8
B.1. Agregat Kasar	9
B.2. Teori Agregat Halus	11
B.3. Filler	12
C. Penelitian Terdahulu tentang Kuat Tarik	13
D. Campuran Aspal yang Menggunakan Minyak Nabati (Bio-Oil)	19
BAB 3. METODE PENELITIAN.....	25
A. Alur Penelitian	25

B. Uji Karakteristik Agregat dan Filler.	26
C. Uji Karakteristik Aspal Minyak	28
D. Penentuan Gradasi Gabungan HRS WC.....	29
E. Analisa Awal Keadaan Aspal Optimum	29
F. Uji Tarik Belah.....	30
G. Jumlah Benda Uji	32
BAB 4. HASIL DAN PEMBAHASAN	33
A. Karakteristik Material.....	33
A.1. Karakteristik Agregat Kasar	33
A.2. Karakteristik Agregat Halus	34
A.3. Karakteristik Aspal Minyak	35
B. Gradasi Agregat Gabungan.....	36
C. Rancangan Dan Komposisi Campuran HRS WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan	38
D. Hubungan Tegangan Regangan Campuran HRS-WC Akibat Beban Tarik 39	
E. Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS WC 44	
BAB 5. KESIMPULAN DAN SARAN	47
A. Kesimpulan	47
B. Saran	47
DAFTAR PUSTAKA.....	48

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Diagram alir penelitian.....	26
Gambar 2. Posisi Benda Uji Pengujian ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)....	31
Gambar 3. Gradasi agregat gabungan.....	37
Gambar 4. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan untuk benda uji menggunakan 2 x 75 Tumbukan	40
Gambar 5. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan untuk benda uji menggunakan 2 x 100 Tumbukan	41
Gambar 6. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan untuk benda uji menggunakan 2 x 150 Tumbukan	42
Gambar 7. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan untuk benda uji menggunakan 2 x 200 Tumbukan	43
Gambar 8. Hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dan regangan untuk benda uji menggunakan 2 x 250 Tumbukan	44
Gambar 9. Hubungan Kuat tarik tidak langsung dan kadar aspal dari minyak kelapa sawit.....	46

DAFTAR TABEL

Tabel 1. Ketentuan-ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70.	7
Tabel 2. Ketentuan Agregat Kasar.	9
Tabel 3. Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Beraspal.	11
Tabel 4. Ketentuan Agregat Halus.	12
Tabel 5. Metode pengujian karakteristik agregat dan filler	27
Tabel 6. Metode pengujian karakteristik agregat dan filler	28
Tabel 7. Metode pengujian karakteristik Aspal minyak	28
Tabel 8. Amplop Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal.	29
Tabel 9. Matriks jumlah benda uji untuk pengujian ITS.	32
Tabel 10. Karakteristik sifat fisik agregat kasar.	34
Tabel 11. Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu.	35
Tabel 12. Hasil pemeriksaan karakteristik aspal minyak.	36
Tabel 13. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram	38
Tabel 14. Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS)45	

BAB 1. PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penggunaan peremajaan pada beton aspal (AC) telah menerima perhatian yang lebih besar baru-baru ini karena pengaruhnya terhadap peningkatan kinerja campuran AC untuk mengendalikan dampak meningkatnya penggunaan aspal daur ulang. (Arturo F. Espinoza-Luque,dkk. 2018).

Penambahan bio-binder (BB) ke dalam petroleum-based asphalt (BA) untuk menghasilkan material perkerasan berkelanjutan dari bio-based asphalt (BBA), dan menggantikan BA sebagian atau bahkan seluruhnya dapat mengurangi ketergantungan teknik perkerasan jalan pada bahan bakar fosil. (Zejiào Dong,dkk. 2018)

Untuk mengurangi ketergantungan penggunaan aspal minyak bumi dalam aspal resin, bio-oil, sebagai sejenis hasil samping industri minyak goreng, dieksplorasi sebagai substitusi aspal minyak bumi dalam bahan aspal dalam penelitian ini. Metode kimia kuantum pertama kali digunakan untuk mengkarakterisasi mekanisme pengawetan resin bio-oil. Kemudian proses persiapan bio-oil resin yang wajar adalah dibahas berdasarkan hasil simulasi kimia kuantum. Akhirnya, produksi optimasi metode, yang bernama metode dua langkah, diusulkan. Berdasarkan hasil simulasi yang diusulkan, bio-oil resin juga disiapkan di laboratorium, dilanjutkan dengan verifikasi kinerja jalan. Itu hasil percobaan menunjukkan bahwa bio-oil resin yang dihasilkan memiliki suhu tinggi dan rendah yang sangat baik kinerja, jika dibandingkan dengan pengikat aspal yang rapi dan dimodifikasi. Aplikasi bio-oil sebagai pengganti aspal minyak bumi dalam bahan aspal dapat membantu menghasilkan yang lebih hijau dan lebih banyak lagibahan infrastruktur yang berkelanjutan. (Yiming Zhu,dkk. 2019)

B. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang penelitian diatas, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah :

1. Bagaimana hubungan tegangan dan regangan campuran HRS-WC yang menggunakan campuran minyak kelapa sawit (palm oil) pada campuran aspal?
2. Bagaimana hubungan antara nilai tegangan tarik dengan jumlah tumbukan campuran HRS-WC yang menggunakan campuran Minyak kelapa sawit?

C. Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah di atas, maka tujuan dari penelitian ini adalah :

1. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran HRS-WC yang menggunakan minyak kelapa sawit (palm oil) sebagai bahan tambahan.
2. Menganalisis hubungan antara nilai tegangan tarik dengan jumlah tumbukan campuran HRS-WC yang menggunakan minyak kelapa sawit (palm oil).

D. Batasan Masalah

Permasalahan perendaman nilai Kadar Aspal minyak pada campuran HRS-WC sehingga perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga fokus penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Menggunakan minyak kelapa sawit (palm oil) sabagai bahan campuran.
3. Menggunakan aspal minyak pen 60/70 sebagai bahan pengikat.

4. Kadar aspal minyak yang digunakan yaitu 7.4% sebagai variabel tetap yang ditentukan berdasarkan hasil perhitungan kadar aspal efektif.
5. Benda uji jenis campuran HRS-WC yang digunakan, dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung untuk mengetahui karakteristik campuran aspal dalam menerima beban tarik dalam kondisi normal sesuai perlakuan yang dituangkan dalam SNI 06-2489-1991.
6. Tidak dilakukan pengujian semikuantitatif (Pengujian XRF dan XRD).

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah menghasilkan suatu inovasi pada teknologi campuran HRS-WC (*Hot rolled sheet – Wearing Course*) dengan minyak kelapa sawit (palm oil) sebagai campuran aspal.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah penulisan tugas akhir , sistematika penulisan yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan dapat diurutkan yaitu :

BAB 1 PENDAHULUAN

Dalam bab ini, Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah dan sistematika penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisi teori-teori penting yang memiliki keterkaitan dengan topik permasalahan dan dijadikan sebagai landasan atau acuan penelitian.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, langkah-langkah yang digunakan dalam penelitian ini yang dituangkan dalam bentuk bagan alir penelitian, lokasi dan waktu penelitian, data penelitian berupa jenis dan sumber data serta analisis yang digunakan

dalam mengolah data yang didapatkan dari lapangan maupun dari laboratorium.

BAB 4 HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah karakteristik material, hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar dan halus, gradasi agregat gabungan, rancangan dan campuran komposisi HRS-WC berdasarkan kadar aspal, Hubungan Tegangan Regangan Campuran HRS-WC Akibat Beban Tarik, dan Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC.

BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan bab yang menyimpulkan hasil dari analisis penelitian dan memberikan saran-saran dan rekomendasi penelitian.

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

A. Aspal

Aspal merupakan materi perekat (comentitious) bewarna coklat tua, dengan unsur utama ialah bitumen. Aspal bisa diperoleh di alam ataupun merupakan residu dari pengilangan minyak bumi. Aspal ialah material yang pada suhu ruang akan berubah bentuk menjadi padat sampai agak padat, dan bersifat termoplastis. Sehingga aspal akan mencair apabila dipanaskan sampai temperatur tertentu, dan kembali memadat atau hampir padat apabila temperature turun.

A.1. Jenis- Jenis Aspal

Aspal dibedakan atas dua jenis, yaitu :

1. Aspal alam adalah aspal yang berasal di suatu tempat di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit metode pengolahan.
2. Aspal minyak adalah aspal hasil residu pengilangan minyak bumi. Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana bitumen dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan atau meningkatnya temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi (penyulingan) ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda-beda sehingga aspal (bitumen) ini diklasifikasikan lagi menjadi : (1) aspal keras yang biasa digunakan untuk campuran *hot-mix*, (2) aspal (bitumen) cair digunakan untuk peruntukan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap dalam dunia perkerasan jalan dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan dan digunakan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap serta sebagai perekat dalam campuran aspal dingin (*cold mix*) dengan memanfaatkan aspal emulsi sebagai bahan

pengikat. Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum). Adapun jenis-jenis aspal minyak adalah sebagai berikut:

- a) Aspal keras/panas (*Asphalt Cement, AC*) adalah aspal yang diperuntukan dalam keadaan cair dan panas serta penyimpanannya dalam bentuk padat pada temperatur ruangan antara 25°C – 30°C. AC penetrasi rendah digunakan untuk daerah yang memiliki cuaca rata-rata panas atau volume lalu lintasnya tinggi, sedangkan untuk AC penetrasi tinggi dipakai untuk daerah dengan suhu rata-rata dingin atau volume lalu lintasnya rendah. Umumnya di Indonesia dipakai penetrasi 60/70 dan 80/100.
- b) Aspal Cair/Dingin (*Cutback Asphalt*), adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair. Aspal ini dibuat dengan proses mencampur aspal keras/panas (AC) dengan bahan pencair hasil penyulingan minyak bumi yang berbentuk cair seperti minyak tanah, bensin atau solar.
- c) Aspal Emulsi (*Emulsion Asphalt*), adalah aspal yang lebih cair dari aspal dingin/cair, yaitu dengan campuran aspal, air dan bahan pengemulsi.

Pada penelitian ini akan digunakan *Asphalt Cement* penetrasi 60/70. Selain itu aspal untuk lapis beton harus memenuhi beberapa syarat yang tercantum dalam table 1 berikut :

Tabel 1. Ketentuan-ketentuan Untuk Aspal Keras Penetrasi 60/70.

Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Persyaratan
Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70
Titik Lembek (°C)	SNI 2343:2011	≥48
Daktalitas pada 25°C (cm)	SNI 2432:2011	≥100
Titik nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232
Berat jenis	SNI 2441:2011	≥1,0

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018 Devisi 6 Perkerasan Aspal.

A.2. Jenis Campuran Beraspal

Jenis campuran dan ketebalan lapisan harus seperti yang ditentukan :

1. *Stone Matrix Asphalt (SMA)* terdiri dari tiga jenis: SMA Tipis; SMA Halus dan SMA Kasar, dengan ukuran partikel maksimum agregat masing-masing campuran adalah 12,5 mm, 19 mm, 25 mm. Setiap campuran SMA yang menggunakan bahan Aspal *Polymer* disebut masing-masing sebagai SMA Tipis Modifikasi, SMA Halus modifikasi dan SMA Kasar modifikasi.
2. Lapis Tipis Aspal Beton (Hot Rolled Sheet. **HRS**). Lapis Tipis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut HRS, terdiri dari dua jenis campuran, HRS Fondasi (**HRS-Base**) dan HRS Lapis Aus (**HRS Wearing Course, HRS-WC**) dan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19 mm. **HRS-Base** mempunyai proporsi fraksi agregat kasar lebih besar daripada **HRS-WC**.

Untuk mendapatkan hasil yang memuaskan, maka campuran harus dirancang sampai memenuhi semua ketentuan yang diberikan dalam Spesifikasi dengan kunci utama yaitu gradasi yang benar-benar senjang.

3. Lapis Aspal Beton (*Asphalt Concrete. AC*). Lapis Aspal Beton (Laston) yang selanjutnya disebut AC, terdiri dari tiga jenis: AC Lapis Aus (AC-

WC); AC Lapis Antara (*AC-Binder Course*, AC-BC) dan AC Lapis Fondasi (*AC-Base*), dengan ukuran maksimum agregat masing-masing campuran adalah 19mm, 25,4 mm, 37,5 mm. Setiap jenis campuran AC yang menggunakan bahan Aspal Polymer disebut masing-masing sebagai AC-WC Modifikasi, AC-BC Modifikasi, dan *AC-Base* Modifikasi.

4. Beton Aspal Lapis Antara (AC-BC). Beton Aspal Lapis Antara (AC-BC) mempunyai ukuran maksimum agregat 25,4 mm. Bila campuran aspal AC-BC menggunakan aspal modifikasi maka dikenal sebagai *AC-BC modified* (Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, DEP.PU, 2010). Gradasi agregat adalah susunan butir agregat sesuai ukurannya. Ukuran butir dapat diperoleh melalui pemeriksaan analisa saringan. Gradasi agregat dinyatakan dalam presentase lolos atau tertahan, yang dihitung berdasarkan berat agregat (Sukirman, 1999).
5. Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC). Beton Aspal Lapis Aus (AC-WC) adalah merupakan lapisan paling atas dari struktur perkerasan yang berhubungan langsung dengan roda kendaraan, mempunyai tekstur yang lebih halus dibanding dengan Beton Lapis Aspal Lapis Antara (AC-BC).

B. Agregat

Menurut Sukirman (2016), Agregat didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan padat. ASTM mendefinisikan agregat sebagai suatu bahan yang terdiri dari mineral padat, berupa massa berukuran besar. ataupun berupa fragmen-fragmen. Agregat merupakan komponen utama dari struktur perkerasan jalan, yaitu 90-95% agregat berdasarkan persentase berat, atau 75-85% agregat berdasarkan persentase volume. Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Berdasarkan ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus, dan bahan pengisi (filler). Batasan dari masing-masing agregat ini seringkali berbeda, sesuai institusi yang menentukannya. ASTM dan Depkimpraswil dalam Spesifikasi Teknis Campuran Panas, 2010, membedakan agregat menjadi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (filler) (Sukirman, 2016).

B.1. Agregat Kasar

1. Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No.4 (4,75 mm) yang dilakukan secara basah dan harus bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya dan memenuhi ketentuan yang diberikan dalam Tabel 6.3.2.1a).
2. Fraksi agregat kasar harus dari batu pecah mesin dan disiapkan dalam ukuran nominal sesuai dengan jenis campuran yang direncanakan seperti ditunjukkan pada Tabel 6.3.2.1b).
3. Agregat kasar harus mempunyai angularitas seperti yang disyaratkan dalam Tabel 6.3.2.1a). Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih berdasarkan uji menurut SNI 7619:2012.
4. Fraksi agregat kasar harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) sedemikian rupa sehingga gradasi gabungan agregat dapat dikendalikan dengan baik.

Tabel 2. Ketentuan Agregat Kasar.

Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk pengujian	natrium sulfat Maks. 12%
	magnesium sulfat Maks. 18%

	Campuran AC	100 putaran	Maks. 6%
	Modifikasi dan SMA	500 putaran	Maks. 30%
Abrasi dengan mesin Los Angeles	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks. 8%
		500 putaran	Maks. 40%
Kelekatan agregat terhadap aspal			Min. 95%
Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA		100/90*
	Lainnya		95/90**
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA		Maks. 5%
	Lainnya		Maks. 10%
Material Iolos Ayakan No. 200			Maks. 1%

Catatan :

*) 100/90 menunjukkan bahwa 100% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

**) 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bicang pecah dua atau lebih.

Tabel 3. Ukuran Nominal Agregat Kasar Penampung Dingin untuk Campuran Beraspal.

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (<i>cold bin</i>) minimum yang diperlukan (mm)			
	5 - 8	8 - 11	11 - 16	16 - 22
Stone Matrix Asphalt – Tipis	Ya	Ya		
Stone Matrix Asphalt – Halus	Ya	Ya	Ya	
Stone Matrix Asphalt – Kasar	Ya	Ya	Ya	Ya
	5 - 10	10 – 14	14 – 22	22 – 30
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Fondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Fondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

B.2. Teori Agregat Halus

1. Agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari pasir atau hasil pengayakan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No.4 (4,75 mm).
2. Fraksi agregat halus pecah mesin dan pasir harus ditempatkan terpisah dari agregat kasar.
3. Agregat pecah halus dan pasir harus ditumpuk terpisah dan harus dipasok ke instalasi pencampur aspal dengan menggunakan pemasok penampung dingin (*cold bin feeds*) yang terpisah sehingga gradasi gabungan dan presentase pasir di dalam campuran dapat dikendalikan dengan baik.
4. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran. Agregat

halus harus merupakan bahan yang bersih, keras, bebas dari lempung, atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

5. Agregat halus harus memenuhi ketentuan sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Ketentuan Agregat Halus.

Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemadatan	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	Maks. 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	Maks. 10%

B.3. Filler

1. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*) dapat berupa debu batu kapur (*limestone dust*), atau debu kapur padam atau debu kapur magnesium atau dolomit yang sesuai dengan AASHTO M303-89(2014), atau semen atau abu terbang tipe C dan F yang disetujui oleh Pengawas Pekerjaan. Bahan pengisi jenis semen hanya diizinkan untuk campuran beraspal panas dengan bahan pengikat jenis aspal keras Pen.60-70.
2. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering dan bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI ASTM C136: 2012 harus mengandung bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya.
3. Bahan pengisi yang ditambahkan (*filler added*), untuk semen harus dalam rentang 1% sampai dengan 2% terhadap berat total agregat untuk bahan pengisi lainnya harus dalam rentang 1% sampai dengan 3% terhadap berat total agregat. Khusus untuk SMA tidak dibatasi kadarnya tetapi tidak boleh menggunakan semen.

Abu batu bara adalah suatu hasil sampingan yang berasal dari industri-industri yang menggunakan batu bara sebagai sumber bahan bakar. Salah satu proses pembakaran batu bara yang menghasilkan abu terbang ini adalah Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) yang mempergunakan batu bara sebagai sumber energinya. Produksi *abu batu bara* ini di beberapa PLTU milik Swasta Nasional yang jumlahnya cukup banyak, salah satunya di PLTU di Kabupaten Jeneponto, Sulawesi Selatan.

Terdapat dua macam abu batu bara, yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*). Abu terbang merupakan bagian terbesar dari abu batu bara. (80% atau lebih) dari abu batu bara. Abu tersebut mempunyai ukuran butir yang lebih halus (lebih ke rperan adalah oksida besi dan kalsium. Berat jenisnya berkisar cil dari 200 mm) dan berwarna lebih terang (keabu-abuan) bila dibandingkan dengan abu dasar. Abu terbang didominasi oleh alumina dan silica, sedangkan unsur lain yang juga be antara 1,95 - 2,95 gr/cm².

C. Penelitian Terdahulu tentang Kuat Tarik

Piotr Zielinski (2020) mengatakan bahwa untuk menilai ketahanan campuran aspal terhadap deformasi permanen, tes pelacakan roda sering digunakan yang membutuhkan peralatan khusus serta sampel ukuran yang relatif besar. Untuk itu, peneliti sedang mencari pengujian yang lebih sederhana yang akan membantu menilai ketahanan karat dari campuran aspal. Menurut Christensen dan Bonaquist juga seperti Zaniewski dan Srinivasan, ini mungkin uji kekuatan tarik tidak langsung (ITS). Oleh karena itu, penelitian ini secara eksperimental menguji hubungan hasil ITS pada parameter rutting, yaitu proportional rut depth (PRDAIR) dan kecepatan pelacakan roda (WTSAIR). Contoh beton aspal (AC), sebagai contoh SMA dan BBTM, dipadatkan dengan palu Marshall, tetapi pengujian ITS dilakukan dengan mesin press Marshall dengan kecepatan pemuatan 50mm/menit. Hasil pengujian menunjukkan perlunya analisis terpisah untuk campuran tipe

kontinyu (AC) dan campuran bergradasi celah (SMA dan BBTM). Hubungan hasil ITS dengan parameter rutting tergantung pada: jenis gradasi campuran (koefisien korelasi yang lebih tinggi diperoleh untuk campuran bergradasi celah) dan suhu uji ITS (hasil pengujian pada 40°C dicapai korelasi yang lebih baik daripada yang diperoleh pada 25 ° C). Menggunakan analisis regresi, batas prediksi serta batas kepercayaan dihitung yang diperbolehkan untuk mengembangkan kriteria untuk klasifikasi ketahanan campuran aspal untuk kategori rutting berdasarkan tes ITS.

Ahmed G.H. Ar-Rabti & Jozef Judycki (2000) mengatakan bahwa makalah ini menyajikan hasil pengujian laboratorium dan analisis beberapa variable yang mempengaruhi nilai modulus ulet yang ditentukan dalam metode tarik tidak langsung. Pengujian dilakukan untuk beton aspal gradasi padat dengan menggunakan Nottingham Asphalt Tester. Pengaruh variabel berikut dianalisis: tingkat tekanan, durasi beban (atau lebih tepatnya waktu naik), rotasi spesimen sebelum pengujian berikutnya, periode curing yang dipahami sebagai waktu di mana spesimen siap disimpan tidak terganggu dalam suhu kamar sebelum pengujian. Pengujian suhu dan asumsi rasio Poisson. Rekomendasi untuk percobaan penggunaan metode tarik tidak langsung dilakukan.

Yong Peng & Li-Jun Sun (2015) mengatakan bahwa tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui pengaruh distribusi agregat horizontal, yaitu agregat distribusi pada penampang horizontal pada uji tarik tidak langsung (IDT) campuran aspal. Sebuah indeks homogenitas agregat, digunakan untuk mengevaluasi distribusi agregat dalam persilangan dua dimensi (2D). bagian yang dijelaskan secara komprehensif; distribusi agregat horizontal dievaluasi dengan indeks. Sebuah model elemen diskrit berbasis mikro untuk memprediksi hasil tes IDT didirikan oleh sebuah program elemen diskrit yang disebut kode aliran partikel dalam dua dimensi (PFC2D). Berdasarkan model ini dan dengan memuat penampang horizontal campuran aspal di sepanjang arah yang berbeda, efek horizontal distribusi agregat pada

kekuatan belah dan tegangan horizontal maksimum. Sehubungan dengan uji IDT disimulasikan secara numerik dengan metode elemen diskrit; hasil yang diperoleh diverifikasi dengan melakukan tes IDT yang sebenarnya. Hasil mengungkapkan bahwa kekuatan membelah dan horizontal maksimum tegangan dalam uji IDT menunjukkan anisotropi. Selanjutnya terungkap bahwa ada korelasi yang tidak signifikan antara distribusi agregat horizontal dan kekuatan pecah rata-rata dan maksimum rata-rata tegangan horizontal, serta korelasi yang signifikan antara distribusi agregat horizontal dan variasi dalam kekuatan membelah dan tegangan horizontal maksimum.

Fan Gu, dkk (2019) mengatakan bahwa pengembangan indeks retak (CI) baru untuk campuran aspal menggunakan gaya tarik tidak langsung uji mulur dan kekuatan (IDT-CST). Pertama, efektivitas parameter retak IDT-CST yang ada (yaitu, rasio energi) dievaluasi dengan membandingkan hasil rasio energi laboratorium dengan kinerja retak lapangan. Ditemukan bahwa parameter rasio energi tidak dapat dengan benar menunjukkan efek penuaan pada ketahanan retak. Selain itu, hasil rasio energi memiliki korelasi yang buruk dengan kinerja retak lapangan. Kedua, penelitian ini mengumpulkan 87 dataset IDT-CST dan mengevaluasi keterkaitan antara parameter uji, seperti energi fraktur, energi regangan mulur yang dihamburkan terbatas, regangan kegagalan, ulet modulus (MR) dan modulus garis potong (MS). Hasil pengujian menunjukkan bahwa energi rekahan yang dicor dengan baik berhubungan dengan energi regangan mulur yang dihamburkan terbatas dan regangan keruntuhan. Hal ini menunjukkan bahwa terbatas energi regangan mulur yang dihamburkan hanya diganti dengan energi rekahan untuk mengkarakterisasi retak potensi campuran aspal. Selain itu, ada hubungan yang baik antara MS dan MR. ketiga, dua CI baru dikembangkan untuk mengukur potensi retak campuran aspal, yang bergantung pada energi patah dan modulus garis potong (atau modulus ulet). Kinerja retak lapangan data dari empat proyek yang ada dikumpulkan untuk menentukan koefisien CI. Dibandingkan dengan parameter rasio energi, kedua CI baru menunjukkan indikasi efek penuaan

yang lebih masuk akal pada retak potensial, dan menunjukkan korelasi yang lebih baik dengan kinerja retak lapangan. Akhirnya, efektivitas CI baru divalidasi dengan menggunakan kelompok independen data laboratorium dan retak lapangan. Keduanya CI berbasis MS dan CI berbasis MR memiliki korelasi yang memuaskan dengan kinerja retak lapangan dengan nilai R² masing-masing sama dengan 0,72 dan 0,90. Mempertimbangkan efisiensi pengujian dan biaya peralatan, CI berbasis MS lebih unggul dari CI berbasis MR dalam evaluasi ketahanan retak aspal campuran.

Md Rashadul Islam, dkk (2015) mengatakan bahwa sementara modulus dinamis, modulus ulet diametris, dan hilangnya daktilitas adalah yang paling umum parameter untuk mempelajari penuaan, penelitian ini menentukan kesetaraan laboratorium penuaan lapangan menggunakan Uji Indirect Tensile Strength (ITS) untuk kesederhanaan dan penggunaannya yang luas dalam evaluasi kinerja Asphalt Concrete (AC). Sampel silinder dipadatkan di laboratorium, didiamkan di laboratorium dan di lapangan, dan kemudian dimuat secara diametris untuk menentukan nilai ITS dan jumlah aliran. Tes ITS dilakukan pada enam set sampel yang dipadatkan setelah mengalami penuaan oven selama 1, 5, 10, 15, 20, dan 25 hari pada suhu 85 C di laboratorium dan pada 11 set sampel yang dipadatkan setelah memasukkannya ke 1, 2, 3, dan hingga 12-bulan penuaan lapangan. Tes ITS juga dilakukan pada set ketiga sampel yang campurannya lepas menjadi sasaran 8, 16, 32, 48, 72 dan 100 jam penuaan oven pada 135 C. Seperti yang diharapkan, ITS dari laboratorium (keduanya dipadatkan dan longgar) dan sampel berumur lapangan meningkat dan jumlah aliran menurun dengan periode penuaan. Dia ditemukan dalam penelitian ini bahwa penuaan laboratorium satu hari mendekati sekitar satu tahun penuaan lapangan yang diukur dalam nilai ITS. Hasil dari loose mix aging menunjukkan bahwa nilai ITS meningkat seiring dengan periode pengkondisian, mencapai puncaknya dan kemudian menurun dengan periode pengkondisian. Secara keseluruhan, aliran jumlahnya menurun seiring dengan

meningkatnya intensitas penuaan, yaitu, kerapuhan meningkat dengan penuaan.

Kalia Anurag, dkk (2009) mengatakan bahwa sejumlah besar bahan limbah (seperti serat limbah poliester atap) terakumulasi di seluruh dunia menciptakan masalah pembuangan yang mahal. Penggunaan bahan-bahan tersebut terbukti ekonomis, berwawasan lingkungan dan efektif dalam meningkatkan sifat kinerja campuran aspal dalam beberapa tahun terakhir. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan apakah homogen serat poliester limbah atap tersebar meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung (ITS) dan sifat kerentanan kelembaban dari campuran beton aspal yang mengandung berbagai panjang dan persentase serat di berbagai sumber agregat. Desain eksperimental termasuk penggunaan tiga agregat sumber, dua panjang (0,635 cm (1/4 in.) dan 1,270 cm (1/2 in.)) dari serat ini, dan dua kandungan serat (0,35% dan 0,50% berat total campuran). Hasil percobaan menemukan bahwa, secara umum, penambahan serat poliester bermanfaat dalam meningkatkan kekuatan tarik dan tarik basah rasio kekuatan (TSR) dari campuran yang dimodifikasi, meningkatkan nilai ketangguhan baik dalam kondisi kering dan basah, dan meningkatkan kadar rongga, kadar aspal, berat satuan, dan Marshall stabilitas.

D. Braz, dkk (2000) mengatakan bahwa sejumlah besar bahan limbah (seperti serat limbah poliester atap) terakumulasi di seluruh dunia menciptakan masalah pembuangan yang mahal. Penggunaan bahan-bahan tersebut terbukti ekonomis, berwawasan lingkungan dan efektif dalam meningkatkan sifat campuran aspal dalam beberapa tahun terakhir. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk menentukan apakah homogen serat poliester limbah atap tersebar meningkatkan kekuatan serat tarik tidak langsung (ITS) dan sifat kerentanan langsung dari campuran beton aspal yang mengandung berbagai panjang dan persentase serat di berbagai sumber agregat. Desain eksperimental termasuk penggunaan tiga agregat sumber, dua panjang (0.635 cm (1/4 in.) dan 1.270 cm (1/2 in.)) dari serat ini, dan dua

kandungan serat (0,35% dan 0,50% berat total campuran). Hasil percobaan menemukan bahwa, secara umum, penambahan serat poliester bermanfaat dalam meningkatkan kekuatan tarik dan tarik basah rasio kekuatan (TSR) dari campuran yang mengontrol, meningkatkan nilai ketangguhan baik dalam kondisi kering dan basah, dan meningkatkan kadar rongga, kadar aspal, berat satuan, dan Marshall abjad.

Zhenliang Jiang, dkk (2020) mengatakan bahwa *Split Hopkinson Pressure Bar* (SHPB) dan Mesin Uji Universal (UTM) digunakan di bawah dampak (27,7-93,8 s 1) dan mode pemuatan kuasi-statis (0,008–0,033 s 1), masing-masing. Ditemukan bahwa kegagalan ikatan, kohesif, dan intra-agregat terjadi di bawah pembebanan kuasi statis, dan bahkan agregat besar pecah di bawah pembebanan impact. Retaknya bisa diperlakukan sebagai dua dan tiga dimensi di bawah mode pemuatan kuasi-statis dan dampak, masing-masing. Itu efek suhu pada kekuatan tarik di bawah pembebanan impact secara signifikan lebih kecil daripada pembebanan kuasi statis, dan peningkatan pembebanan dinamis meningkat jauh pada suhu yang lebih tinggi. Temperatur merupakan faktor eksternal utama yang mempengaruhi kerapuhan campuran aspal, sedangkan pengaruh laju regangan relatif kecil. Akhirnya, beberapa saran untuk meningkatkan *cracking* ketahanan campuran aspal diusulkan di kedua mode pembebanan.

Guilherme Peplow Piuzzi, dkk (2021) mengatakan bahwa aspal beton adalah bahan yang umum digunakan untuk konstruksi permukaan jalan. Karakteristiknya yang memadai dalam memberikan stabilitas, daya tahan dan keselamatan berkendara dikendalikan oleh interaksi kompleks antara komponennya. Dengan demikian, penting untuk memperkirakan sensitivitas sifat mekanik beton aspal sebagai fungsi dari volumetrik. Untuk penelitian ini, kombinasi yang berbeda antara kadar aspal (3,5, 5 dan 7,5%) dan porositas nilai (di atas 4%) digunakan untuk memisahkan properti ini. Pengaruh pencampuran dalam fiberglass (0,5%) juga dianalisis. Ditemukan bahwa porositas secara signifikan lebih relevan daripada kandungan aspal di prediksi

kekuatan tarik dan modulus ulet beton aspal bebas serat. Dalam campuran yang diperkuat serat, sifat mekanik ditingkatkan dengan meningkatkan kadar aspal, yang menunjukkan ikatan yang lebih baik antara serat dan agregat. Untuk kedua kasus, penurunan porositas bermanfaat. Dengan mengelompokkan kedua set hasil, adalah mungkin untuk membuat kurva teoretis yang unik untuk kekuatan tarik (q_t) dan modulus ulet (RM). Rasio RM/q_t adalah 5800 untuk kelompok bebas serat, dan 3900 untuk kelompok yang diperkuat serat - menunjukkan indikator umur kelelahan yang lebih baik untuk beton aspal ketika serat ditambahkan.

D. Campuran Aspal yang Menggunakan Minyak Nabati (Bio-Oil)

Z. L. Abo-Shanab, dkk (2019) mengatakan bahwa campuran tiga serat limbah pertanian pertama kali digunakan sebagai biomodifier setelah perlakuan alkali, untuk meningkatkan kinerja bahan pengikat aspal 3, 5, 7, dan 10 % berat. Fisik sifat pengikat biomodifikasi baru termasuk penetrasi, titik pelunakan dan penetrasi indeks dipelajari. Perilaku viskoelastik diselidiki dengan mempelajari sifat aliran pada berbagai kecepatan geser menggunakan viskometer rotasi. Juga, karakteristik mekanik aspal biomodifikasi pengikat dipelajari menggunakan DMA melalui serangkaian tiga jenis tes sapuan yang dilakukan pada perawan dan sampel aspal biomodifikasi untuk mempelajari pengaruh waktu, suhu dan frekuensi pada pengikat pertunjukan. Diamati bahwa pengikat aspal biomodifikasi menunjukkan thixotropic yang sama pengerasan dari waktu ke waktu dengan suhu kelas tinggi dan ketahanan rutting yang tinggi. Parameter kelelahan (kehilangan modulus) yang diperoleh dari data DMA digunakan untuk memperkirakan ketahanan lelah dari biomodifikasi bahan pengikat. Hasilnya menyatakan bahwa modulus kehilangan sampel menurun, yang membuktikan bahwa properti kelelahan ditingkatkan dengan penambahan biomodifier. Biomodifier mendukung pengikat aspal dengan sifat yang lebih baik, dan dapat diterapkan sebagai

pengganti sebagian aspal yang tidak terbarukan pengikat yang digunakan dalam pembangunan infrastruktur jalan.

Jing Xu, dkk (2020) mengatakan bahwa menambahkan minyak daur ulang (juga disebut sebagai 'agen daur ulang' atau 'peremajaan') ke dalam campuran aspal dengan Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) dan Recycled Asphalt Shingles (RAS) adalah strategi yang diadopsi secara luas untuk meningkatkan potensi ketahanan terhadap retak perkerasan aspal daur ulang. Studi ini menyelidiki sifat rheological dari dua Bio-Oils dan dua Re-refined Engine Oil Bottoms (REOB) dengan menggunakan Pengujian Dynamic Shear Rheometer (DSR) dan Rotational Viscometer (RV) pada berbagai kondisi pengujian, seperti: serta sifat kimianya dengan menggunakan Fourier Transform-Infrared Spectroscopy (FTIR) pengukuran. Hasilnya dibandingkan untuk minyak daur ulang setelah Rolling Thin-Film Oven (RTFO), Penuaan Pressure Aging Vessel (PAV) 20 dan 40 jam. Selanjutnya, keempat minyak daur ulang ini adalah dicampur dengan pengikat dasar pada rasio tinggi (50%) dan diukur untuk modulus geser kompleksnya dan viskositas pada berbagai tingkat penuaan, serta spektrum inframerah mereka. Pada akhirnya, dua minyak daur ulang adalah dipilih untuk berbaur dengan pengikat dasar pada rasio rendah (2,9% dan 5,7%) dan diukur untuk standar Properti Performance Grade (PG) dan karakteristik PG plus. Hasil rasio rendah minyak-aspal campuran menunjukkan bahwa kandungan minyak daur ulang memainkan peran penting dalam perilaku penuaan pengikat, tidak hanya jenis minyak daur ulang.

Xinyao Nie, dkk (2019) mengatakan bahwa pemanfaatan limbah bio-minyak sebagai komponen aspal modifikasi polimer (PMA) merupakan pendekatan yang efektif untuk mengatasi masalah pencemaran terkait karena konsumsi bahan pengikat aspal yang sangat banyak. Dalam artikel ini, bio-oil digunakan sebagai agen pelunakan dan kompatibilitas untuk SBS konten tinggi yang dimodifikasi aspal. Efeknya diberikan dan dibandingkan dengan minyak aromatik. Itu hasil dalam pekerjaan ini mengungkapkan bio-minyak lebih

menguntungkan untuk pengikat PMA untuk menunjukkan elastisitas dan fleksibilitas yang lebih baik, yang diperlukan untuk PMA. Itu perilaku anti-penuaan juga jelas telah ditingkatkan.

Malik Farooq Ahmad, dkk (2021) mengatakan bahwa karena menipisnya sumber daya pengikat aspal konvensional dan kenaikan harga, para peneliti fokus tentang memperkenalkan bahan ramah lingkungan dan berkelanjutan sebagai pengganti konvensional bahan pengikat. Di sisi lain, produksi tebu dalam jumlah besar (SCB) menyebabkan masalah lingkungan yang parah. Oleh karena itu, pemanfaatan bio-oil SCB secara efektif sebagai pengganti pengikat konvensional dapat membantu mengurangi masalah yang disebutkan di atas. Dalam studi ini, pengikat dan campuran konvensional dimodifikasi pada bio-oil SCB 5% dan 10%. Perilaku reologi pengikat yang dimodifikasi dianalisis menggunakan uji konvensional dan reometer geser dinamis. Itu kinerja campuran aspal kemudian dievaluasi menggunakan modulus dinamis, cooper wheel tracker dan uji kelelahan balok empat titik. Kemampuan campuran yang dimodifikasi terhadap kerusakan kelembaban juga dinilai. Hasilnya menunjukkan bahwa sampel bio-oil SCB 10% memiliki ketahanan lelah yang lebih baik di antara semua sampel dengan efek yang tidak signifikan pada ketahanan rutting. Selanjutnya, bio-minyak SCB negative mempengaruhi ketahanan kelembaban dari campuran yang dimodifikasi. Jadi dapat disimpulkan bahwa bio-oil SCB dapat berpotensi digunakan untuk memodifikasi pengikat dan campuran konvensional. Namun, ada kebutuhan untuk meningkatkan ketahanan kelembaban pengikat yang dimodifikasi bio-minyak SCB.

Abdulnaser M. Al-Sabaei, dkk (2021) mengatakan bahwa penelitian ini bertujuan untuk menguji kinerja reologi fisik dan suhu tinggi kelapa sawit mentah aspal komposit oil (CPO)/tyre pyrolysis oil (TPO) untuk mengembangkan aspal bio-karet yang lebih berkelanjutan (BRA). Studi ini menggunakan uji penetrasi, titik pelunakan, dan viskositas dinamis untuk mengevaluasi konsistensi pengikat dan uji rheometer geser dinamis (DSR)

untuk menentukan viskoelastik linier properti sebelum dan sesudah penuaan jangka pendek. Sifat viskoelastik nonlinier dari aspal modifikasi ditentukan dengan menggunakan uji multiple stress creep recovery (MSCR). Hasil menunjukkan bahwa substitusi 20% aspal dengan bio-aspal yang dimodifikasi minyak pirolisis ban dipertahankan atau ditingkatkan kinerja tingkat aspal pada suhu tinggi. Semua pengikat BRA memiliki ketahanan penuaan yang lebih tinggi daripada aspal dasar. Hasil MSCR menunjukkan bahwa, relatif terhadap semua pengikat yang diuji, pengikat BRA mengandung 5% CPO dan 5% TPO memiliki kepatuhan creep (Jnr) dan persentase yang tidak dapat dipulihkan yang optimal pemulihan (%R) dengan kinerja yang mendekati PG64H dibandingkan dengan tingkat kinerja PG64S dari aspal dasar. Secara keseluruhan, temuan penelitian ini menunjukkan bahwa penggabungan CPO/TPO dalam aspal cocok untuk memproduksi aspal bio-karet yang mengandung 20% limbah karet daur ulang dan bio-minyak dan meningkatkan sifat suhu tinggi aspal sampai batas tertentu.

Zeijiao Dong, dkk (2018) mengatakan bahwa penambahan bio-binder (BB) ke dalam petroleum-based asphalt (BA) untuk menghasilkan material perkerasan berkelanjutan dari bio-based asphalt (BBA), dan mengganti BA sebagian atau bahkan seluruhnya dapat mengurangi ketergantungan teknik perkerasan jalan pada bahan bakar fosil. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan BB sumber tunggal dari jagung pada bahan pengikat aspal dan campuran aspal pertunjukan. Sifat reologi diukur dari Rotational Viscometer (RV), Dinamis Shear Rheometer (DSR) dan Bending Beam Rheometer (BBR) menunjukkan bahwa penambahan BB meningkatkan viskositas sambil menurunkan kerentanan suhu pengikat aspal, BBA menjadi lebih kaku pada suhu tinggi dan lebih rapuh pada suhu rendah. Uji kinerja perkerasan yang dilakukan pada tingkat campuran menunjukkan bahwa penambahan BB mampu meningkatkan ketahanan rutting sambil mengorbankan ketahanan retak suhu rendah sedikit, tetapi ketahanan kerusakan kelembaban menurun dengan jelas. Oleh karena itu, karakterisasi

kimia BB dan BA dilakukan dengan Analisis Unsur, Kromatografi Gas-Spektroskopi Massa (GC MS), Spektroskopi Inframerah Fourier-Transform (FTIR) dan Saturat, Aromatik, Resin dan Analisis Fraksi Asphaltene (SARA) digunakan untuk mengetahui mekanisme variasi kinerja akibat penambahan BB. Hasilnya membuktikan bahwa sejumlah cahaya dan komponen larut ada di BB. Setelah itu dilakukan modifikasi fisika dan kimia dengan pengubah kopolimer blok Styrene–Butadiene–Styrene (SBS) dan o-Phthalic anhydride, masing-masing, diadopsi untuk meningkatkan kinerja BBA. Tes kinerja campuran menunjukkan bahwa metode fisik meningkatkan kinerja suhu tinggi dan rendah dengan jelas sementara tidak berpengaruh pada ketahanan kerusakan kelembaban. Di sisi lain, pendekatan kimia meningkatkan ketahanan kerusakan kelembaban campuran secara nyata tanpa mempengaruhi kinerja lainnya kriteria. Temuan penelitian menekankan bahwa memanfaatkan BBA yang diusulkan untuk menggantikan sebagian BA adalah potensial dan layak dengan modifikasi yang sesuai.

Walaa S. Mogawer, dkk (2015) makalahnya menyelidiki karakteristik kinerja dan kemampuan kerja dari reklamasi tinggi campuran perkerasan aspal (RAP) dengan adanya pengikat bio-modifikasi. Demikian campuran dengan persentase RAP yang tinggi dirancang dengan dan tanpa bio-modifikasi untuk memeriksa apakah bio-modifikasi dapat memfasilitasi penggabungan RAP. Biomodifikasi dilakukan dengan memodifikasi bahan pengikat aspal murni dengan bahan pengikat bio yang dihasilkan dari kotoran babi. Empat campuran yang dirancang dan dievaluasi adalah campuran kontrol yang menggabungkan bahan perawan, campuran kontrol yang menggabungkan 40% RAP, control campuran yang menggabungkan pengikat yang dimodifikasi secara biologis, dan campuran kontrol yang menggabungkan pengikat yang dimodifikasi secara biologis dan 40% RAP. Pengaruh pengikat bio-dimodifikasi pada kekakuan dan kemampuan kerja campuran kontrol dengan dan tanpa RAP dievaluasi dengan mengukur modulus dinamis dan resistansi torsi campuran, masing-masing. Penampilan dari masing-masing campuran dievaluasi untuk

retak lelah (overlay tester) dan kerentanan kelembaban/potensi rutting (perangkat pelacak roda Hamburg). Akhirnya, tingkat pencampuran antara pengikat perawan dan RAP dievaluasi untuk setiap campuran. Data menunjukkan bahwa penambahan pengikat bio-modifikasi membantu mengurangi kekakuan campuran kontrol dengan 40% RAP ke tingkat yang lebih dekat dengan kekakuan campuran yang sama tanpa RAP. Selain itu, keberadaan bio-binder menyebabkan peningkatan kemampuan kerja campuran, terutama ini sangat jelas pada konten RAP tinggi 40%. Data menunjukkan bahwa pengikat yang dimodifikasi secara biologis meningkatkan sifat kelelahan dan karakteristik retak dan tidak memiliki efek negatif pada kerentanan kelembaban/karakteristik alur dari campuran kontrol dengan 40% RAP. Keseluruhan, data menunjukkan bahwa ada tingkat pencampuran yang baik antara perawan / bio-dimodifikasi dan pengikat RAP.

Yiming Zhu, dkk (2019) mengatakan bahwa aspal resin banyak digunakan untuk meningkatkan daya tahan dan stabilitas termal beton aspal baru-baru ini bertahun-tahun. Untuk mengurangi ketergantungan penggunaan aspal minyak bumi dalam aspal resin, bio-oil, sebagai sejenis hasil samping industri minyak goreng, dieksplorasi sebagai substitusi aspal minyak bumi dalam resin bahan aspal dalam penelitian ini. Metode kimia kuantum pertama kali digunakan untuk mengkarakterisasi mekanisme pengawetan resin bio-oil. Kemudian proses persiapan bio-oil resin yang wajar adalah dibahas berdasarkan hasil simulasi kimia kuantum. Akhirnya, produksi optimasi metode, yang bernama metode dua langkah, diusulkan. Berdasarkan hasil simulasi yang diusulkan, bio-oil resin juga disiapkan di laboratorium, dilanjutkan dengan verifikasi kinerja jalan. Itu hasil percobaan menunjukkan bahwa bio-oil resin yang dihasilkan memiliki suhu tinggi dan rendah yang sangat baik kinerja, jika dibandingkan dengan pengikat aspal yang rapi dan dimodifikasi. Aplikasi bio-oil sebagai pengganti aspal minyak bumi dalam bahan aspal resin dapat membantu menghasilkan yang lebih hijau dan lebih banyak lagi bahan infrastruktur yang berkelanjutan.