

**ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN  
BERASPAL YANG MENGGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM PADI  
SEBAGAI FILLER**

*Analysis Of Split Tensile Strength And Carbon Footprint Of Asphalt Mixture  
Using Rock Dust And Rice husk Ash As Filler*



**GARRY RHEINHARD KONDOLOGIT  
D012231052**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
GOWA  
2024**

**TESIS**

**ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN BERASPAL  
MENGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER**

*Analysis Of Split Tensile Strength And Carbon Footprint Of Asphalt Mixture  
Using Rock Dust And Rice husk Ash As Filler*

**GARRY RHEINHARD KONDOLOGIT  
D012231052**



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL  
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL  
FAKULTAS TEKNIK  
UNIVERSITAS HASANUDDIN  
2024**

## PENGAJUAN TESIS

### **ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN BERASPAL YANG MENGGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER**

Tesis

Sebagai Salah Satu Syarat Untuk Mencapai Gelar Magister  
Program Studi Teknik Sipil

Disusun dan diajukan oleh:

**GARRY RHEINHARD KONDOLOGIT**  
**D012231052**

Kepada

**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL**  
**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL**  
**FAKULTAS TEKNIK**  
**UNIVERSITAS HASANUDDIN**  
**GOWA**  
**2024**

**TESIS****ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN  
BERASPAL YANG MENGGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM  
PADI SEBAGAI FILLER****GARRY RHEINHARD KONDOLOGIT  
D012231052**

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian Tesis yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi pada Program Magister Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin pada tanggal 26 November 2024 dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan



Menyetujui,

Pembimbing Utama



Dr.Eng.M.Akbar Caronge ST.,M.Eng  
NIP. 198604092019043001

Pembimbing Pendamping



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

Dekan Fakultas Teknik  
Universitas Hasanuddin

Prof. Dr.Eng.Ir.Muhammad Isran Ramli, ST.,MT.IPM., AER  
NIP. 19730926 200012 1002

Ketua Program Studi  
S2 Teknik Sipil

Dr.Ir.M.Asad Abdurahman, ST.,M. Eng.PM.IPM  
NIP.19730306 199802 1001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS  
DAN PELIMPAHAN HAK CIPTA

Yang bertandatangan dibawah ini

Nama : Garry Rheinhard Kondologit  
Nomor Induk Mahasiswa : D012231052  
Program Studi : Magister Teknik Sipil

Dengan ini menyatakan bahwa, tesis berjudul "Analisa Kuat Tarik Belah dan Jejak Carbon Campuran Beraspal yang menggunakan Abu Batu dan Abu sekam Padi Sebagai Filler" adalah benar Karya saya dengan Arahan dari Komisi Pembimbing Prof.Dr.Ir.H.Muh.Wihardi Tjaronge, ST.,M.Eng dan Dr.Eng.M.Akbar Caronge, ST., M.Eng. Karya ilmiah ini belum diajukan dan tidak sedang diajukan dalam bentuk apapun kepada perguruan tinggi mana pun. Sumber informasi yang berasal atau dikutip dari karya yang diterbitkan maupun tidak diterbitkan dari penulis lain telah disebutkan dalam teks dan dicantumkan dalam daftar Pustaka tesis ini. Sebagian dari isi tesis ini telah diproses di *International Journal Of Civil Engineering* dengan status *under review* sebagai artikel dengan judul ("*Study Laboratory on Indirect Tensile Strength and Ultrasonic Pulse Velocity of Hot Mix Asphalt Containing Rock Dust and Rice Husk Ash as Fillers*")

Dengan ini saya melimpahkan hak cipta dari karya tulis saya berupa tesis ini kepada Universitas Hasanuddin.

Gowa, 28 November 2024

Yang menyatakan,



Garry R. Kondologit

## UCAPAN TERIMAKASIH

Dengan nama TUHAN Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Puji syukur kami panjatkan kehadiran Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat limpahan rahmat dan karunia-Nya, sehingga kami dapat menyelesaikan penyusunan tesis ini dengan baik dan tepat pada waktunya. Dalam tesis ini, kami akan membahas mengenai “**ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN BERASPAL YANG MENGGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER**” yang merupakan salah satu syarat yang diajukan untuk menyelesaikan studi Magister pada Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Kami menyampaikan penghargaan yang tinggi dan mendalam kepada berbagai pihak yang telah membantu melewati semua proses penyusunan Tesis ini, **terima kasih** kepada:

1. **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc.**, selaku Rektor Universitas Hasanuddin.
2. **Prof. Dr. Eng. Ir. Muhammad Isran Ramli, ST., MT, IPM, ASEAN.Eng.** selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
3. **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M. Eng** selaku Ketua Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin dan selaku pembimbing II yang selalu memberikan arahan dan petunjuk dalam penyusunan Tesis ini.
4. **Dr. Eng. M. Akbar Caronge, ST., M. Eng** selaku pembimbing I yang telah meluangkan waktu dan pengarahan dalam proses penyusunan Tesis ini.
5. **Prof. Dr. Ir. Herman Parung, M.Eng.**, dan **Dr.Ir.M. Asad Abdulrahman, ST., M.Eng. PM., IPM** selaku penguji.
6. **Prof. Dr. Eng. Ir. Rudy Djamaluddin, ST, M. Eng.** selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
7. Seluruh dosen, staff dan karyawan Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.
8. **Teman-teman Laboratorium Riset *Eco-Material* (Azwar, lin, Inul, Andre, Risal, Haerul, dek Hikmah dkk)** dan laboran laboratorium struktur dan bahan yang turut membantu dalam proses penelitian.
9. Teman – teman **angkatan 20231** terkhusus magister KKD Transportasi (Ecomaterial) yang telah memberikan dukungan dan dorongan selama masa studi.
10. Pihak – pihak lain yang tidak bisa saya sebutkan satu persatu yang telah memberikan sedikit atau banyak andil dan doa kepada saya dalam menyelesaikan penulisan Tesis ini. Saya ucapkan banyak terima kasih.

Yang teristimewa penulis persembahkan kepada:

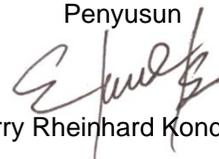
1. Orangtuaku, dengan penghargaan tertinggi saya sebutkan dengan hormat nama kedua orang tua saya, yaitu **Ayah Dominggus P. Kondologit (Alm)** dan **Ibu Orpa Wanma (Almarhumah)** yang sudah beda alam. Terima kasih banyak atas doa, kasih sayang, nasehat, dan segala dukungan yang telah Kelurga besar Bapa Ade, Tanta Dan Om sampaikan. Mudah – mudahan **Garry** bisa menjadi anak Sukses dan berbakti kepada Seluruh orang tua, serta dapat menjadi Anak yang dibanggakan di dunia dan akhirat, aamiin.
2. Ketiga adikku tersayang yaitu **Richard, Norma,** dan **Elke**. Terima kasih telah menjadi orang-orang yang turut menguatkan Saya dalam menjalani kehidupan jauh dari keluarga, semangat, doa, dan dukungan lainnya yang turut membantu dalam penyelesaian tesis ini. Semoga kita bersaudara sukses di dunia dan akhirat, amin.
3. **Istri dan anak anak ku** yang selalu memberikan semangat dan Harapan serta Motivasi kepada saya, sehingga saya dapat menyelesaikan Tesis dengan baik.
4. **Ayat alkitab penyemangat selama studi:** “1 Korintus 1 : 5 Sebab di dalam Dia kamu telah menjadi kaya dalam segala hal: dalam segala macam perkataan dan segala macam pengetahuan. Ilmu Pengetahuan adalah suatu pembelajaran atau studi untuk menemukan, memahami, dan mengamati sifat yang mengatur alam secara keseluruhan, mengatur dunia serta mengatur diri kita.

Kami menyadari bahwa masih banyak kekurangan pada tesis ini. Oleh karena itu saran serta kritik yang membangun dari pembaca sangat kami harapkan guna penyempurnaan penulisan Tesis.

Demikian Tesis ini kami buat, semoga dapat memberikan manfaat bagi kita semua.

Gowa, 28 November 2024

Penyusun



Garry Rheinhard Kondologit

## ABSTRAK

**GARRY R. KONDOLOGIT** *Analisa Kuat Tarik Belah Dan Jejak Carbon Campuran Beraspal Yang Menggunakan Abu Batu Dan Abu Sekam Padi Sebagai Filler*  
(dibimbing oleh **M. Wihardi Tjaronge dan Akbar Caronge**)

Perkerasan lentur dengan pengisi sebagai komponen utama umumnya digunakan di wilayah dengan sumber daya alam terbatas, di mana ketersediaan bahan pengisi langka. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk mengeksplorasi hubungan antara tegangan tarik, regangan, dan sifat volumetrik dalam campuran aspal dan pengisi debu batu dengan berbagai kandungan. Penelitian ini selanjutnya difokuskan pada penggunaan pengisi sebagai variabel konsisten, yang mewakili 6% dari total berat agregat dalam campuran aspal. Pengisi yang digunakan juga mencakup debu batu dan abu sekam padi (RHA), yang terakhir dianggap sebagai pengganti potensial. RHA diuji pada konsentrasi berkisar antara 5% dan 7% dengan peningkatan 0,5%. Hasil dari uji kecepatan pulsa ultrasonik (UPV) menunjukkan bahwa campuran aspal yang mengandung debu batu memiliki kekuatan tarik yang lebih rendah yaitu 5,7 dibandingkan dengan yang mengandung RHA. Perbedaan kekuatan tarik antara kedua campuran tersebut kurang dari 10%, yang menunjukkan bahwa RHA dapat berfungsi sebagai alternatif yang sesuai untuk debu batu sebagai pengisi. Selain itu, perhitungan impedansi menunjukkan bahwa campuran yang mengandung RHA lebih efektif dalam mengurangi kebisingan kendaraan. Uji volumetrik lebih lanjut mendukung hasil ini, yang menunjukkan bahwa campuran dengan RHA, khususnya pada konsentrasi 6% hingga 7%, menunjukkan kinerja yang lebih unggul dalam hal rongga dalam agregat mineral (VMA) dan rongga dalam campuran (VIM). Konsistensi dalam perilaku volumetrik ini mendorong RHA menjadi pengganti yang layak untuk debu batu sebagai pengisi dalam aspal campuran panas (HMA).

**Kata Kunci:** Abu Sekam Padi, Abu Batu, Campuran Aspal Beton, Kekuatan Tarik, Toughness Index, Ultrasonic Pulse Velocity.

## ABSTRACT

**GARRY R. KONDOLOGIT.** *Analysis of Split Tensile Strength and Carbon Footprint of Asphalt Mixture Using Stone Ash and Rice Husk Ash as Filler* (supervised by **M. Wihardi Tjaronge dan Akbar Caronge**)

Flexible pavements with filler as a key component are commonly used in regions with limited natural resources where the availability of filler materials is scarce. Therefore, this study aimed to explore the relationship between tensile stress, strain, and volumetric properties in mixtures of asphalt and rock dust filler with varying contents. It further focused on the use of fillers as a consistent variable, representing 6% of the total aggregate weight in the asphalt mixture. The fillers used also included rock dust and rice husk ash (RHA) with the latter being considered as a potential substitute. RHA was tested at concentrations ranging between 5% and 7% with increments of 0.5%. The results from the ultrasonic pulse velocity (UPV) test showed that asphalt mixtures containing rock dust had a lower tensile strength of 5.7 compared to those containing RHA. The difference in tensile strength between the two mixtures was less than 10%, suggesting that RHA could serve as a suitable alternative to rock dust as a filler. Additionally, impedance calculations showed that mixtures containing RHA were more effective at reducing vehicle noise. Volumetric tests further supported these results, showing that mixtures with RHA, particularly at concentrations of 6% to 7% exhibited superior performance in terms of voids in mineral aggregate (VMA) and voids in the mix (VIM). This consistency in volumetric behavior prompted RHA to be a viable substitute for rock dust as a filler in hot mix asphalt (HMA).

**Keywords:** Rice Husk Ash, Rock Dust, Asphalt Concrete Mixture, Tensile Strength, Toughness Index Ultrasonic Pulse Velocity.

## DAFTAR ISI

Halaman Judul .....	ii
Pengajuan Tesis .....	iii
Lembar Pengesahan.....	iv
Lembar Pernyataan Keaslian Tesis .....	v
Ucapan Terimakasih .....	vi-vii
Abstrak.....	viii
Abstrac.....	ix
Daftar Isi .....	x-xi
Daftar Tabel.....	xii
Daftar Gambar .....	xiii
Daftar Singkatan Dan Simbol.....	xiv
<b>BAB I      PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	2
1.3. Tujuan Penelitian .....	2
1.4. Manfaat Penelitian .....	3
1.5. Ruang Lingkup .....	3
1.6. Batasan Masalah.....	3
1.7. Aspal .....	4
1.8. Lapis Aspal Beton.....	4
1.8.1. Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC).....	5
1.8.2. Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC).....	5
1.8.3. Asphalt Concrete – Base (AC-Base) .....	5
1.9. Unsur Penyusun Campuran Aspal Panas .....	5
1.9.1. Agregat Kasar.....	6
1.9.2. Agregat Halus.....	6
1.9.3. Sifat Fisik Agregat.....	7
1.9.4. Bahan Pengisi Filler.....	11
1.10. Abu Sekam Padi.....	12
1.11. Distribusi Beban Pada Perkerasan .....	13
1.12. Ultrasonic Pulse Velocity .....	15
1.13. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS) AC-BC.....	17
1.14. Hubungan Tegangan Tarik dan Regangan Tarik.....	18
1.14.1. Retak dan Ruting Kelelahan .....	19
1.14.2. Elastisitas Tarik.....	20
1.14.3. Toughnes Index.....	21
1.15. Parameter Dampak Lingkungan .....	22
1.16. Kerangka Konseptual .....	24
1.17. Penelitian Terdahulu.....	26

<b>BAB II</b>	<b>METODE PENELITIAN .....</b>	<b>28</b>
2.1.	Bagan Alur Penelitian .....	28
2.2.	Tempat dan Waktu Penelitian.....	30
2.3.	Jenis Penelitian .....	30
2.4.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat .....	30
2.5.	Penentuan Jumlah Benda Uji .....	31
2.6.	Perhitungan Perkiraan Bitumen.....	31
2.7.	Pengujian UPV .....	32
2.8.	Uji Tarik Tidak Lansung (ITS) .....	33
2.9.	Environment Performance dari Campuran Aspal Panas .....	34
<b>BAB III</b>	<b>HASIL &amp; PEMBAHASAN.....</b>	<b>36</b>
3.1.	Karakteristik Material .....	36
3.2.	Analisa Rancangan Campuran.....	37
3.3.	Hubungan Tegangan Regangan .....	38
3.4.	Hubungan Tegangan Tarik Puncak dan Sifat Volumetrik Aspal .....	41
	3.4.1. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan VMA .....	41
	3.4.2. Hubungan Kuat Tarik Belah dengan VIM .....	42
3.5.	Regangan Yang Berkaitan dengan Tegangan Puncak.....	44
3.6.	Toughness Index .....	45
3.7.	Ultrasonic Pulse Velocity .....	46
3.8.	Effective Flow Resistivity (EFR).....	48
3.9.	Dampak Lingkungan.....	49
<b>BAB V</b>	<b>KESIMPULAN &amp; SARAN.....</b>	<b>52</b>
5.1.	Kesimpulan.....	52
5.2.	Saran .....	52
<b>DAFTAR PUSTAKA.....</b>		<b>54</b>
<b>LAMPIRAN .....</b>		<b>59</b>

**DAFTAR TABEL**

<b>Tabel 1.</b> Pengujian Karakteristik Agregat.....	6
<b>Tabel 2.</b> Ketentuan Agregat Halus untuk Campuran Beton Aspal .....	7
<b>Tabel 3.</b> Spesifikasi Gradasi Campuran AC – BC.....	9
<b>Tabel 4.</b> Kandungan Unsur Kimia Abu sekam Padi .....	13
<b>Tabel 5.</b> Data dampak lingkungan dari produksi HMA .....	24
<b>Tabel 6.</b> Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung .....	26
<b>Tabel 7.</b> Metode Pengujian Karakteristik .....	30
<b>Tabel 8.</b> Perhitungan Benda Uji .....	31
<b>Tabel 9.</b> Karakteristik Agregat Kasar, Agregat Halus dan Filler .....	36
<b>Tabel 10.</b> Karakteristik Aspal .....	36
<b>Tabel 11.</b> Gradasi RHA.....	37
<b>Tabel 12.</b> Rancangan Campuran Aspal Panas Lapisan AC-BC .....	38
<b>Tabel 13.</b> Hubungan tegangan dan regangan dengan RHA .....	39
<b>Tabel 14.</b> Hubungan tegangan dan regangan dengan RD .....	40

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Lapisan Aspal.....	5
Gambar 2. Gradasi Agregat .....	8
Gambar 3. Distribusi Beban dan Tegangan .....	14
Gambar 4. Distribusi tegangan dan tekanan .....	15
Gambar 5. Skema cara Alat kerja UPV .....	16
Gambar 6. Diagram pembebanan uji ITS.....	18
Gambar 7. Sistem Perkerasan dua lapis yang disederhanakan.....	19
Gambar 8. Perkembangan Retak Akibat Beban Tarik.....	20
Gambar 9. Cara mengukur modulus elastisitas dengan tes Brazil .....	20
Gambar 10. Indirect tensile strength campuran modifikasi (Barman).....	22
Gambar 11. Skema Rancangan Konseptual.....	25
Gambar 12. Indirect tensile strength campuran Modifikasi (Tayfur dkk).....	27
Gambar 13. Diagram Alur Penelitian.....	28
Gambar 14. Ilustrasi Pengujian UPV .....	32
Gambar 15. Pengujian UPV .....	33
Gambar 16. Universal Testing Macine (UTM) .....	34
Gambar 17. Pengujian Kuat Tarik Belah Aspal .....	34
Gambar 18. Gradasi Agregat .....	37
Gambar 19. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Campuran RHA .....	39
Gambar 20. Grafik Hubungan Tegangan Regangan Campuran RD.....	40
Gambar 21. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dan VMA Abu Batu .....	41
Gambar 22. Grafik Hubungan Kuat Tarik Belah dan VMA RHA.....	42
Gambar 23. Grafik Hubungan Kuat Tarik dan VIM RD.....	43
Gambar 24. Grafik Hubungan Kuat Tarik dan VIM RHA .....	43
Gambar 25. Grafik Modulus Elastisitas Tarik Campuran RD .....	44
Gambar 26. Grafik Modulus Elastisitas Tarik Campuran RHA.....	45
Gambar 27. Grafik Toughness Index Gabungan RD & RHA.....	46
Gambar 28. Gelombang UPV .....	47
Gambar 29. Nilai Effective Flow Resistivity terhadap kadar aspal.....	49
Gambar 30. Nilai Dampak Lingkungan Filler SD .....	50
Gambar 31. Nilai Dampak Lingkungan Filler RHA .....	51

## DAFTAR SINGKATAN DAN ARTI SIMBOL

Singkatan/symbol	Arti dan keterangan
RHA	= Rice Husk Ash (Abu Sekam Padi)
RD	= Rock Dust (Abu Batu)
TI	= Toughness Index
MPa/ N/mm <sup>2</sup>	= Kuat tekan/Tarik beton Aspal benda uji
P	= Gaya tekan aksial dari mesin tekan (N)
A	= Luas penampang melintang benda uji (mm <sup>2</sup> )
E <sub>c</sub>	= Modulus elastisitas (MPa)
σ	= Tegangan (MPa)
ε	= Regangan (mm/mm)
ε <sub>0</sub>	= Regangan prediksi (mm/mm)
UTM	= Universal testing machine
SNI	= Standar nasional indonesia
ASTM	= American society for testing and materials
ITS	= Indirect Tensile Strength
UPV	= Ultrasonic Pulse Velocity
EFR	= Effective Flow Resistivity
GWP	= Global Warming Potential
ADP	= Abiotic Depletion Potential,
AP	= Acidification Potential
EP	= Eutrophication Potential.

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari asphalt concrete wearing course (AC-WC), oncrete binder course (AC-BC), dan asphalt concrete base (AC-BC) campuran aspal AC-BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi ih kasar dari AC-WC tetapi lebih halus daripada AC-base (Binamarga, 2010) . Laston biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi ting gi seperti daerah pegunungan, gerbang tol atau pada daerah dekat lampu lalu lintas dan daerah dengan lalu lintas berat. Untuk dapat dipergunakan atau diaplikasikan di lapangan, maka aspal harus melalui tahapan pemanasan. Salah satu jenis kerusakan campuran beraspal dapat diakibatkan oleh pemanasan, dimana akibat pemanasan tersebut akan menyebabkan penuaan aspal (asphalt aging). Penyebab penuaan campuran beton aspal adalah menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan sehingga aspal menjadi getas dan kehilangan daya lekatnya. Pengurangan fleksibilitas dan pelekatan aspal ini menyebabkan jalan mudah rusak saat menerima beban lalu lintas berat.

Suatu lapisan jalan akan mengalami beban Tarik pada bagian atas. Akibatnya, tegangan Tarik beserta regangan Tarik akan timbul di daerah yang menerima beban dari kendaraan secara langsung (Walubita and van de Ven, 2009). Aksi beban Tarik dari kendaraan yang berhenti sementara atau parkir akan menarik desakan Tarik sehingga perilaku Tarik ini perlu diperhatikan. Uji kuat Tarik belah merupakan metode untuk mengevaluasi metode pengujian Tarik pada umumnya.

Abu sekam padi tidak cuma dihasilkan dari proses pembakaran batu bata merah saja, limbah abu sekam padi bisa dihasilkan dari sisa gabah pertanian yang dibakar sampai jadi abu (Helal, Mahdy and Ibrahim, 2020). Limbah abu sekam padi mempunyai senyawa silica ( $\text{SiO}_2$ ) yang sangat besar. Dapat diketahui bahwa silica merupakan 2 bahan yang bersifat mengikat atau memiliki angka adhesi yang cukup tinggi. Alasan mengapa abu sekam padi bisa digunakan sebagai filler karena abu sekam padi memiliki kandungan silica yang tinggi, sehingga diharapkan akan menambah daya tahan lapis perkerasan aspal terhadap kerusakan yang disebabkan oleh air dan cuaca (Arabani and Tahami, 2017).

Abu sekam padi sebagai bahan pengisi (filler) untuk campuran aspal beton harus lolos saringan No. 200 (0,075 mm). Pemanfaatan limbah abu sekam padi sebagai campuran filler pada aspal bisa menjadi salah satu pilihan lain dibandingkan dengan filler yang mahal seperti semen. Persyaratan filler menurut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat; Direktorat Jenderal Bina Marga, 2018) dalam kondisi kering, bebas dari gumpalan gumpalan dan

lolos ayakan 200. Berdasarkan ketentuan tersebut, dalam aplikasi dilapangan, filler sering menggunakan semen karena mengandung kapur tohor 60-65%, silica 20-24% dan alumina sekitar 4-8%. Kandungan bahan tersebut mempengaruhi stabilitas dan viskositas campuran aspal. Namun hal tersebut tidak menutup kemungkinan adanya penggunaan filler lain selama masih memenuhi ketentuan yang disyaratkan. Penggunaan filler pada campuran aspal adalah untuk mengisi rongga dalam campuran, untuk meningkatkan daya ikat aspal beton, juga diharapkan dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal. Macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah: abu batu, kapur padam, portland cement (PC), debu dolomite, abu terbang, debu tanur tinggi pembuat semen atau bahan mineral tidak plastis lainnya. Banyaknya bahan pengisi dalam campuran aspal beton sangat dibatasi. Kebanyakan bahan pengisi, maka campuran akan sangat kaku dan mudah retak disamping memerlukan aspal yang banyak untuk memenuhi workability. Sebaliknya kekurangan bahan pengisi campuran menjadi sangat lentur dan mudah terdeformasi oleh roda kendaraan sehingga menghasilkan jalan yang bergelombang. Pada penelitian ini kadar bahan pengisi menggunakan 1% dari berat total campuran aspal beton dan bahan pengisi (filler) yang digunakan adalah Abu Batu & Abu Sekam. Berdasarkan latar belakang tersebut penulis dapat tertarik untuk menguji.

### **“ANALISA KUAT TARIK BELAH DAN JEJAK CARBON CAMPURAN BERASPAL YANG MENGGUNAKAN ABU BATU DAN ABU SEKAM PADI SEBAGAI FILLER”**

#### **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan uraian pada latar belakang, maka dapat dirumuskan beberapa pokok permasalahan penelitian sebagai berikut:

1. Bagaimana Menganalisis Kuat tarik belah campuran beraspal yang menggunakan Abu batu dan Sekam padi sebagai bahan pengisi (Filler).
2. Berapa besar pengaruh Dampak Lingkungan yang dihasilkan oleh setiap campuran beraspal yang menggunakan abu batu dan abu sekam sebagai (filler).

#### **1.3 Tujuan Penelitian**

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dijabarkan sebelumnya, maka tujuan yang diharapkan dalam penelitian ini adalah:

1. Menganalisis perilaku Tarik belah pada campuran beraspal yang menggunakan abu batu dan abu sekam padi sebagai Filler.
2. Membandingkan Setiap Indikator Dampak Lingkungan yang dihasilkan oleh campuran beraspal yang dibuat dari abu batu dan sekam padi sebagai Filler.

#### **1.4 Manfaat Penelitian**

1. Memperoleh perilaku Tarik belah pada campuran beraspal yang menggunakan Abu batu dan Abu Sekam padi sebagai filler.
2. Memperoleh perbandingan informasi tentang Dampak lingkungan yang dihasilkan dari setiap campuran beraspal yang menggunakan abu batu dan Abu sekam padi.
3. Menghasilkan penilaian dari kegunaan abu batu dan sekam padi melalui kinerja setiap campuran beraspal.

#### **1.5 Ruang Lingkup**

Adapun dalam penelitian ini, ruang lingkup permasalahan dibatasi pada:

1. Menggunakan abu batu dan Abu sekam padi sebagai Filler untuk membuat lapisan campuran beraspal.
2. Perilaku benda uji dibawah beban Tarik dipelajari dengan menyusun hubungan tegangan-regangan.
3. Indikator dampak lingkungan dari setiap campuran yang dipersiapkan dalam penelitian ini meliputi ADP (Abiotic Depletion Potential), GWP (Global Warming Potential) AP (Acidification Potential) dan EP (Eutrophication Potential).

#### **1.6 Batasan Masalah**

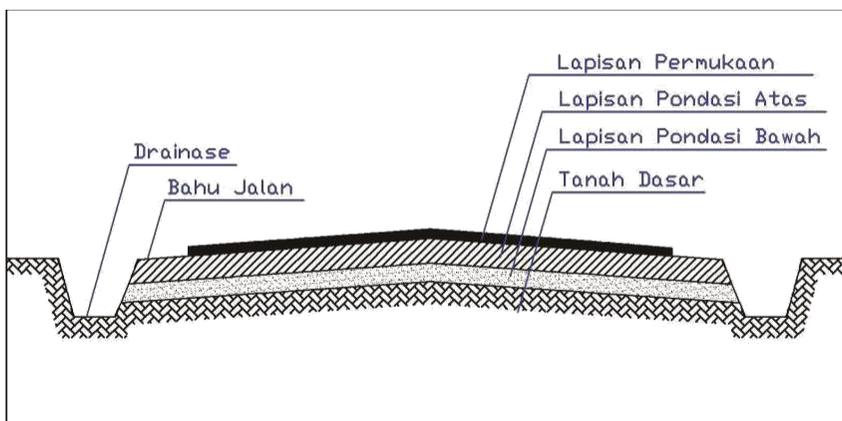
1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Menggunakan Abu batu dan Abu Sekam padi sebagai bahan pengisi Filler.
3. Aspal yang digunakan menggunakan aspal Penetrasi 60/70.
4. Benda uji Jenis campuran Beraspal yang digunakan, dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung untuk mengetahui karakteristik campuran aspal dalam menerima beban tarik dalam kondisi normal sesuai perlakuan yang dituangkan dalam SNI 06-2489- 1991.

## 1.7 Aspal (bitumen)

Aspal (Asphalt) adalah material perekat /cementitious, berwarna hitam atau coklat tua. Aspal dapat diperoleh di alam (aspal alam), atau berupa residu hasil pengilangan minyak bumi (aspal minyak). Aspal mengandung senyawa hidrokarbon, nitrogen dan logam lainnya. Mutu kimia aspal ditentukan berdasarkan komponen pembentuknya. Kisaran besaran aspal adalah 4-10% berdasarkan berat campuran, dan 10-15% berdasarkan volume campuran (Sukirman, 2016). Aspal minyak digunakan untuk konstruksi jalan raya, bersifat mengikat agregat, memberikan lapisan kedap air, tahan terhadap pengaruh asam, basa dan garam. Jika lapisan perkerasan dibuat dengan aspal yang bermutu baik, maka akan tahan terhadap pengaruh cuaca dan reaksi kimia, serta memberikan lapisan kedap air. Sifat aspal akan berubah dipengaruhi oleh panas dan umur. Aspal menjadi kaku dan rapuh, daya adesi terhadap partikel agregat akan berkurang. Oleh karena itu diperlukan upaya untuk menganalisis lebih lanjut terhadap sifat aspal dan proses pelaksanaan di lapangan (Nur *et al.*, 2021). Ada empat sifat dasar aspal beton yang harus diperhatikan dalam merencanakan campuran aspal beton, seperti stabilitas, durabilitas, fleksibilitas dan mempunyai tahanan terhadap selip (skid resistance). Apabila keempat sifat tidak dapat diwujudkan secara optimum, maka perencanaan campuran aspal beton tidak dapat dilakukan. Karena campuran yang baik harus mempunyai kecukupan dalam keempat sifat di atas (Gunarto, 2019).

## 1.8 Lapis Aspal Beton

Lapisan Aspal Beton (Laston) Laston adalah beton aspal bergradasi menerus yang umum digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas berat. Laston dikenal pula dengan nama AC (Asphalt Concrete). Karakteristik yang terpenting pada campuran ini adalah stabilitas. Tebal nominal minimum Laston 4- 6 cm. Persyaratan teknis yang digunakan dalam penelitian sesuai dengan persyaratan teknis campuran aspal beton yang dikeluarkan oleh DPU (Ariawan, Subagio and Setiadji, 2015). Lapisan aspal beton pada konstruksi jalan yang terdiri dari agregat kasar, agregat halus, filler dan aspal keras, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada suhu tertentu. Adapun Jenis lapisan aspal beton campuran panas, terbagi menjadi 3:



**Gambar 1.** Lapisan Aspal Sumber : *Spesifikasi Binamarega 2010 Rev.3*

### 1.8.1 Asphalt Concrete – Wearing Course (AC-WC)

Laston sebagai lapisan aus, dikenal dengan nama AC-WC (Asphalt Concrete – Wearing Course) dengan tebal minimum AC-WC adalah 4 cm lapisan ini adalah lapisan yang berhubungan langsung dengan ban kendaraan dan dirancang untuk tahan terhadap perubahan cuaca, gaya geser, tekanan roda ban kendaraan serta memberikan lapis kedap air untuk lapisan dibawahnya (Guncoro *et al.*, 2019).

### 1.8.2 Asphalt Concrete – Binder Course (AC-BC)

Aspal AC-BC (Asphalt Concrete – Binder Course) adalah lapis perkerasan terletak dibawah lapisan aus dan di atas lapis bawah (pondasi). Lapis ini diharuskan mempunyai kekauan dan ketebalan yang baik untuk mengurangi tekanan akibat beban kendaraandan harus memiliki karakteristik stabilitas (Caron and Markusen, 2016).

### 1.8.3 Asphalt Concrete – Base (AC-Base)

AC-Base merupakan perkerasan yang terletak dibawah lapis pengikat (AC- BC), perkerasan tersebut tidak berhubung langsung dengan cuaca, tetapi perlu memiliki stabilitas untuk menahan beban lalulintas yang disebabkan melalui roda kendaraan. Laston AC-Base merupakan lapis yang terletak di bawah lapisan aus AC- BC (Hakim, 2017).

## 1.9 Unsur Penyusun Campuran Aspal Panas

Aspal merupakan salah satu jenis dari lapis perkerasan konstruksi perkerasan lentur, Campuran beton aspal tersebut terdiri atas agregat kasar, agregat halus, filler sebagai bahan pengikat yang dicampur menjadi satu yang dipadatkan diatas permukaan jalan (Tahir., 2023). Adapun persyaratan untuk pemeriksaan Analisa saringan agregat kasar dan agregat halus, Pengukuran berat jenis dan

penyerapan agregat kasar, Pengukuran berat jenis dan penyerapan agregat halus.

### 1.9.1 Agregat Kasar

Agregat merupakan suatu bahan yang keras dan kaku yang digunakan sebagai bagian terbesar dari campuran aspal. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan (sekitar 90% - 95% berat atau 75% - 85% volume campuran). Berdasarkan besar partikelnya agregat dibedakan menjadi agregat kasar dan agregat halus. Agregat kasar adalah batuan yang tertahan saringan no: 4 dan agregat halus adalah batuan yang lolos saringan no.4

**Tabel 1.** Standart Agregat Kasar.

Jenis pemeriksaan	Standart	Syarat max/min
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan natrium dan magnesium sulfat.	SNI 03-3407-1994	Maks. 12 %
Abrasi dengan mesin los angeles	SNI 03-2417-1991	Maks 40 %
Kelekatan agregat terhadap aspal	SNI 03-2439-1991	Min 95 %
Agularitas	SNI 03-6877-2002	95/90 (*)
Partikel pipih dan lonjong (**)	RSNI T-01-2005	Maks. 10 %
Material lolos saringan No.200	SNI 03-4142-1996	Maks. 1%

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007) Catatan: (\*) 95/90

### 1.9.2 Agregat Halus

Agregat halus yaitu agregat yang berukuran antara 2,36 mm (lolos saringan No.4) dan (tertahan saringan No.200). Fungsi agregat halus adalah sebagai berikut:

- Dalam Gap Graded, agregat halus pada #8 sampai dengan #30 dikurangi agar diperoleh rongga udara yang memadai untuk jumlah aspal tertentu.
- Secara visual semakin kecil ukuran butir agregat maka semakin padat daya serap agregat tersebut.

**Tabel 2.** Ketentuan Agregat Halus untuk Campuran Beton Aspal

Jenis pemeriksaan	Standart	Syarat maks/min
Nilai setara pasir	SNI 03-4428- 1997	Maks. 50 %
Material lolos saringan No. 200	SNI 03-4142- 1996	Maks. 8 %
Angularitas	SNI 03-6877- 2002	Minn 45. %

(Sumber: Rancangan Spesifikasi Umum Bidang Jalan dan Jembatan, Divisi VI Perkerasan Beraspal, Dep. PU, Edisi April 2007).

### 1.9.3 Sifat Fisik Agregat

Dalam hubungannya dengan kinerja campuran beraspal diperlukan pemeriksaan terhadap sifat-sifat fisik agregat. Untuk tujuan ini sifat pada agregat yang harus di periksa antara lain: ukuran butir, gradasi, kebersihan, kekerasan bentuk partikel, tekstur permukaan, penyerapan dan kelekatan terhadap aspal.

#### a. Ukuran Butir

Ukuran agregat dalam suatu campuran beraspal terdistribusi dari berukuran besar sampai yang terkecil. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang di pakai semakin banyak variasi ukurannya dalam campuran tersebut.

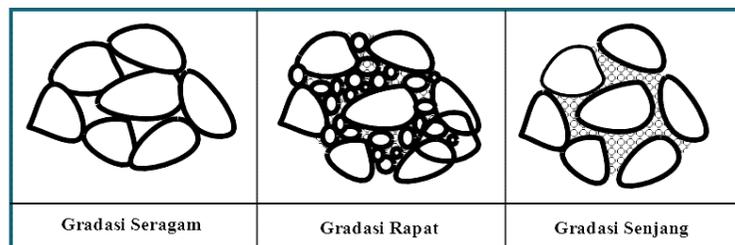
Mineral pengisi dan mineral abu dapat terjadi secara almhiahatau dapat juga di hasilkan dari proses pemecahan batuan atau proses buatan. Mineral ini penting artinya untuk mendapatkan campuran yang padat, berdaya tahan dan kedap air. Perubahan sifat dari campuran ini bisa terjadi hanya karena sedikit perubahan dalam jumlah atau sifat dari bahan pengisi atau mineral debu yang digunakan. Oleh karena itu jenis dan jumlah mineral pengisi atau debu yang di gunakan dalam campuran haruslah dikontrol dengan seksama.

#### b. Gradasi

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dan variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat dapat ditentukan oleh analisa

saringan, dimana contoh agregat harus lolos pada saringan tertentu. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing – masing contoh yang lolos pada saringan tertentu dan ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan di masing-masing saringan Menurut (Sukirman, 2016), gradasi agregat terbagi atas tiga yaitu; gradasi seragam (uniform graded), gradasi rapat (dense graded) dan gradasi senjang (gap graded).

- **Gradasi Seragam (Uniform Graded)**  
Gradasi seragam (uniform graded) adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama, gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (open graded) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran agregat yang dibuat dengan gradasi ini memiliki permeabilitas tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.
- **Gradasi Rapat (Dense Graded)**  
Gradasi rapat (dense graded) adalah gradasi agregat, dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus sehingga disebut juga gradasi menerus atau gradasi baik (well graded). Campuran dengan gradasi ini memiliki stabilitas yang tinggi, agak kedap air.
- **Gradasi Senjang (Gap Graded)**  
Gradasi senjang (gap graded) adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali.



**Gambar 2.** Ilustrasi Gradasi Agregat (Sumber : Binamarga 2010 Rev.3)

Agregat yang digunakan untuk lapisan perkerasan harus mempunyai daya tahan terhadap degradasi yang timbul selama proses pencampuran, pemadatan, repetisi beban lalu lintas dan disintegrasi yang terjadi selama masa pelayanan

tersebut. Degradasi merupakan kehancuran agregat menjadi partikel-partikel yang lebih kecil akibat gaya yang diberikan pada waktu penimbunan, pemadatan ataupun beban lalu lintas. Tingkat degradasi dipengaruhi oleh jenis agregat, gradasi, bentuk, ukuran partikel dan energi pemadatan. Semua lapisan perkerasan lentur membutuhkan agregat yang terdistribusi dari besar sampai kecil. Semakin besar ukuran maksimum partikel agregat yang digunakan semakin banyak variasi ukuran dari besar sampai kecil yang dibutuhkan. Terdapat 2 cara untuk menyatakan ukuran partikel agregat yaitu dengan:

- Ukuran maksimum, merupakan ukuran tapis/ayakan terkecil dimana agregat tersebut lolos 100 %.
- Ukuran nominal maksimum, merupakan ukuran tapis terbesar dimana agregat tertahan tapis tidak lebih dari 10%.

**Tabel 3. Spesifikasi Gradasi Campuran AC - BC**

Ayakan		Gradasi
No. Saringan	Ukuran Saringan (mm)	AC –BC
1 ½"	3,750	-
1"	25,000	100
¾"	9,500	90 - 100
½"	4,750	75 - 90
⅜"	4,750	66 – 82
No. 4	4,750	46 – 64
No. 8	2,360	30 – 49
NO. 16	1,180	18 – 38
No. 30	0,600	12 -28
No. 50	0,300	7- 20
NO. 100	0,150	5 – 13
NO. 200	0,075	4 – 8

**Sumber** : Spesifikasi Umum Bidang Jalan, 2010 revisi 3.

### C. Kebersihan Agregat

Dalam spesifikasi biasanya memasukkan syarat kebersihan agregat dengan memberikan suatu batasan jenis dan jumlah material yang tidak diperlukan, seperti lumpur, tanaman dan lain sebagainya, yang melekat pada agregat, karena akan memberikan pengaruh yang jelek pada perkerasan seperti berkurangnya ikatan antara aspal dan agregat.

**d. Kebersihan Agregat**

Agregat yang nantinya digunakan sebagai lapis permukaan haruslah lebih keras (lebih tahan) dari agregat yang digunakan pada lapisan dibawahnya. Hal ini disebabkan karena permukaan perkerasan akan menerima dan menahan tekanan dan benturan dari beban lalu lintas paling besar.

**e. Bentuk butir Agregat.**

Agregat memiliki bentuk butir dari bulat (rounded) dan bersudut (angular). Bentuk butir agregat dapat mempengaruhi workabilitas campuran perkerasan pada saat penghamparan, yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan untuk kekuatan struktur perkerasan selama umur pelayanannya. Dalam campuran beraspal, penggunaan agregat yang bersudut saja atau bulat saja tidak akan menghasilkan campuran beraspal yang baik. Kombinasi penggunaan kedua bentuk partikel ini sangat dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasan dan workabilitas yang baik dari campuran tersebut.

**f. Tekstur Permukaan Agregat.**

Permukaan agregat yang kasar akan memberikan kekuatan pada campuran beraspal karena kekasaran permukaan agregat dapat menahan agregat dari pergeseran atau perpindahan. Kekasaran permukaan agregat juga akan memberikan tahanan gesek yang kuat pada roda kendaraan sehingga meningkatkan keamanan kendaraan terhadap slip.

Agregat dengan permukaan yang kasar memiliki koefisien gesek yang tinggi yang membuat agregat tersebut sulit untuk berpindah tempat sehingga akan menurunkan workabilitasnya. Oleh sebab itu, penggunaan agregat bertekstur halus dengan proporsi tertentu kadang-kadang dibutuhkan untuk membantu meningkatkan workabilitasnya. Dilain pihak film aspal lebih mudah merekat pada permukaan yang kasar sehingga akan menghasilkan ikatan yang baik antara aspal dan agregat.

**g. Daya serap Agregat**

Daya Serap Agregat Keporusan agregat menentukan banyaknya zat cair yang dapat diserap agregat. Kemampuan agregat untuk menyerap air dan aspal adalah suatu informasi yang penting yang harus diketahui dalam pembuatan campuran beraspal. Jika daya serap agregat sangat tinggi, agregat ini akan terus menyerap aspal baik pada saat maupun setelah

proses pencampuran agregat dengan aspal di unit pencampur aspal (AMP). Hal ini akan menyebabkan aspal yang berada pada permukaan agregat yang berguna untuk mengikat partikel agregat menjadi lebih sedikit sehingga akan menghasilkan film aspal yang tipis. Oleh karena itu, agar campuran yang dihasilkan tetap baik agregat yang porus memerlukan aspal yang lebih banyak dibandingkan dengan yang kurang porus. Agregat dengan keporusan atau daya serap yang tinggi biasanya tidak digunakan, tetapi untuk tujuan tertentu pemakaian agregat ini masih dapat dibenarkan asalkan sifat lainnya dapat terpenuhi. Contoh material seperti batu apung yang memiliki keporusan tinggi yang digunakan karena ringan dan tahan terhadap abrasi.

#### **h. Kelekatan Agregat terhadap Aspal.**

Kelekatan agregat terhadap aspal adalah kecenderungan agregat untuk menerima, menyerap dan menahan film aspal. Agregat hidrophobik (tidak menyukai air) adalah agregat yang memiliki sifat kelekatan terhadap aspal yang tinggi, contoh dari agregat ini adalah batu gamping dan dolomit. Sebaliknya, agregat hidrophilik (suka air) adalah agregat yang memiliki kelekatan terhadap aspal yang rendah. Sehingga agregat jenis ini cenderung terpisah dari film aspal bila terkena air. Kuarsit dan beberapa jenis granit adalah contoh agregat hidrophilik. Ada beberapa metode uji untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal dan kecenderungannya untuk mengelupas (stripping). Salah satu diantaranya dengan merendam agregat yang telah terselimuti aspal kedalam air, lalu diamati secara visual. Tes lainnya adalah dengan melakukan perendaman mekanik. Tes ini menggunakan 2 contoh campuran, satu direndam dalam air dan diberikan energi mekanik dengan cara pengadukan, dan satunya lagi tidak. Kemudian kedua contoh ini diuji kekuatannya. Perbedaan kekuatan antara keduanya dapat dipakai sebagai indikator untuk dapat mengetahui kepekaan agregat terhadap pengelupasan.

#### **1.9.4 Bahan Pengisi Filler**

Filler adalah material yang lolos saringan no.200 (0,075 mm) dan termasuk kapur hidrat, abu terbang, Portland semen dan abu batu. Filler dapat berfungsi untuk mengurangi kepekaan terhadap temperatur serta mengurangi jumlah rongga udara dalam campuran, namun demikian jumlah filler harus dibatasi pada suatu batas yang menguntungkan. Terlampaui tinggi kadar filler maka cenderung

menyebabkan campuran menjadi getas dan akibatnya akan mudah retak akibat beban lalu lintas. Pada sisi lain kadar filler yang terlampau rendah menyebabkan campuran menjadi lembek pada temperatur yang relatif tinggi. Jumlah filler ideal antara 0,6 sampai 1,2, yaitu perbandingan prosentase filler dengan prosentase kadar aspal dalam campuran atau lebih dikenal dengan istilah Dust Proportion.

Filler berperan dalam campuran aspal dengan 2 macam cara: yaitu pertama filler sebagai modifikasi dari gradasi pasir yang menimbulkan kepadatan campuran dengan lebih banyak titik kontak antara butiran partikel, hal ini akan mengurangi jumlah aspal yang akan mengisi rongga-rongga yang tersisa di dalam campuran. Sedangkan peran kedua adalah suatu cara yang baik untuk mempengaruhi kinerja filler dengan mempertimbangkan proporsi yang menguntungkan dari komposisi agregat halus, filler dan aspal di dalam mortar, selanjutnya sifat-sifat mortar ini tergantung pada sifat asli dari pasir, jumlah takaran dalam campuran aspal serta bahan pengikat yang digunakan.

Menurut (Sukirman, 2016) bahan pengisi (filler) juga harus memenuhi persyaratan- persyaratan sebagai berikut:

- a. Gradasi agregat AASHTO T27 – 82
- b. Berat jenis curah (Bulk) AASHTO T84 – 88 minimum 2,5
- c. Penyerapan air maksimum 3%.

### 1.10 Abu Sekam Padi

Abu sekam padi berasal dari kulit padi yang dibakar dengan cara dipanggang sampai menjadi arang dan kemudian dihaluskan. Abu sekam padi dapat dikelompokkan sebagai bahan pozzolan. Menurut (Ismadarni, Risman and Kasan, 2013), pozzolan didefinisikan sebagai bahan yang mengandung silika dan alumina dalam jumlah banyak. Kenyataan ini diperkuat oleh (Wen-hwei dalam Widjaja, 1999 dan Ridwan Hadi Rianto, 2007) yang menyatakan bahwa pembakaran sekam padi pada suhu terkontrol menghasilkan bahan pozzolan berkualitas mengandung silika 86,9 – 97,3 %.

- a. Sifat fisik abu sekam padi

Beberapa sifat – sifat fisik dari abu sekam padi adalah:

- Sebagaimana arang hasil pembakaran, abu sekam padi berwarna hitam.
- Distribusi ukuran partikel abu sekam didominasi oleh ukuran 20 – 30  $\mu\text{m}$  dan hanya sebagian kecil saja yang lolos 40  $\mu\text{m}$  (Wanadri, A., 1999 dan Ridwan Hadi Rianto, 2007). Dari hasil pengujian diperoleh berat jenis abu sekam 1,732.

b. Sifat kimiawi abu sekam padi

Sekam yang dibakar memiliki sifat pozzolan yang mengandung unsur silikat yang tinggi, rata – rata SiO<sub>2</sub> 96,70 % dengan pozzolanic activity index 87 %. Pozzolan ini mengandung sifat sementasi jika bercampur dengan kapur dalam air. Kandungan unsur – unsur kimiawi dalam abu sekam padi dapat dilihat pada Tabel di bawah.

**Tabel 4.** Kandungan Unsur Kimia Abu sekam Padi

No	Unsur	Kandungan (%)
1	CaO	0,49
2	K <sub>2</sub> O	0,91
3	MgO	0,22
4	Na <sub>2</sub> O	0,26
5	TiO <sub>2</sub>	0,16
6	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	1,01
7	P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	0,01
8	SiO <sub>2</sub>	96,70
9	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	0,05
10	Mno	0,15

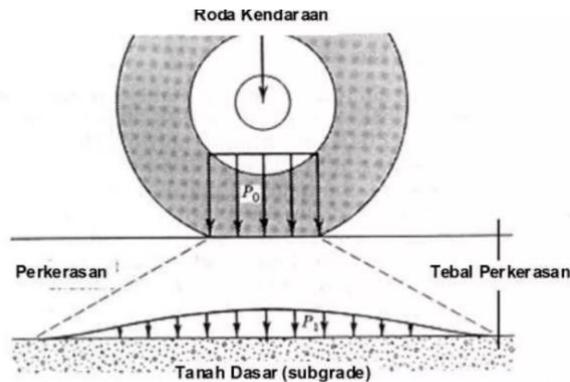
Sumber: *Ceramic–Material.com, 2004*

### 1.11 Distribusi beban pada perkerasan Jalan

Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Nur *et al.*, 2021), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (top-layer) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai komposit modulus elastisitas (E<sub>2</sub>). Akibatnya, kriteria desain perkerasan jalan dapat dibahas yaitu:

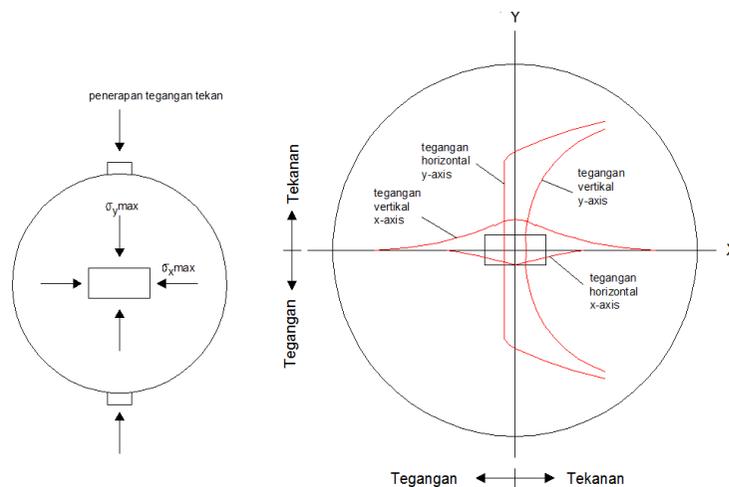
- Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- Tegangan tarik horizontal dan regangan yang terjadi di zona bawah ([h- 1] mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak. Pada Gambar 3. menunjukkan adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi

linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 3,  $Q$  adalah beban ban dengan satuan kN,  $p$  adalah tekanan ban dalam kPa,  $h$  adalah ketebalan lapisan aspal permukaan dalam mm dan  $E_1$  serta  $E_2$  adalah modulus elastisitas dalam MPa. Gambar.3 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan.



**Gambar 3.** Distribusi Beban dan Tegangan Yang terjadi

Berdasarkan Gambar 3 yang memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa penerapan tegangan tekan yang terjadi berupa tegangan tekan arah horizontal maksimum ( $\sigma_y = \max$ ) dan tegangan tekan arah vertikal maksimum ( $\sigma_x = \max$ ). Selain itu, tegangan dan tekanan saling melawan sehingga besarnya tekanan sama dengan besarnya tegangan yang terjadi baik tegangan horizontal ( $y$ -axis) dan tegangan vertikal ( $x$ -axis). Distribusi tegangan dan tekanan yang terjadi pada perkerasan jalan ini dapat disebabkan oleh beban lalu lintas maupun beban roda kendaraan yang berulang. Gambar 4 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan.



**Gambar 4.** Distribusi tegangan dan tekanan (Shell Bitumen Handbook, 2013).

Berdasarkan Gambar 4. yang memperlihatkan penjabaran tegangan- tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan, terlihat bahwa tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan adalah tegangan geser arah horizontal dan tegangan geser arah vertikal. Tegangan geser pada perkerasan jalan ini terjadi pada daerah bawah perkerasan jalan yang disebabkan oleh pembebanan roda kendaraan. Pembebanan roda kendaraan yang terjadi bisa disebabkan karena pembebanan secara berulang dan terus-menerus.

### 1.12 Ultrasonic Pulse Velocity (UPV)

Penggunaan Non Destruktif Test (NDT) adalah sesuatu hal baru yang menarik. Karena pengujian tersebut dapat menganalisis kondisi struktur dengan tidak merusak benda uji (Kadium and Sarsam, 2020). NDT telah didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk menguji.

suatu proyek, materi, atau system tanpa merusak kegunaan benda uji. Hal tersebut merupakan salah satu keuntungan utama dari metode NDT. Metode ini juga digunakan untuk memeriksa variasi yang ada dalam struktur, keretakan, perubahan bentuk, dan lain-lain.

Salah satu peralatan pengujian yang dapat memungkinkan menggunakan metode NDT adalah pengujian menggunakan gelombang ultrasonik. Ultrasonic Pulse Velocity atau biasa disingkat UPV adalah pengujian NDT campuran aspal dengan menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik untuk meneliti sifat campuran aspal.

Dengan pengujian UPV, campuran aspal yang pematatannya kurang baik akan terdeteksi. Hal tersebut dapat dilihat ketika gelombang UPV mengalami

penurunan kecepatan. Pada pengujian UPV, stabilitas aspal dapat ditunjukkan dengan perubahan kecepatan gelombangnya. Apabila kecepatan gelombang mengalami penurunan, maka aspal tersebut juga mengalami penurunan stabilitasnya. Sebaliknya, jika gelombang mengalami kenaikan kecepatan, maka stabilitas aspal meningkat (Kadium and Sarsam, 2020).

Pengujian UPV dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu langsung (direct), tidak langsung (indirect), dan semi langsung (semi direct). Berikut ini adalah contoh gambar pelaksanaan pengujian UPV.

Prinsip penggunaan metode UPV didasarkan pada kecepatan gelombang tekan yang melintasi sebuah benda yang tergantung pada elastic properties dan kepadatan bendanya. Menurut (Kadium and Sarsam, 2020); Cara kerja UPV yaitu transducer pengirim (transmitter) mengirimkan gelombang dan ditangkap oleh transducer penerima (receiver) yang terletak sejauh  $L$  dari transmitter. Alat Ultrasonic Pulse Velocity yang diperlukan oleh gelombang untuk melalui time ( $\Delta t$ ). Dengan demikian kecepatan gelombang dapat dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

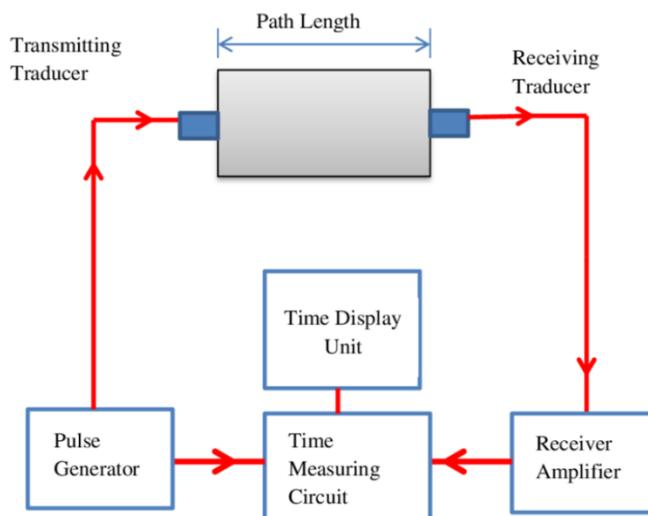
$$v = \frac{L}{\Delta t} \quad (1)$$

Keterangan:

$V$  : kecepatan perambat

$L$  : panjang lintasan gelombang (m);

$\Delta t$  : travel time (s)



**Gambar 5.** Skema cara alat kerja UPV

Kecepatan gelombang untuk aspal, biasanya berkisar antara oleh karena itu, untuk panjang lintasan 300 mm, kurang lebih 70 sampai dengan 85 $\mu$ s. Hal ini jelas bahwa peralatan tersebut harus mampu mengukur dengan sangat akurat seperti mengukur travel time yang pendek. Panjang lintasan juga harus diukur dengan teliti, karena metode UPV adalah sebuah teknik perambatan gelombang, banyak sumber yang menimbulkan menipisnya gelombang pada elemen saat pengujian (misal jack hammer) harus disingkirkan selama pengujian.

Pengiriman dan penerimaan gelombang dapat berjalan dengan baik, jika transducer harus terhubung seluruhnya ke obyek yang diuji, karena jika ada kantong udara yang terperangkap, kemungkinan dapat menyebabkan kesalahan pada pembacaan travel time, untuk menghindari hal tersebut maka digunakan couplant. Couplant yang disediakan di pasaran antara lain minyak teer (petroleum jelly), pelumas (grease), sabun cair dan pasta kaolin-glyserol. Penggunaan couplant harus setipis mungkin, namun jika permukaan beton sangat kasar maka digunakan grease yang lebih tebal. Perataan dilakukan sebelum pelaksanaan uji UPV. Sewaktu pelaksanaan uji UPV, transducer diberi tekanan yang konstan, ulangi pembacaan pada tempat yang sama, sampai didapat nilai travel time minimum.

Beberapa faktor yang dapat mempengaruhi kecepatan gelombang ultrasonik pada campuran aspal adalah sebagai berikut:

- 1) Jarak antara transmitter dan receiver,
- 2) Kondisi permukaan benda uji, dan
- 3) Temperatur benda uji

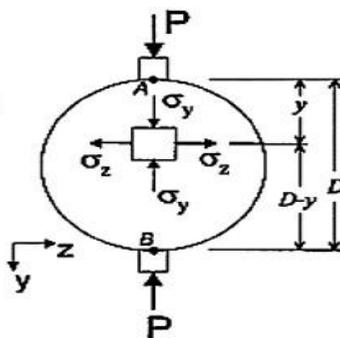
### **1.13 Uji Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS) Campuran AC-BC**

Kuat tarik tidak langsung (ITS) dimaksudkan untuk menentukan karakteristik kuat tarik dari aspal beton yang dapat dijadikan sebagai indikator dalam melakukan kajian terhadap retak (cracking) yang terjadi pada lapis perkerasan (Properties *et al.*, 2011). Perkembangan jumlah beban lalu lintas yang akan diterima oleh jalan mengakibatkan masa layanan dari lapisan perkerasan akan berkurang. Beban tekan dan beban tarik adalah dua pembebanan yang dialami oleh suatu lapisan perkerasan jalan. ASTM telah mengeluarkan pedoman dalam melakukan pengujian ITS (*Indirect Tensile Strength*) dengan kode (Properties *et al.*, 2011) . Pengujian kuat tidak langsung ini dilakukan karena tidak memungkinkan campuran campuran aspal untuk dilakukan pengujian kuat tarik langsung. Kuat tarik tidak langsung dimaksudkan untuk melihat seberapa besar tegangan tarik yang dapat terjadi pada permukaan jalan dan menyebabkan deformasi pada permukaan jalan tersebut.

Telah banyak peneliti ahli konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur dalam melakukan berbagai penelitian dan melaporkan kinerja

campuran beraspal sehubungan dengan pengujian kuat tarik tidak langsung atau biasa dikenal dengan istilah Indirect Tensile Strength (ITS) yang menggambarkan kemampuan campuran beraspal dalam menerima beban tarik secara monoton. Banyaknya ahli konstruksi jalan yang telah melakukan penelitian dengan topik kuat tarik berupa kuat tarik tidak langsung (Indirect Tensile Strength, ITS) campuran aspal karena masalah ini sehubungan masalah utama kerusakan perkerasan yakni retak yang terjadi pada perkerasan aspal yang diakibatkan oleh deformasi permanen. Ada tiga tekanan besar mekanis yang dapat menyebabkan terjadi retak yaitu retak pada suhu rendah, kelelahan (fatigue) dan rutting. Campuran aspal yang memiliki kekuatan tarik tinggi akan berkorelasi ketahanan terhadap retak yang meningkat (Kamal, Amin and Ijet, 2023), dimana diharapkan dalam penelitian ini retak itu dapat dikurangi dengan adanya penambahan filler menggunakan abu batu yang merupakan hasil Saringan Agregat lolos saringan 200 dan dicampur dengan Abu sekam padi.

Nilai kuat tarik tidak langsung pada benda uji berbentuk selinder merupakan fungsi dari beban ( $P_{max}$ ), tebal benda uji dan diameter yang dituliskan dalam persamaan 2.



**Gambar 6.** Diagram pembebanan uji ITS (Birgisson, dkk., 2008)

$$\text{Dimana : ITS} = \frac{2P}{\pi DH} \quad (2)$$

ITS = Kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

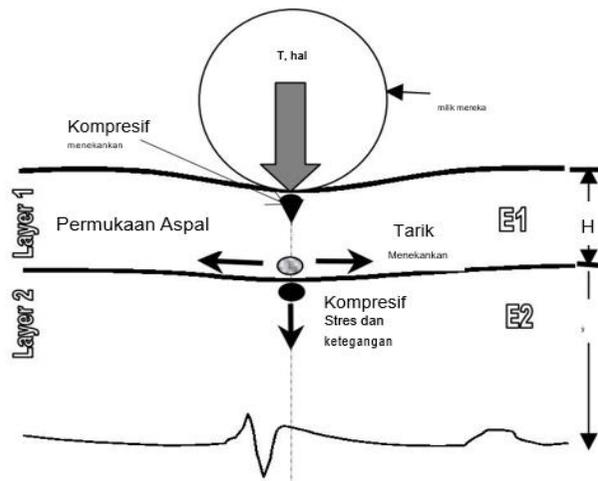
$P_{max}$  = beban maksimum (kN)

H = ketebalan benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)

#### 1.14 Hubungan tegangan Tarik dan regangan Tarik

Secara tipikal diperlihatkan hubungan tegangan tarik dan regangan tarik pada gambar berikut:



**Gambar 7.** Sistem Perkerasan dua lapis yang disederhanakan (Croney dkk, 1988)

Analisis ini didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Walubita and van de Ven, 2009), dan sistem perkerasan dua lapis elastis linier seperti yang ditunjukkan pada Gambar. 7 diadopsi. Semua lapisan di bawah permukaan aspal (lapisan atas) secara teoritis dicirikan oleh satu modulus elastis komposit ( $E2$ ). Oleh karena itu, kriteria desain berikut telah dibahas.

Distribusi tegangan-regangan dan keadaan tegangan tiga dimensi pada ketinggian lapisan permukaan aspal. Tegangan dan regangan tarik horizontal pada zona dasar ( $[h-1]mm$ ) permukaan aspal lapisan yang merupakan parameter tekanan kegagalan untuk retak lelah perkerasan.

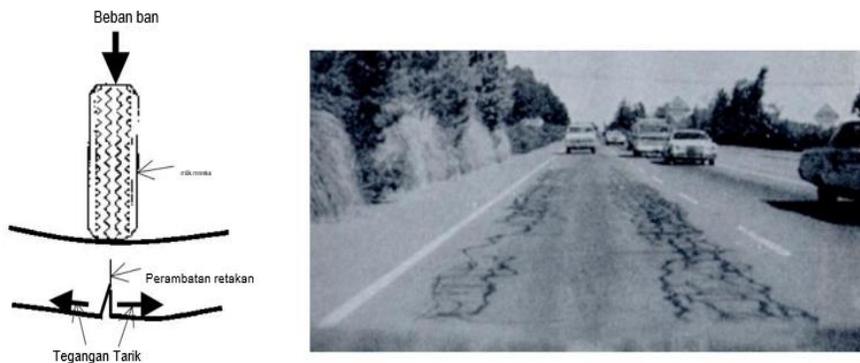
Untuk sistem perkerasan multi lapis, penyederhanaan dan karakterisasi lapisan 2 di atas mungkin tidak berlaku. Namun, untuk tujuan tulisan ini, hal tersebut dianggap dapat dibenarkan karena kepentingannya adalah pada lapisan aspal. Selain itu, ini adalah model yang disederhanakan dengan asumsi kondisi.

Semua perhitungan dilakukan langsung di bawah pusat beban ban pada jarak radial nol dimana tegangan utama diasumsikan maksimum.

#### 1.14.1 Retak dan Ruting Kelelahan

Kinerja perkerasan biasanya dievaluasi menggunakan model retak lelah dan alur. Retakan dan alur akibat kelelahan terutama disebabkan oleh tegangan dan regangan akibat beban lalu lintas yang berulang dan/atau tinggi secara kumulatif. Faktor-faktor lain seperti desain campuran material, suhu, kelembaban, penuaan, oksidasi, dll secara langsung atau tidak langsung berkontribusi

terhadap kerusakan perkerasan. Namun faktor-faktor tersebut tidak dibahas dalam makalah ini. Retak Kelelahan (Fatigue Cracking) adalah keretakan progresif pada permukaan aspal atau lapisan dasar yang distabilkan akibat pembebanan lalu lintas yang berulang secara kumulatif. Hal ini terjadi akibat adanya tegangan dan regangan tarik pada zona bawah dan menjalar ke atas hingga ke atas. Di permukaan trotoar, akhirnya muncul retakan buaya di sepanjang jejak roda. Retak akibat lelah pada lapisan aspal dianggap sebagai kerusakan struktural yang besar dan sebagian besar disebabkan oleh pembebanan lalu lintas. Selain itu, masuknya air hujan melalui retakan dapat menyebabkan kegagalan struktural yang serius pada lapisan di bawahnya, terutama material berbutir dan tidak terikat, termasuk tanah dasar. Retakan diukur dalam meter persegi luas permukaan. (Walubita and van de Ven, 2009).

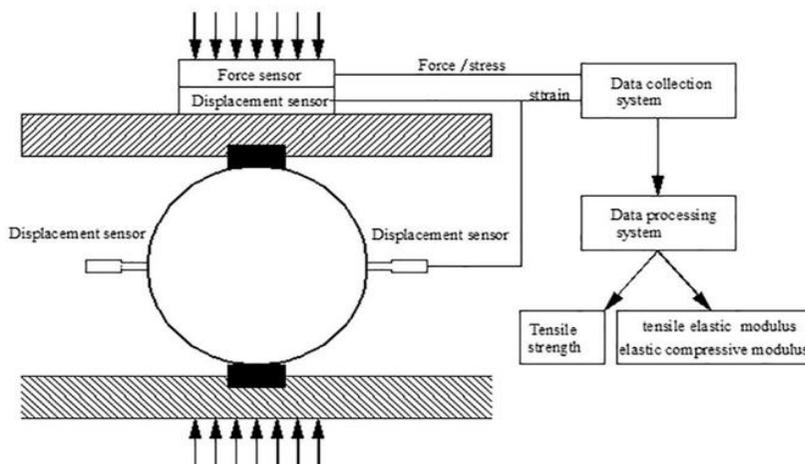


(a) Perkembangan retak akibat beban roda

(b) Retak pada track roda

**Gambar 8.** Perkembangan Retak Akibat Beban Tarik (*Sumber Walubilata*)

### 1.14.2 Elastisitas Tarik



**Gambar. 9** Cara mengukur modulus elastisitas dengan tes Brazil (*Sumber Walubita*)

Berdasarkan hukum hook, rasio tegangan terhadap regangan merupakan karakteristik tetap dari sebuah material, dan nilai keseimbangan ini disebut modulus elastisitas. Karena ada tiga jenis tegangan yaitu tekan, pemampatan dan geser, maka akan ada tiga modulus elastisitas yang sesuai dengan tegangannya. (Jastrzabski, 1987). Modulus elastisitas dalam tekanan atau Modulus Young dapat dinotasikan sebagai  $E$ , (Hebbler 2011).

$$E = \sigma t / \epsilon t \quad (3)$$

Dimana :  $E$  = Modulus Elastisitas (MPa/mm)

$\sigma t$  = Tegangan (MPa)

$\epsilon t$  = Regangan (mm)

### 1.14.3 Toughnes index

Dan terdapat pula perhitungan untuk memperoleh toughnes indeks, dengan rumus  $TI = \frac{Ad - Ap}{d/dp - 1}$  (Modarres and Alinia Bengar, 2017)

Pada umumnya toughness index diperoleh dari hubungan tegangan tarik yang di normalisasi dengan regangan Tarik (Srivatsan *et al.*, 1997). Parameter TI ditentukan menggunakan kurva tegangan-regangan yang dinormalisasi. Parameter ini merupakan indikator fleksibilitas material.

Faktanya, ketangguhan adalah kemampuan suatu material untuk menyerap energi dan berubah bentuk tanpa patah. Gambar 10 menggambarkan kurva ITS yang dinormalisasi. Untuk mendapatkan kurva yang dinormalisasi, nilai tegangan yang tercatat dibagi dengan kekuatan tarik benda uji terkait yaitu nilai tegangan maksimum (Walubita and van de Ven, 2009). Oleh karena itu, kurva tegangan-regangan tak berdimensi diperoleh dengan nilai maksimum 1 pada sumbu vertikal versus nilai regangan nyata pada sumbu horizontal. Indeks ketangguhan tarik tidak langsung (TI) tanpa dimensi didefinisikan sebagai:

$$TI_{it} = \frac{A\epsilon - Ap}{\epsilon - \epsilon p} \quad (4)$$

Dimana :

TI = toughness index;

$A\epsilon$  = area under the normalized stress strain curve up to strain

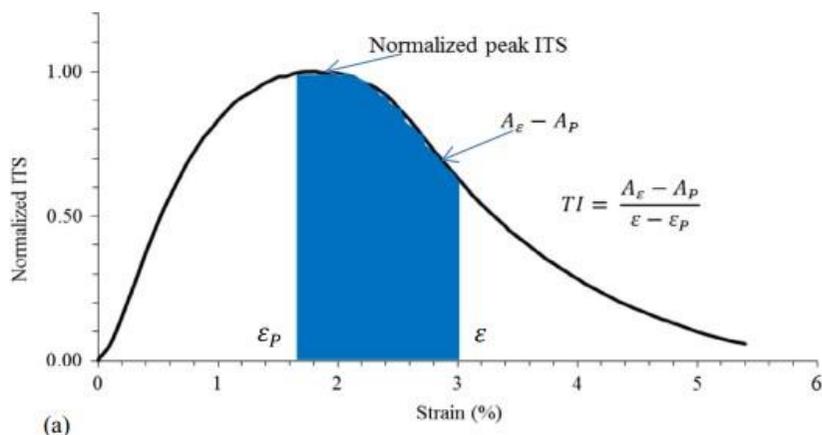
$Ap$  = area under the normalized stress strain curve up to strain

$\epsilon$  = strain at thr point of interest;

$\epsilon p$  = strain coresponding to the peak stress

Barmann, et al., (2018) melakukan pengujian berat tarik tidak langsung dengan menerapkan beban yang meningkat secara monoton dengan laju 50 mm/menit sepanjang diameter silinder spesimen. Dalam penelitian ini, perpindahan diukur

di bagian atas spesimen. Beberapa peneliti menggunakan data uji IDT untuk menentukan indeks ketangguhan (TI) untuk mengkarakterisasi kelelahan ketahanan campuran aspal. TI ditentukan dengan menggunakan kurva ITS – regangan yang dinormalisasi. Nilai ITS yang dinormalisasi adalah diperoleh dengan menormalkan nilai tegangan sehubungan dengan puncak menekankan. Gambar 10 menunjukkan ITS yang dinormalisasi– kurva regangan.



**Gambar 10.** Indirect tensile strength campuran yang dimodifikasi (Barman dkk, 2018 )

### 1.15 Parameter Dampak Lingkungan

Salah satu sumber utama emisi  $CO_2$  di sektor transportasi jalan raya adalah konsumsi bahan baku dan bahan bakar dalam kegiatan pemeliharaan dalam menjaga perkerasan jalan yang rusak. Disisi lain instansi jalan raya seringkali dihadapkan pada anggaran yang tidak memadai untuk pemeliharaan perkerasan jalan, sehingga mengharuskan penerapan hemat biaya ke dalam jadwal pemeliharaan jangka Panjang.

Adapun parameter yang umum untuk menganalisa dampak lingkungan antara lain Global Warming Potential (GWP), Abiotic Depletion Potential (ADP), Acidification Potential (AP), dan Eutrophication Potential (EP). GWP memiliki keterkaitan dengan seluruh gas rumah kaca, yang berasal dari emisi  $CO_2$  dan metana, dapat memicu peningkatan suhu global dan dampak negatif pada ekosistem, kesehatan manusia, dan kesejahteraan material. Perubahan iklim merujuk pada fluktuasi suhu global sebagai hasil dari efek rumah kaca. "Gas rumah kaca" seperti karbon dioksida ( $CO_2$ ), yang dilepaskan oleh aktivitas manusia, tetap berada di atmosfer bumi dan menghalangi kehilangan panas bumi yang diperoleh dari matahari. Peningkatan suhu global ini berpotensi menimbulkan gangguan iklim, desertifikasi, peningkatan permukaan laut, dan penyebaran penyakit. Kesepakatan ilmiah yang substansial menunjukkan

bahwa peningkatan emisi gas rumah kaca memiliki dampak yang signifikan terhadap iklim.

Kategori ADP menggambarkan pengurangan jumlah global bahan baku yang tidak dapat diperbaharui. Kategori dampak ini terkait dengan ekstraksi material abiotik murni, misalnya ekstraksi agregat, bijih logam, mineral, tanah, dll. Ekstraksi zat-zat tersebut dapat berarti bahwa kapasitas alami bumi terlampaui dan membuatnya tidak tersedia untuk digunakan oleh generasi mendatang. Kategori ini mengatasi kelangkaan unsur yang dipertimbangkan.

Dampak AP ini disebabkan oleh deposisi polutan yang bersifat asam pada tanah, air, organisme, ekosistem, dan bahan seperti sulfur dan nitrogen. Gas-gas asam seperti sulfur dioksida (SO<sub>2</sub>) dan nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) yang dilepaskan dalam pembakaran bahan bakar bereaksi dengan air di tanah atau di atmosfer (di mana ini membentuk "hujan asam"). Asam adalah zat kimia yang dapat menghasilkan ion hidrogen (H<sup>+</sup>, juga disebut 'proton') ketika bertemu air. Ion hidrogen sangat reaktif dan memicu zat lain mengubah komposisi dan sifat fisiknya. Deposisi asam oleh karena itu dapat merusak ekosistem dan mengikis bahan.

Kategori EP ini mencakup semua dampak dari tingkat lingkungan yang tinggi dari makronutrien (fosfor dan nitrogen) yang memicu produksi biomassa tinggi di ekosistem akuatik dan darat. Contohnya, polutan udara, air limbah, dll. Nitrat dan fosfat penting untuk kehidupan, tetapi peningkatan konsentrasi mereka dalam air memicu eutrofikasi (over-nutrifikasi) yang dapat mendorong pertumbuhan alga berlebihan, mengurangi oksigen dalam air, dan merusak ekosistem. Sumbernya termasuk pupuk dan emisi nitrogen oksida (NO<sub>x</sub>) dari pembakaran bahan bakar fosil. Wałach et al., (2019) untuk menestimasi nilai dari parameter dampak lingkungan, digunakan persamaan:

$$E = \sum_{i=1}^n N_i \times w_i \quad (5)$$

Pekerjaan konstruksi yang diduga menghasilkan emisi gas rumah kaca terbesar adalah pekerjaan konstruksi jalan khususnya dengan metode campuran panas. Energi yang dibutuhkan pada pengolahan campuran aspal panas lebih besar karena mensyaratkan material yang digunakan harus bersuhu tinggi (>100°C). Energi tersebut terutama berasal dari pembakaran bahan bakar fosil. Gambar di bawah ini menerangkan secara umum kemungkinan emisi gas rumah kaca pada proses yang tercakup pada pekerjaan perkerasan jalan sebagai reaksi pembakaran sempurna senyawa hidrokarbon  $C_xH_y + O_2 = CO_2 + H_2O$ . Seperti diuraikan oleh Miller dan Bahia (2009), ada lima tahap penggunaan material perkerasan jalan yaitu ekstraksi, manufaktur, konstruksi, pemeliharaan dan perawatan, daur ulang. Kajian analisis estimasi konsumsi energi dan emisi gas rumah kaca (CO<sub>2</sub>) pada penelitian ini dibatasi pada kegiatan yang terkait langsung pada kegiatan konstruksi perkerasan jalan, yaitu tahap produksi campuran, transportasi (pengangkutan campuran), dan penghamparan (penghamparan dan pemadatan). Pada bidang konstruksi Beton

sebagai bahan konstruksi umum yang sering digunakan diketahui mengeluarkan sejumlah besar limbah berbahaya bagi lingkungan.

Inventarisasi parameter lingkungan ADP, GWP, AP, dan EP dilakukan dengan mengkaji literatur saintifik yang terpercaya. Tabel 5 memperlihatkan nilai-nilai ADP, GWP, AP, dan EP untuk material agregat kasar, agregat halus, abu batu, RHA, dan aspal yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari literatur.

**Tabel 5.** Data dampak lingkungan dari produksi HMA

Sources	Material	ADP	GWP	AP	EP
		(kgSbeq)	(kgCO <sub>2</sub> eq)	(kgSO <sub>2</sub> eq)	(kgPO <sub>4</sub> eq)
Chen et al.	RHA	2.00.E-03	4.29.E-03	1.60.E-04	4.00.E-05
Maggie Wildnauer et al.	Asphalt	6.38.E-01	6.38.E-01	6.38.E-01	6.38.E-01
Vijayalakshmi, Kumar, Leoandro et al.	Stone dust	4.88.E-03	4.88.E-03	4.88.E-03	4.88.E-03
Majhi et al., Kurda et al.	Coarse Agregat	1.09.E-09	2.44.E-02	1.44.E-04	3.18.E-05

### 1.16 Desain Konseptual

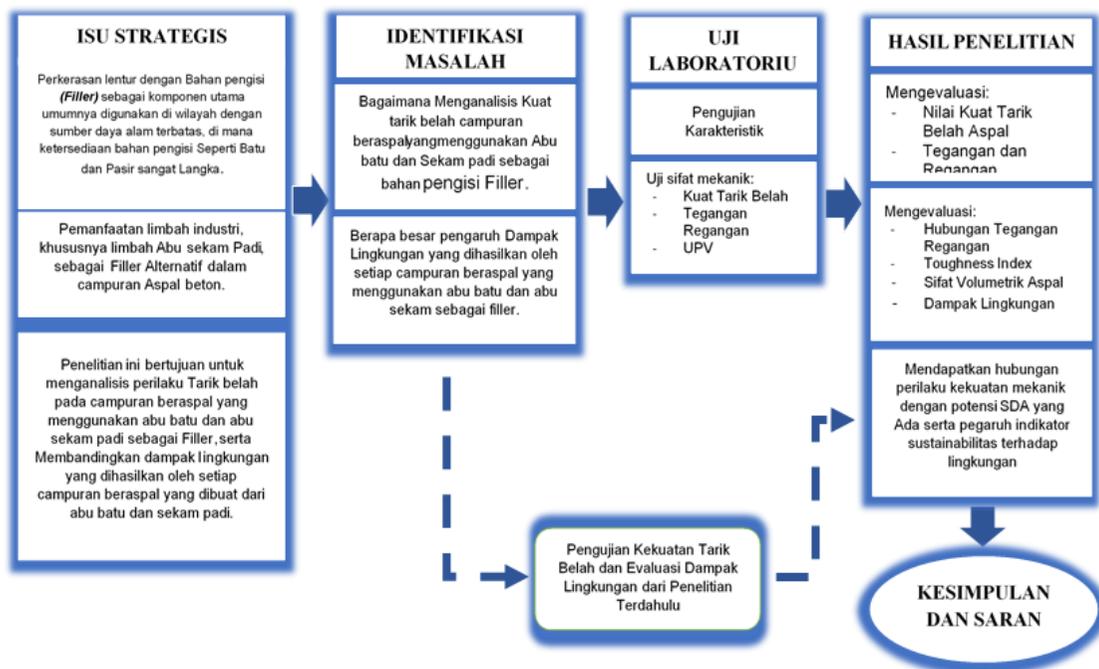
Konsep penelitian ini berfokus pada upaya meningkatkan kualitas dan keberlanjutan infrastruktur jalan di Indonesia melalui penggunaan bahan daur ulang dalam campuran perkerasan aspal, khususnya pada lapisan AC-BC (Asphalt Concrete Binder Course). Mengingat pentingnya jalan sebagai prasarana transportasi dalam memperlancar mobilitas barang dan orang, penelitian ini menyoroti tantangan dalam menyediakan bahan konstruksi yang ramah lingkungan dan tahan lama. Salah satu solusi yang diusulkan adalah penggunaan abu Sekam Padi sebagai filler pada campuran aspal, yang bertujuan untuk meningkatkan stabilitas campuran sekaligus mengurangi dampak negatif terhadap lingkungan.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kebutuhan akan inovasi dalam teknologi konstruksi jalan yang dapat memanfaatkan limbah industri seperti Abu sekam Padi, yang merupakan sisa pembakaran Kulit Padi. Abu sekam Padi memiliki potensi untuk digunakan sebagai bahan pengganti filler agregat alam, yang selama ini digunakan dalam campuran aspal. Penelitian sebelumnya telah menunjukkan bahwa Abu Sekam padi dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal, meskipun dampak lingkungan dari penggunaannya juga perlu

diperhatikan. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi perbandingan nilai Kuat Tarik Belah dan dampak lingkungan dari penggunaan abu batu dan Abu Sekam Padi dalam campuran AC-BC.

Salah satu masalah utama yang dihadapi dalam penggunaan Abu Sekam Padi dan abu batu adalah potensi dampaknya terhadap stabilitas jalan dan lingkungan. Penelitian ini akan mengukur Kinerja Mekanik campuran beraspal menggunakan Alat UTM untuk menentukan seberapa besar pengaruh kedua filler ini terhadap kekuatan dan daya tahan jalan. Selain itu, penelitian ini juga akan mengevaluasi dampak lingkungan, termasuk emisi CO<sub>2</sub> yang dihasilkan dari campuran aspal yang berbeda. Dengan membandingkan hasil ini, diharapkan dapat ditemukan solusi optimal yang tidak hanya meningkatkan kualitas jalan tetapi juga lebih ramah lingkungan.

Akhirnya, penelitian ini memiliki tujuan jangka panjang untuk memberikan kontribusi pada dunia konstruksi jalan raya di Indonesia dengan menyediakan data empiris mengenai manfaat penggunaan limbah industri sebagai bahan konstruksi. Jika penelitian ini berhasil menunjukkan hasil yang positif, maka penggunaan Abu Sekam Padi dan abu batu sebagai filler dalam campuran aspal dapat diterapkan secara lebih luas, membantu mengurangi ketergantungan pada bahan alam dan mengurangi emisi karbon dioksida, serta mendukung tujuan pembangunan berkelanjutan.



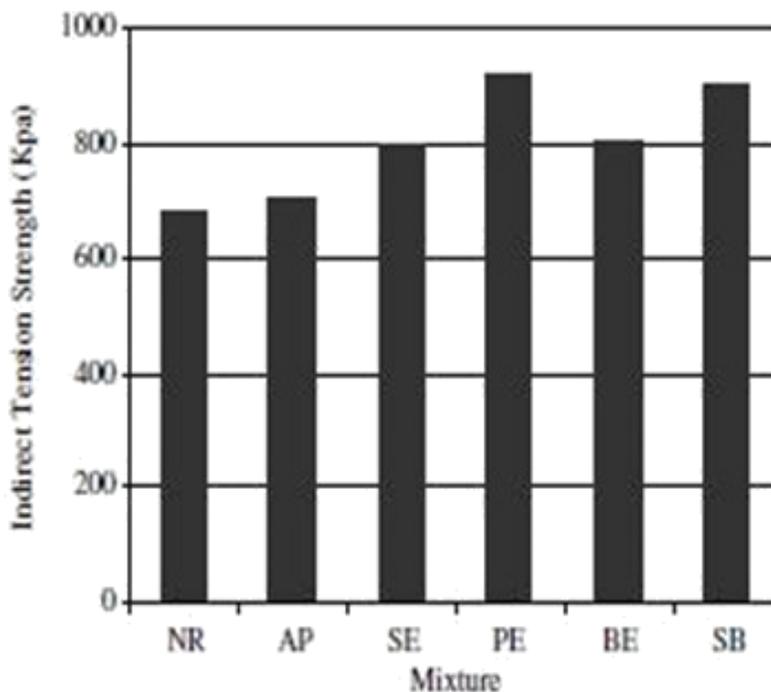
**Gambar 11.** Skema Rancangan Konseptual

## 1.17 Penelitian Terdahulu

**Tabel 6.** Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung

<b>Peneliti</b>	<b>Hasil penelitian</b>	<b>Haasil Campuran Asphalt</b>
Birgisson dkk., 2008	Tegangan, regangan	Superpave
Tayfur dkk., 2007	Tegangan, regangan	Aspal dimodifikasi
Ahmadzade dkk, 2008	Tegangan, regangan dan indeks ITS	AC dengan additive
Abu dkk., 1997	Tegangan, regangan, tensile modulus	AC
S. Du, 2013	Tegangan	Aspal emulsi
Katman dkk, 2012	Tegangan	Aspal yang dikeringkan (RAP)
P. Ahmedzade dan M. Yilmaz, 2008	Tegangan	Aspal modifier polyester resin
Jinhai Yan, 2010	Tegangan	Aspal Emulsi
Budiamin dkk., 2015	ITS, Marshall	Buton Granular asphalt (BGA) dan Flux Oil

Tayfur et al., (2007), mengatakan campuran aspal yang mampu mentolelir regangan yang lebih tinggi sebelum kegagalan cenderung lebih tahan terhadap retak daripada campuran aspal yang tidak dapat mentoleransi regangan tinggi. Uji kuat tarik tidak langsung merupakan pengujian yang digunakan dalam menentukan efek bahan aditif dalam campuran aspal yang dimodifikasi. Gambar. 12 menunjukkan kuat tarik belah campuran aspal dimodifikasi oleh Tayfur et al., (2007).



**Gambar 12.** Indirect tensile strength campuran yang dimodifikasi (Tayfur dkk, 2007).

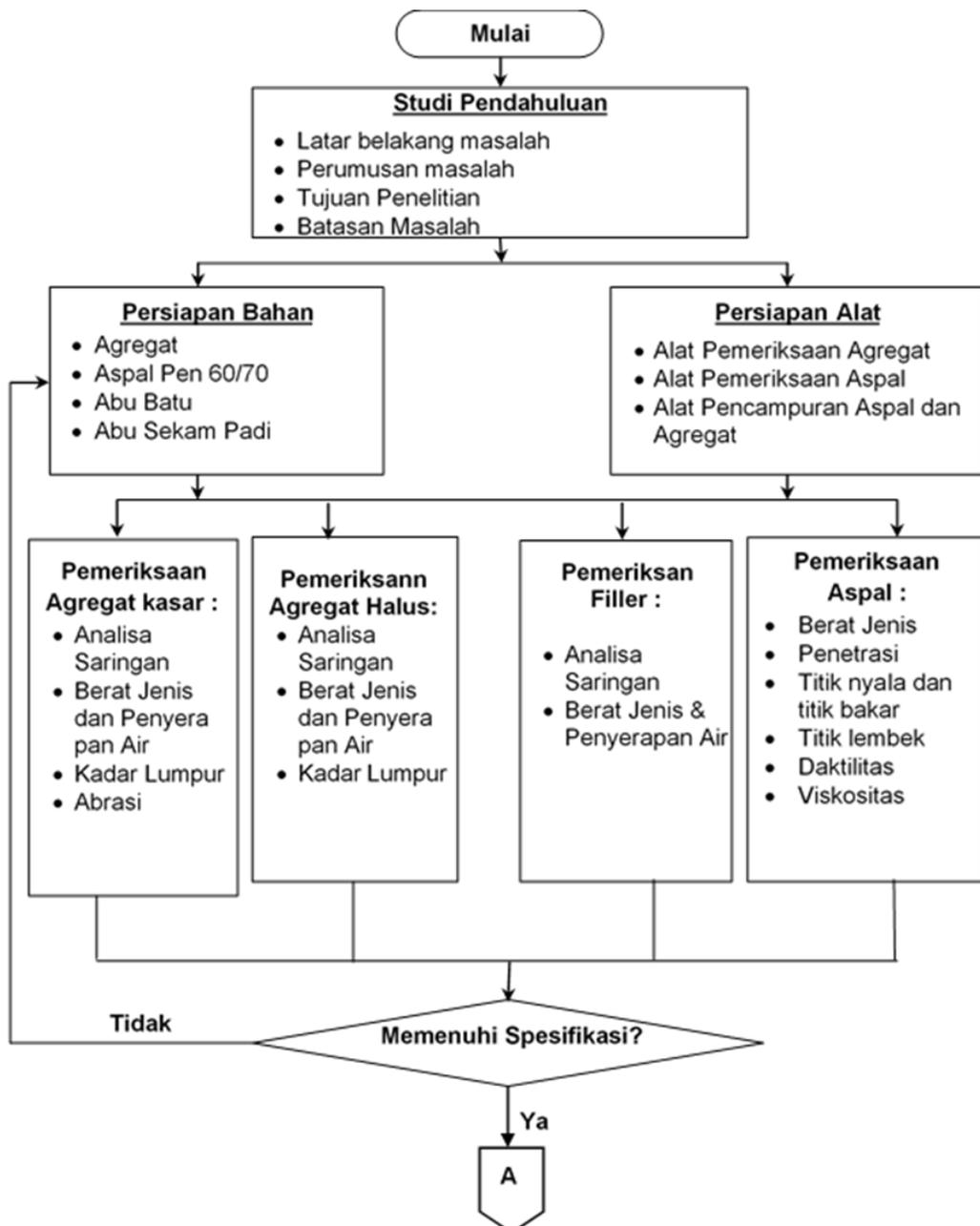
(Si *et al.*, 2016) mengatakan perilaku retak (cracking) pada campuran aspal dapat dijelaskan dengan uji kuat tarik tidak langsung campuran aspal yang dibandingkan dengan metode prediksi dengan menggunakan digital image correlation (DIC). Kuat tarik tidak langsung dapat dilakukan pada benda uji dalam bentuk lingkaran penuh dan setengah lingkaran.

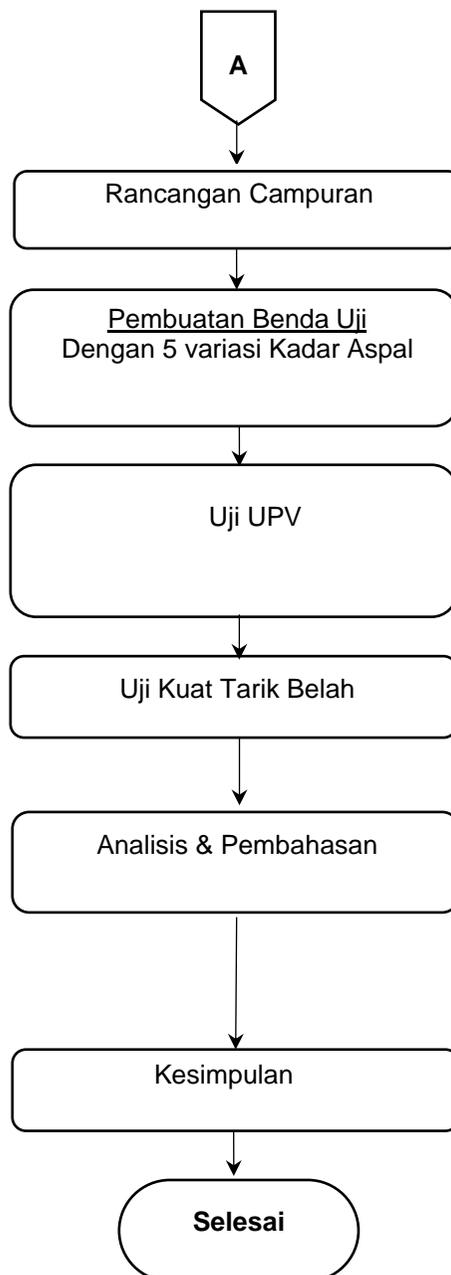
Showen Du, 2013 mengatakan bahwa nilai kuat tarik aspal semen mastik sangat sensitif terhadap kadar air dan memiliki hubungan dengan stabilitas pada pelaksanaan di lapangan setelah perkerasan aspal tersebut digunakan, sehingga kadar air optimum aspal emulsi dapat diprediksi dengan nilai ITS yang didapatkan.

## BAB.II METODOLOGI PENELITIAN

### 2.1 **Bagan alur penelitian**

Tahapan penelitian yang dilaksanakan dapat dilihat pada Gambar 13 diagram alir berikut:





**Gambar 13.** Diagram Alur Penelitian

## 2.2 Tempat & Waktu Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Struktur dan Bahan, Departemen Teknik Sipil, Universitas Hasanuddin Makassar. Penelitian ini mulai dilaksanakan pada bulan Februari 2024. Selama penelitian dilaboratorium, penulis selalu melakukan komunikasi baik dengan dosen pembimbing maupun teknisi dilaboratorium. Hal ini dimaksudkan untuk meminimalisir kesalahan yang mungkin terjadi pada saat penelitian dan khususnya pada saat pengolahan data hasil Pengujian.

## 2.3 Jenis Penelitian

Penelitian ini berupa studi eksperimental dengan melakukan beberapa pengujian di laboratorium, berupa pengujian kuat Tarik belah. Untuk mendapatkan data, maka digunakan dua metode pengumpulan data yaitu:

1. Studi Pustaka, untuk mendapatkan data sekunder dilakukan dengan membaca sejumlah jurnal-jurnal ataupun artikel ilmiah sebagai landasan teori dalam penelitian ini.
2. Pengujian sampel di laboratorium, untuk mendapatkan data primer yang kemudian digunakan untuk menganalisa hasil dari penelitian ini.

## 2.4 Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pada pemeriksaan ini penulis menggunakan metode persyaratan yang dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, yaitu Manual Pemeriksaan Bahan Jalan (*MPBJ*).

**Tabel 7.** Metode Pengujian Karakteristik

No	Pengujian	Metode Pengujian	
		Agregat Kasar	Agregat Halus
1	Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990	
2	Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	SNI 03-1969-2008	SNI 03-1970-2008
3	Lolos saringan 200	SNI ASTM C136:2012	
4	Keausan Agregat	SNI 2417-2008	
5	Indeks Kepipihan	SNI 03-4137-1996	
6	Berat Jenis Aspal	SNI 06-2441-1991	
7	Rancangan Campuran Aspal	Spesifikasi Umum 2018 Revisi 3	
8	Uji Marshall	SNI 06-2489-1991	

## 2.5 Penentuan Jumlah Benda Uji

Banyaknya benda uji yang dibuat untuk kebutuhan penelitian ini, dapat dilihat pada Tabel 8.

**Tabel 8.** Perhitungan Benda Uji

Uraian kegiatan pengujian			Jumlah
Penentuan Kadar Aspal Optimum (Filler: Abu Batu)		Jumlah Benda Uji	
Variasi Kadar Aspal (%)	AC-BC		AC-BC
5	3	3	
5,5	3	3	
6	3	3	
6,5	3	3	
7	3	3	
Penentuan Kadar Aspal Optimum (Filler: Abu Sekam Padi)			Jumlah
Variasi Kadar Aspal (%)	AC-BC	AC-BC	
5	3	3	
5,5	3	3	
6	3	3	
6,5	3	3	
7	3	3	

## 2.6 Perhitungan Perkiraan Bitumen

Rumus umum untuk menghitung perkiraan awal kadar aspal optimum (Pb) pada campuran adalah:

$$Pb = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%F) + \text{Konstanta.} \quad (6)$$

Dimana:

Pb = Perkiraan bitumen (kadar aspal)

CA = Gradasi penggabungan saringan no 1 dikurang saringan no 4

FA = Gradasi penggabungan saringan no 4 dikurang saringan no 200

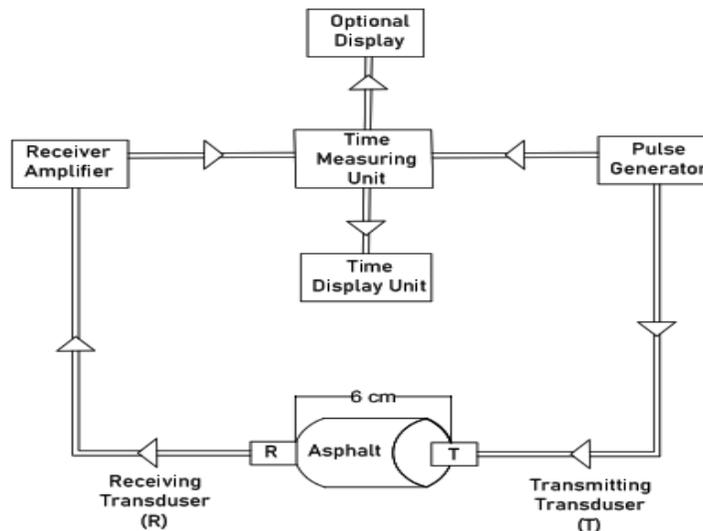
F = Agregat halus yang lolos saringan No. 200  
 K = Nilai konstanta 0,5 - 1,0

## 2.7 Pengujian UPV

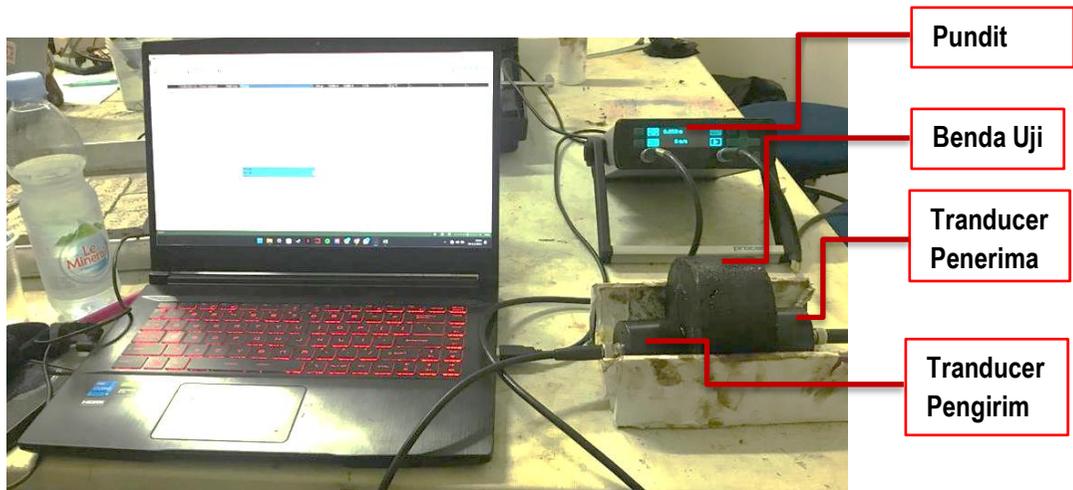
Salah satu peralatan pengujian yang dapat memungkinkan menggunakan metode NDT adalah pengujian menggunakan gelombang ultrasonik. Ultrasonik Pulse Velocity atau biasa disingkat UPV adalah pengujian NDT campuran aspal dengan menggunakan kecepatan gelombang ultrasonik untuk meneliti sifat campuran aspal (Arabani, Khe Iry and Ferdowsi, 2012).

Dengan pengujian UPV, campuran aspal yang pematatannya kurang baik akan terdeteksi. Hal tersebut dapat dilihat ketika gelombang UPV mengalami penurunan kecepatan. Pada pengujian UPV, stabilitas aspal dapat ditunjukkan dengan perubahan kecepatan gelombangnya (Jiang, Ponniah and Cascante, 2006). Apabila kecepatan gelombang mengalami penurunan, maka aspal tersebut juga mengalami penurunan stabilitasnya. Sebaliknya, jika gelombang mengalami kenaikan kecepatan, maka stabilitas aspal meningkat.

Pengujian UPV dapat dilakukan dengan 3 cara, yaitu langsung (direct), tidak langsung (indirect), dan semi langsung (semi direct). Berikut ini adalah contoh gambar pelaksanaan pengujian UPV.



**Gambar 14.** Ilustrasi Pengujian UPV



**Gambar 15.** Pengujian UPV

Pengukuran nilai EFR dicoba setelah laju pulsa ditetapkan. Persamaan (2) digunakan untuk menghitung impedansi SD dan FA, yang diberikan dalam satuan N.s/m<sup>3</sup>. Impedansi mekanis per satuan luas material, atau EFR adalah impedansi, yang dihitung sebagai hasil kali densitas dan UPV (Biligiri and Kaloush, 2009a). Penting untuk menyadari bahwa EFR mengukur impedansi tipikal material dan bukan impedansi akustik spesifiknya. EFR juga dapat dikonversi menjadi cgs Rayls dengan mengalikan hasil Persamaan 1 sebesar 0,10.

$$Z = \rho \times v \quad (7)$$

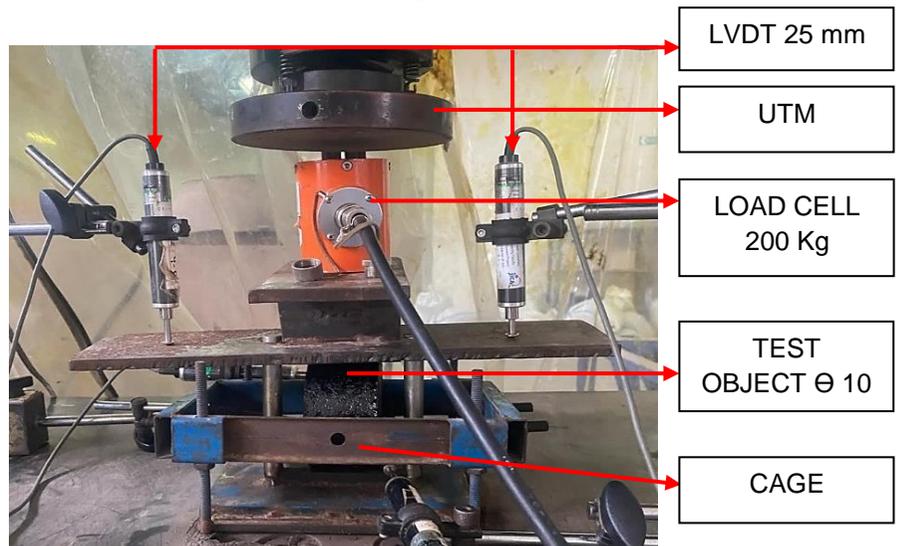
Dimana Z adalah impedance dalam satuan (N.s/m<sup>3</sup>),  $\rho$  adalah nilai kepadatan material dalam satuan (kg/m<sup>3</sup>), v adalah kecepatan gelombang yang melalui material dalam satuan (m/s).

## 2.8 Uji Tarik Tidak Langsung (ITS)

ITS (*Indirect Tensile Strength*) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai gaya tarik dari campuran aspal. Pengujian ini bertujuan untuk mengetahui indikasi akan terjadinya retak di lapangan. Pada uji ITS, sampel akan diberikan beban diantara dua batang pembebanan yang akan menciptakan tegangan Tarik. Gambar 16 berikut menunjukkan Alat Pengujian Universal Testing Machine (UTM) berkapasitas 1000 kN lengkap dengan Data Logger dan satu set Komputer, kemudian Gambar 17 adalah sketsa proses pengujian kuat tekan dengan menggunakan alat Universal Testing Machine dan LVDT yang dihubungkan ke Data Logger untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi. (AASSTM D6931-12).



**Gambar 16.** Universal Testing Macine (UTM)



**Gambar 17.** Pengujian Kuat Tarik Belah Aspal

## 2.9 Environment Performance dari Campuran Aspal Panas

Sebuah analisis efek insertasi Abu Sekam Padi (RHA) pada konsumsi energi yang dibutuhkan untuk membuat campuran aspal sebagai filler serta global warming potential (GWP), abiotic depletion potential (ADP), acidification potensial (AP), dan eutrophication potensial (EP) dilakukan. Untuk memprediksi kriteria penerimaan RHA sebagai filler, nilai parameter dampak lingkungan kemudian dibandingkan dengan komposisi campuran pada HMA. Selanjutnya faktor-faktor dampak lingkungan dari setiap raw material

dikalikan dengan jumlahnya pembentuk CB untuk mempelajari dampak lingkungan dengan functional 1 m<sup>3</sup> (campuran CB). Dalam bagian ini ditentukan GWP<sub>mix</sub>, ADP<sub>mix</sub>, ODP<sub>mix</sub>, POCP<sub>mix</sub>, AP<sub>mix</sub>, dan EP<sub>mix</sub>.

Dimana:

GWP<sub>mix</sub> = GWP diperoleh dari proporsi campuran ( $F_u 1m^3$ ) dengan satuan (kgCO<sub>2</sub>)

ADP<sub>mix</sub> = ADP diperoleh dari proporsi campuran ( $F_u 1m^3$ ) dengan satuan (kgSb)

AP<sub>mix</sub> = AP diperoleh dari proporsi campuran ( $F_u 1m^3$ ) dengan satuan (kgSO<sub>2</sub>)

EP<sub>mix</sub> = EP diperoleh dari proporsi campuran ( $F_u 1m^3$ ) dengan satuan (kgPO<sub>4</sub>)