

TESIS

**PENGARUH PENUAAN CAMPURAN AC-BC TERHADAP
KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG DAN KANDUNGAN
SENYAWA KARBON (CH)**

**AGING EFFECT OF AC-BC ON
INDIRECT TENSILE STRENGTH AND CARBON
COMPOUND CONTENT (CH)**

MISWAR TUMPU

D012 17 1 010



**SEKOLAH PASCASARJANA
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2019



Optimization Software:
www.balesio.com

TESIS

PENGARUH PENUAAN CAMPURAN AC-BC
TERHADAP KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG DAN
KANDUNGAN SENYAWA KARBON (CH)

Disusun dan diajukan oleh

MISWAR TUMPU

Nomor Pokok D012171010

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis

Pada tanggal 22 Januari 2019

dan dinyatakan telah memenuhi syarat

Menyetujui
Komisi Penasehat


Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng

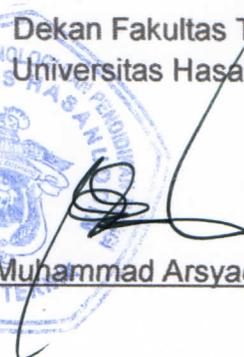
Ketua

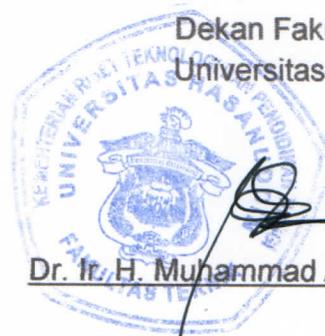

Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT

Sekretaris


Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil


Dr. Eng. Ir. H. Farouk Maricar, MT


Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT



KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Pengaruh Penuaan Campuran AC-BC Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung dan Kandungan Senyawa Karbon (CH)”** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

Kami menyampaikan penghargaan yang sangat tinggi dan amat mendalam kepada bapak **Prof. Dr. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**, atas bimbingan, arahan dan petunjuknya sehingga penelitian dan penyusunan tesis ini dapat kami laksanakan dengan baik. Ucapan dan penghargaan yang sama kami sampaikan kepada **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT**. Selaku sekretaris komisi penasehat yang banyak memberikan waktu, arahan dan bimbingannya kepada kami. Kepada bapak kami mengucapkan terima kasih dan penghormatan yang setinggi-tingginya atas bimbingan yang begitu tulus dan ikhlas.

Selain itu, kami mengucapkan banyak terima kasih kepada dosen tim penguji atas bimbingan, arahan dan petunjuknya yaitu bapak **Dr. Ir. H. Mubassirang Pasra, MT; Dr. Eng. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT** dan **Dr. Eng. A. Arwin Amiruddin, ST., MT**.

penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas
ddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr.**
luddin Jompa, **M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas



Hasanuddin), bapak **Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT.** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), bapak **Dr. Eng. Ir. H. Muh. Farouk Maricar, MT.** (Ketua Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terima kasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah SWT. Tuhan Yang Maha Kuasa dapat membalasnya.

Makassar, Januari 2019

Miswar Tumpu



ABSTRAK

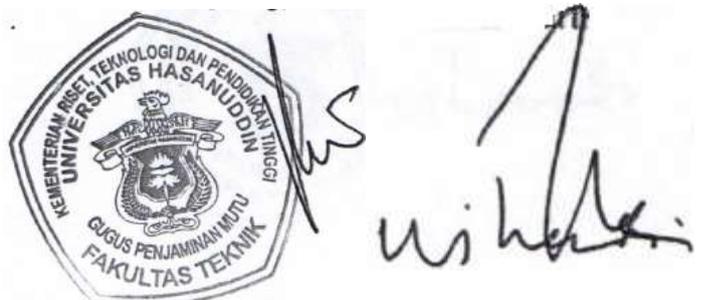
MISWAR TUMPU. Pengaruh Penuaan Campuran AC-BC Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung dan Kandungan Senyawa Karbon (CH) (dibimbing oleh **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **Abd. Rachman Djamaluddin**).

Penuaan aspal yang paling besar terjadi justru pada saat sebelum masa pelayanan, yaitu pada saat proses pencampuran sampai dengan aplikasi di lapangan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis ketahanan campuran AC-BC, menganalisis senyawa dominan dengan penggunaan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dan menganalisis hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan komposisi senyawa kimia pada benda uji campuran AC-BC dengan menggunakan metode akselerasi penuaan.

Salah satu metode untuk memprediksi akselerasi penuaan dapat dilakukan di laboratorium dengan menggunakan panas oven. Pengujian kuat tarik tidak langsung dan komposisi senyawa kimia dengan menggunakan metode XRD digunakan untuk mengevaluasi campuran AC-BC yang mengalami proses akselerasi penuaan.

Parameter penelitian adalah variasi waktu penuaan secara laboratorium pada pemanasan oven dengan suhu 85°C selama 0, 2 dan 4 hari. Diperoleh kadar aspal optimum pada 5,80% dengan menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung yang didapatkan adalah sebesar 0,189 MPa, 0,305 MPa dan 0,395 MPa untuk masing-masing variasi proses penuaan. Selain itu, terlihat bahwa senyawa Carbon (C) yang merupakan senyawa utama pembentuk aspal mengalami peningkatan tingkat intensitas dari sekitar 100 (a.u) menjadi 1500 (a.u) dan jumlahnya bertambah dari 3,35% menjadi 13,71%. Oleh karena itu, hubungan antara nilai kuat tarik tidak langsung dengan komposisi senyawa kimia berbanding lurus yang ditandai dengan peningkatan nilai kuat tarik tidak langsung yang diiringi dengan peningkatan intensitas senyawa Carbon (C). Semakin bertambahnya tingkat intensitas dapat dihubungkan dengan elemen C yang semakin keras demikian juga dengan bertambahnya jumlah elemen. Fenomena ini (bertambahnya intensitas dan jumlah persentase C) dari hasil uji XRD memberikan korelasi pada meningkatnya nilai regangan tarik (semakin getas) akibat pemanasan buatan dari 2 hari (usia sekitar 5 tahun) dan 4 hari (usia sekitar 15 tahun).

Kata kunci : Akselerasi penuaan, AC-BC, Asbuton modifikasi, Kuat tarik tidak langsung, XRD



ABSTRACT

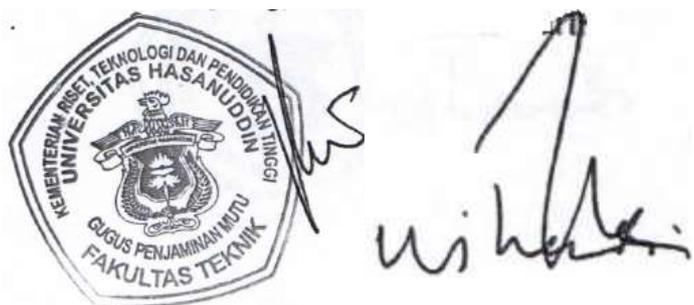
MISWAR TUMPU. Aging Effect of AC-BC on Indirect Tensile Strength and Carbon Compound Content (CH) (supervised by **H. M. Wihardi Tjaronge** and **Abd. Rachman Djamaluddin**).

The Asphalt aging generally take place before the service period, during the mixing process up to the application in the field. The aims of study were to analyze the resistance of AC-BC mixture using acceleration aging method, to analyze dominant compound of the AC-BC mixture with the use of modified Asbuton as a binder and to determine the relationship of indirect tensile strength to the composition of chemical compounds on AC-BC mixture.

One of the methods for predicting aging acceleration can be done in the laboratory using oven heat. The indirect tensile strength testing and chemical composition using the XRD method were used to evaluate AC-BC mixtures under aging acceleration process.

Study parameter were time variations in aging acceleration in conducted at temperature of 85°C for 0, 2 and 4 days. Optimum asphalt content was obtained at 5.80% using modified Asbuton as a binder. The results showed that the indirect tensile strength were 0.189 MPa, 0.305 MPa and 0.395 MPa for each variation time in the aging acceleration. In addition, it can be seen that the Carbon (C) which is the main compound forming asphalt had increased the level of intensity from around 100 (a.u) to 1500 (a.u) and the number increases from 3.35% to 13.71%. Therefore, the relationship between the indirect tensile strength and the composition of chemical compounds is directly proportional to the increase in the indirect tensile strength and also increase the intensity of Carbon (C) compounds. The increasing level of intensity can be related to element C which is getting harder as well as increasing the number of elements. This phenomenon (increase in intensity and number of C) from the XRD test results in a correlation with the increase in tensile strain (increasingly brittle) due to artificial heating of 2 days (around 5 years) and 4 days (around 15 years).

Keywords : Aging acceleration, AC-BC, Modified Asbuton, Stability, Indirect Tensile Strength, XRD



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	5
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	7
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Penuaan Pada Campuran Beraspal	10
B. Aspal Alam Buton	15
C. Konsep Campuran Aspal Buton Modifikasi dan Respon Perkerasan Akibat Pembebanan	22
D. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-BC	26
E. Difraksi Sinar-X	33



F. Kerangka Pikir Penelitian.....	37
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	39
B. Rancangan Uji	42
C. Pengujian Karakteristik Campuran AC-BC.....	46
D. Perlakuan Benda Uji	52
E. Jumlah Benda Uji.....	54
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Karakteristik Material	56
B. Penentuan Gradasi Campuran.....	64
C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-BC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan.	65
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dengan Metode Marshall	67
E. Karakteristik Marshall Campuran AC-BC Pada Kadar Aspal Optimum	77
F. Hasil Pengujian Volumetrik Campuran Akibat Proses Akselerasi Penuaan Secara Laboratorium	79
G. Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Waktu Akselerasi Penuaan	81
H. Hasil Pengujian Senyawa Kimia Campuran AC-BC Akibat Proses Akselerasi Penuaan Dengan Metode XRD...	96



I. Hubungan Antara Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung dan XRD Campuran AC-BC Akibat Akselerasi Penuaan	99
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	103
B. Saran	104
DAFTAR PUSTAKA	105



DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Perkiraan Deposit Asbuton	17
2.	Tipikal Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	18
3.	Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	18
4.	Sifat-Sifat Kimia Bitumen Asbuton.....	20
5.	Komposisi Kimia Mineral Asbuton	20
6.	Jenis Pengujian Dan Persyaratan Asbuton Butir	21
7.	Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung	27
8.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	43
9.	Standar-Standar Pengujian Karakteristik Semen	44
10.	Metode Pengujian Karakteristik Asbuton Modifikasi	45
11.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO	54
12.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian ITS Pada Kondisi KAO Penuaan Jangka Panjang	55
13.	Karakteristik Sifat Fisik Agregat Kasar	57
14.	Karakteristik Fisik Abu Batu	57
15.	Karakteristik Fisik Pasir	58
16.	Karakteristik Fisik Filler (Semen PCC)	58
17.	Karakteristik Fisik Asbuton Modifikasi	59
	Karakteristik Kimia Filler Abu Batu (Hasil Uji XRF)	60
	Karakteristik Kimia Filler Semen (Hasil Uji XRF)	61



20.	Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi (Hasil Uji XRF)	62
21.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 gram	67
22.	Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter	68
23.	Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Aspal Panas Menggunakan Asbuton Modifikasi.....	77
24.	Parameter Marshall Pada Kadar Aspal Optimum 5,80%	78
25.	Nilai Volumetrik Campuran Akibat Proses Penuaan.....	80
26.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS)	88
27.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung dan XRD Akibat Proses Akselerasi Penuaan	88



DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Penuaan Bitumen Selama Pencampuran, Penyimpanan, Pengangkutan Dan Pemasangan Serta Akhir Masa Layanan ..	10
2.	Lokasi Deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara ..	16
3.	Kinerja Perkerasan Lentur	22
4.	Sistem Perkerasan Dua Lapis	24
5.	Distribusi Tegangan dan Tekanan.....	24
6.	Penjabaran Tegangan-Tegangan.....	25
7.	<i>Indirect Tensile Strength</i> Campuran Yang Dimodifikasi.....	28
8.	Diagram Pembebanan Uji ITS.....	30
9.	Hubungan Regangan Akibat Beban Tarik dan Tegangan Tarik	31
10.	Ilustrasi Asal Hukum Bragg	34
11.	Perbedaan Perjalanan Gelombang Ketika Merambat Dari A'O'B' Dengan Perjalanan Gelombang Jika Merambat AOB.....	35
12.	Hubungan Antara Garis Jarak, d dan θ	35
13.	Ilustrasi Perbedaan Keteraturan Susunan Atom Untuk Partikel Padatan Kristalin, Polikristalin Dan Amorf	36
14.	Kerangka Pikir Penelitian	38
15.	Diagram Alir Penelitian	41
	Metode Pengujian Marshall.....	48
	Posisi Benda Uji Pengujian ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	49



18.	Benda Uji LTOA	50
19.	Difraktogram Polimer Kristalin	51
20.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Asbuton Modifikasi (Hasil Uji XRD)	63
21.	Gradasi Agregat Gabungan.....	65
22.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Stabilitas	69
23.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Flow	71
24.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Marshall Quetiont.....	72
25.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VIM	73
26.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VMA	75
27.	Hubungan kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VFB.....	76
28.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan dan Diukur Volumetrik (0.a)	82
29.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan dan Tidak Diukur Volumetrik (0.b)	83



30.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan Selama 2 Hari dan Diukur Volumetrik (2.a)	84
31.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan Selama 2 Hari dan Tidak Diukur Volumetrik (2.b)	85
32.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan Selama 4 Hari dan Diukur Volumetrik (4.a)	86
33.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Akselerasi Penuaan Selama 4 Hari dan Tidak Diukur Volumetrik (4.b)	87
34.	Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Seluruh Benda Uji	90
35.	Hubungan Sudut Phase dan Intensitas Pada Variasi Proses Akselerasi Penuaan Benda Uji	97
36.	Hubungan Antara Lama Proses Penuaan Secara Laboratorium Dengan Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung	100
37.	Hubungan Antara Lama Proses Penuaan Secara Laboratorium Dengan Jumlah Persentase Elemen C	101
38.	Hubungan Antara Jumlah Persentase Elemen C Dengan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung	102



DAFTAR NOTASI

°C	= Derajat celcius
%	= Persen
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
Pen	= Penetrasi
AC	= Asphalt Concrete
AC WC	= Asphalt Concrete Wearing Course
BGA	= Buton Granular Asphalt
XRF	= X-ray Flourence Spectrofotometer
MQ	= Marshall Quotient
VIM	= Void in Mix
VMA	= Void Mineral in Agregat
ASTM	= American Society for Testing Materials
AASHTO	= American Association of State Highway and Transportation Officials
SNI	= Standar Nasional Indonesia
SEM	= Scanning Electron Microscope
KAO	= Kadar Aspal Optimum
PA	= Kadar Aspal Efektif Perkiraan Terhadap Berat Agregat
AK	= Persentase Agregat Kasar Tertahan Saringan No. 8
AH	= Persentase Agregat Halus Lolos Saringan No. 8 Tertahan No. 200
F	= Persentase Agregat Lolos Saringan No. 200
AR	= Kadar Residu Dalam Campuran (%)
BA	= Berat Jenis Aspal
CS	= Berat Jenis Semu
	= Berat Dalam Air (gr)
	= Berat di Udara (gr)
	= Berat SSD (gr)



G	= BJ Bulk–Berat Benda Uji (gr)
H	= Berat BendaUji (gr)
L	= Berat BendaUji Setelah Oven (gr)
KA	= Kadar Air (%)
S	= Stabilitas (kg)
F	= Nilai Flow (mm)
ITS	= Indirect Tensile Strength/Kuat Tarik Tidak Langsung
P	= Beban (N)
Pmax	= Beban Maksimum (N)
H	= Tinggi/Tebal BendaUji (mm)
D	= Diameter Benda Uji (mm)
KTB	= Kuat Tarik Belah (N/mm ²)
ITSscond	= Nilai ITS Terkondisikan Atau Basah
ITSdry	= Nilai ITS Kering
n	= Bilangan Bulat Positif
λ	= Panjang Gelombang Dari X-Ray Tergantung Bahan Yang Digunakan
d	= Jarak Antara Bidang Kisi
θ	= Besar Sudut Dari Arah Radiasi Sinar-X
Xc	= Derajat Kristalinitas



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Kebutuhan aspal minyak di Indonesia sekitar 1,2 juta ton pertahun untuk membangun jalan baru sedangkan kemampuan produksi aspal (aspal minyak) dalam negeri hanya sekitar 600 ribu ton per tahun, selebihnya harus diimpor dari luar negeri. Salah satu alternatif untuk mengurangi akan kebutuhan aspal minyak adalah dengan menggunakan Aspal Buton Indonesia (Asbuton-Indonesia) yang merupakan aspal alam Indonesia. Deposit Asbuton Indonesia sangatlah melimpah, diperkirakan setara dengan 24 juta aspal minyak (Suryana, 2003; Tjaronge, 2012). Asbuton diharapkan dapat menggantikan peran aspal minyak secara parsial ataupun seluruhnya (Affandi, 2010). Sejumlah penelitian mengenai bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton menunjukkan bahwa bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton memiliki kesesuaian sifat fisik dengan aspal minyak. (Affandi, 2010; Zamhari dkk., 2013).

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), *asphalt concrete binder course* (AC-BC), dan *asphalt concrete base* (AC-
campuran aspal AC-BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi lebih kasar dari AC-WC tetapi lebih halus daripada AC-base. Laston



biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi tinggi 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 (Widodo dkk., 2012).

Penuaan aspal yang paling besar terjadi justru pada saat sebelum masa pelayanan, yaitu pada saat proses pencampuran sampai dengan aplikasi di lapangan. Selanjutnya proses penuaan akan berlangsung selama masa layanan dari konstruksi jalan tersebut. Penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, *short-term ageing*) dan oksidasi yang progresif (penuaan jangka panjang, *long-term ageing*) (Yamin dan Aschuri, 2008).

Penuaan laboratorium merupakan salah satu metode yang dilakukan

mendapatkan hasil tes penuaan dalam waktu yang singkat
gkan kondisi lapangan. Kliewer *et al* (1995) telah meneliti



hubungan antara kinerja campuran beton aspal dilapangan dan sifat-sifat pelapukan campuran beton aspal yang dilakukan di laboratorium. Prosedur pelapukan campuran beton aspal di laboratorium untuk mewakili pelapukan jangka pendek atau saat pelaksanaan dilakukan dengan cara memanaskan campuran aspal dalam kondisi *loose* di dalam oven selama 4 jam pada temperatur 135°C sebelum dipadatkan.

Beban kendaraan yang melintas akan menimbulkan tegangan tarik pada bagian bawah hingga pertengahan pada lapis suatu jalan. Campuran aspal akan mengalami pengerasan atau penuaan akibat terpapar cuaca. Penuaan akan mempengaruhi kemampuan campuran aspal memikul beban kendaraan. Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya atau in-situ, beban diterapkan tiga dimensi. Sejumlah pengujian yang telah disederhanakan untuk dapat menguji sejumlah aspek-aspek tertentu dari perilaku in-situ. Pengujian tersebut dibagi menjadi tiga kelompok. Kelompok pengujian pertama adalah pengujian dasar uji beban berulang triaksial (*repeated load triaxial test*), uji tekan statik untuk rangkai (*unconfined static uniaxial creep compression test*), uji beban tarik berulang (*repeated load indirect tensile test*), uji dinamik kekakuan dan kelelahan (*dynamic stiffness and fatigue tests*). Kelompok pengujian

adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*) : Uji Rodaan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga



adalah pengujian empiris dengan uji Marshall (*marshall tests*), (*Shell Bitumen Handbook*, 2015).

Selain dari pengujian empirik yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat semikuantitatif dari benda uji. Pengujian yang dimaksud adalah pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*). Pengujian XRD dilakukan untuk mengidentifikasi unsur/senyawa/fasa dan struktur kristal yang terbentuk secara kualitatif. Pada dasarnya, atom yang tersusun membentuk struktur kristal dan struktur mikro/fasa dapat dianalisis melalui teknik eksperimental yang berbasis difraksi. Pada eksperimen difraksi, gelombang yang ditembakkan akan membentur pada material dan ditangkap oleh detektor. Detektor mengidentifikasi arah dan intensitas gelombang yang terdifraksi/terpancar keluar dari material. Interferensi gelombang terjadi pada gelombang yang diemisikan atom yang berbeda jenis dan posisinya. Geometri yang direpresentasikan melalui arah gelombang membentuk pola difraksi yang dapat digunakan untuk menentukan sel satuan pada struktur kristal dan senyawa (Fultz, 2013; Cullity, 1956).

Berdasarkan penelitian-penelitian terdahulu yang telah dikemukakan, maka penelitian ini mencoba mengkaji sebuah tesis dengan judul **“Pengaruh Penuaan Campuran AC-BC Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung dan Kandungan Senyawa Karbon (CH)”**.



B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana ketahanan campuran AC-BC dengan penggunaan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dengan menggunakan metode akselerasi penuaan ?.
2. Bagaimana senyawa dominan yang terjadi pada benda uji campuran AC-BC dengan menggunakan metode akselerasi penuaan ?.
3. Bagaimana hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan komposisi senyawa kimia pada benda uji campuran AC-BC yang mengalami proses akselerasi penuaan ?.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis ketahanan campuran AC-BC dengan penggunaan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dengan menggunakan metode akselerasi penuaan.
2. Menganalisis senyawa dominan yang terjadi pada benda uji campuran AC-BC dengan menggunakan metode akselerasi penuaan.
3. Menganalisis hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan komposisi senyawa kimia pada benda uji campuran AC-BC yang mengalami proses akselerasi penuaan.



D. Batasan Masalah

Permasalahan penuaan dan hasil pengujian difraksi sinar-X pada lapisan AC-BC 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. Benda uji yang digunakan adalah benda uji hasil pembuatan Marshall harian pada proyek **Rekonstruksi/Peningkatan Jalan Ruas Sorong-Makbon**, dimana bahan pengikat yang digunakan berupa Asbuton modifikasi dengan tipe Retona Blend 55.
3. Benda uji jenis campuran AC-BC yang digunakan, dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dalam kondisi normal, penuaan jangka panjang (*Long Term Oven Aging*, LTOA) secara laboratorium yang dipanasi pada suhu 85°C selama 2 hari dan 4 hari.
4. Pengujian yang dilakukan berupa uji kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile Strength*, ITS) yang digunakan untuk mengevaluasi kinerja campuran akibat proses penuaan secara laboratorium.
5. Analisis semikuantitatif digunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*), berupa pola difraksi sinar-X dan komposisi senyawa yang terbentuk akibat proses penuaan secara laboratorium.



E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah menghasilkan suatu inovasi pada teknologi campuran AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*) yang memanfaatkan sumber daya alam nasional berupa Asbuton (Aspal Alam Buton), secara berkelanjutan. Selain itu, dapat memprediksi perubahan nilai kuat tarik tidak langsung dan pola difraksi sinar-X yang disebabkan oleh proses penuaan yang terjadi pada campuran beraspal, khususnya campuran AC-BC.

F. Sistematika Penulisan

Agar lebih terarah tulisan ini, sistematika penulisan tesis yang akan dilakukan sesuai tahapan-tahapan yang dipersyaratkan sehingga produk yang dihasilkan lebih sistematis sehingga susunan tesis ini dapat diurutkan yaitu :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang pentingnya masalah ini diangkat sebagai sebuah penelitian S2. Pokok-Pokok bahasan dalam BAB ini adalah latar belakang masalah, rumusan masalah, batasan masalah, maksud dan tujuan dari penelitian ini, manfaat dari penelitian ini, dan sistematika penulisan.

TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang teori aspal Buton, persyaratan Asbuton menurut puslitbang dan potensi-potensi



Asbuton yang ada, teori aspal (bitumen), penelitian terdahulu mengenai bitumen hasil ekstraksi maupun hasil semi ekstraksi aspal alam Buton, informasi tentang campuran beraspal panas dan respon perkerasan akibat pembebanan serta informasi mengenai penelitian-penelitian terdahulu yang terkait penuaan dan kuat tarik tidak langsung.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, pengujian karakteristik yang dilakukan pada agregat dan aspal Buton modifikasi, bagan alir penelitian, pembuatan benda uji dan rencana jumlah benda uji, pengujian-pengujian yang dilakukan pada hasil campuran aspal panas berupa kuat tarik belah (*indirect tensile strength*) serta waktu penuaan yang diberikan terhadap variasi benda uji. Prosedur penuaan secara laboratorium.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Dalam bab ini, disusun hasil-hasil pengujian diantaranya adalah hasil pemeriksaan karakteristik agregat, karakteristik aspal Buton modifikasi, proporsi campuran aspal, validasi penelitian ini adalah pengujian kuat tarik belah (*indirect tensile strength*). Selain itu, akan dijelaskan prediksi penurunan nilai kuat tarik tidak langsung akibat proses penuaan yang terjadi.



BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

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



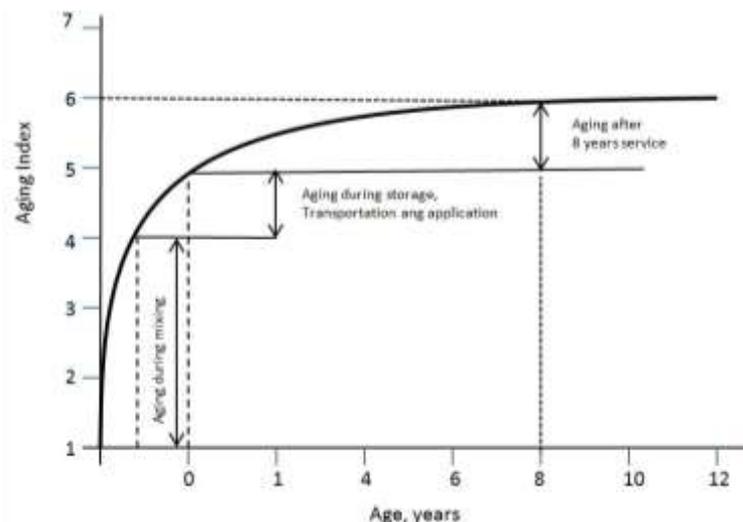
BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Penuaan Pada Campuran Beraspal

Kerusakan konstruksi jalan raya antara lain diakibatkan oleh menurunnya daya dukung jalan antara lain karena terjadinya proses penuaan campuran beton aspal. Penuaan diakibatkan oleh proses pemanasan baik saat pencampuran di *Asphalt Mixing Plant (AMP)*, pengangkutan, pemadatan dan selama masa layanan konstruksi jalan tersebut.

Pada campuran beraspal, penuaan dinyatakan dengan fenomena pengerasan (*hardening*). Dua pengertian lain yang sering digunakan, yaitu; umur pengerasan (*age hardening*) dan pelapukan (*embrittlement*) (Elvik & Greibe, 2005).



1. Penuaan bitumen selama pencampuran, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan serta akhir masa layanan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)

Gambar 1 memperlihatkan penuaan bitumen selama pencampuran, penyimpanan, pengangkutan dan pemasangan serta akhir masa layanan. Penyebab penuaan campuran beton aspal adalah karena menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan sehingga aspal menjadi getas dan kehilangan daya rekatnya. Pengaruh fleksibilitas dan pelekatan aspal ini menyebabkan jalan mudah rusak saat menerima beban lalu lintas berat. (Widodo dkk., 2012).

Penuaan aspal disebabkan oleh dua faktor utama, yaitu penguapan fraksi minyak ringan yang terkandung dalam aspal dan oksidasi (penuaan jangka pendek, *short-term aging*), dan oksidasi progresif (penuaan jangka panjang, *long-term aging*). Penuaan ini menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran tersebut (Yamin dan Aschuri, 2008).

Penuaan aspal merupakan perubahan tingkat kekerasan (*hardening*) dan kerapuhan aspal (*brittleness*) akibat penanganan, proses produksi campuran beraspal dan masa pelayanan campuran beraspal tersebut di lapangan. Penuaan ini menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal. Kesemuanya ini berkaitan erat dengan kecepatan terjadinya retak ataupun pelepasan butir pada perkerasan beraspal.



apukan yang terbesar terjadi pada saat pemanasan aspal dan campuran aspal dengan agregat. Pada saat pemanasan terjadi

oksidasi/penguapan fraksi ringan sehingga terjadi pengerasan aspal, sedangkan pada saat pelayanan di perkerasan jalan pelapukan aspal sangat tergantung besarnya rongga sebagai hasil dari pelaksanaan pemadatan (Suroso, 2009).

Dalam perancangan beton aspal, pengaruh penuaan aspal ini belum diperhitungkan. Dalam spesifikasi beton aspal yang dikeluarkan oleh Bina Marga (2010) disyaratkan bahwa stabilitas beton aspal yang direndam selama 4 hari, stabilitas sisanya tidak boleh kurang dari 90%. Persyaratan ini adalah untuk menguji ketahanan beton aspal terhadap kerusakan akibat terendam air. Akan tetapi yang menjadi masalah adalah bahwa cuaca yang merusak beton aspal tidak hanya air saja. Pemanasan berlebihan juga menyebabkan kerusakan campuran beton aspal, karena aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat mengalami penuaan. (Widodo dkk., 2012).

Umumnya penuaan campuran aspal diklasifikasikan ke dalam dua kategori, yaitu penuaan jangka pendek dan jangka panjang. Penuaan jangka pendek dikaitkan dengan hilangnya komponen volatil dan oksidasi dari aspal selama produksi campuran aspal. Penuaan jangka panjang adalah oksidasi progresif materi tempat di lapangan selama masa pelayanan perkerasan (Bell *et al.*, 1994). Proses pemanasan benda uji pada temperatur 135°C selama 4 jam untuk mensimulasikan penuaan

pendek disebut *Short Term Oven Aging* (STOA). Sedangkan benda uji pada temperatur 85°C selama 5 hari,



mensimulasikan penuaan jangka panjang (*Long Term Oven Aging – LTOA*).

Kliewer *et al* 1995 telah meneliti hubungan antara kinerja pelapukan campuran beton aspal di lapangan dan sifat-sifat pelapukan campuran beton aspal yang dilakukan di laboratorium. Prosedur pelapukan campuran beton aspal di laboratorium untuk mewakili pelapukan jangka pendek atau saat pencampuran dilakukan dengan cara memanaskan campuran lepas beton aspal di dalam oven selama 4 jam pada temperatur 135°C sebelum dipadatkan. Sedangkan untuk mensimulasikan pelapukan jangka panjang di laboratorium dilakukan dengan memanaskan benda uji beton aspal padat pada temperature 85°C. Jangka waktu pemanasan selama 2 hari mewakili pelapukan lapisan perkerasan beton aspal selama 5 tahun. Pemanasan selama 5 hari mensimulasikan pelapukan lapisan perkerasan beton aspal selama 10 tahun (Widodo dkk., 2012).

Pengaruh eksternal aspal dipengaruhi oleh adanya oksigen, radiasi ultraviolet dan perubahan suhu. Pengaruh eksternal ini menyebabkan aspal mengeras, sehingga terjadi perubahan rheologi seperti penurunan penetrasi, peningkatan titik leleh, dan peningkatan viskositas. Faktor yang memiliki pengaruh yang signifikan pada age hardening aspal, kategori umum disebut oleh sebagian peneliti (Khalid, 2002). Faktor-faktor ini adalah :



asi : Oksidasi adalah reaksi oksigen dengan aspal, tingkat asi sangat tergantung pada suhu, waktu dan ketebalan film aspal.

2. Penguapan : Penguapan adalah penguapan konstituen cahaya dari aspal dan terutama fungsi temperatur.
3. Polimerisasi : Polimerisasi adalah kombinasi dari molekul yang sama untuk membentuk yang lebih besar, yang menyebabkan pengerasan progresif.
4. Thixotropy : Thixotropy adalah pengerasan progresif karena pembentukan struktur dalam aspal selama periode waktu.
5. Sineresis : sineresis merupakan reaksi eksudasi di mana cairan berminyak tipis memancarkan ke permukaan film aspal. Dengan hilangnya konstituen berminyak, aspal menjadi lebih sulit.
6. Pemisahan : Pemisahan adalah penghapusan konstituen berminyak, resin atau asphaltenes dari aspal yang disebabkan oleh penyerapan selektif beberapa agregat berpori.

Penuaan mengubah sifat reologi, mekanik, dan kimia dari pengikat dan campuran aspal. Perubahan properti dari campuran binder dan aspal dapat diukur melalui indikator penuaan. Ada berbagai macam tes yang dapat digunakan untuk menilai efek penuaan pada campuran aspal dan pada pengikat dari campuran dengan mengukur properti sebelum dan setelah penuaan. Indikator penuaan biasa digunakan dalam praktek parameter empiris yang menggambarkan perubahan sifat pengikat, sifat mendasar yang dapat menunjukkan perubahan perilaku viskoelastis

dan campuran atau ukuran dari perubahan komposisi kimia



pengikat yang menunjukkan perubahan dalam struktur koloid setelah penuaan (Khalid, 2002).

B. Aspal Alam Buton

Aspal batu Buton atau biasa disebut Asbuton ditemukan tahun 1924 di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton mulai digunakan dalam pengaspalan jalan sejak tahun 1926. Berdasarkan data yang ada, asbuton memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia.

Asbuton berbentuk padat dan terbentuk secara alami akibat proses geologi. Dalam Buku 1, Pemanfaatan Asbuton (Pedoman Konstruksi dan Bangunan) No : 001 – 01/BM/2006 oleh Departemen Pekerjaan Umum (Indonesia) menjelaskan bahwa Asbuton butir adalah hasil pengolahan dari Asbuton berbentuk padat yang di pecah dengan alat pemecah batu (*crusher*) atau alat pemecah lainnya yang sesuai sehingga memiliki ukuran butir tertentu. Nilai penetrasi dari aspal alam Buton (Asbuton) ini kurang lebih 10. Jika dibandingkan dengan aspal minyak, penetrasi aspal minyak lebih besar dibanding Asbuton. Hal yang paling mendasar mengenai perbedaan dari aspal minyak dengan aspal alam Buton (Asbuton) adalah Asbuton lebih kaku sedangkan aspal minyak lebih daktail.

Namun demikian, sesuai dengan Renstra Departemen Pekerjaan Umum 2005-2009, Asbuton dipatok sebanyak 556.000 ton untuk digunakan pada pemeliharaan jalan nasional. Disamping itu, sekitar



550.000 km jalan-jalan provinsi, kabupaten, dan kota serta jalan lainnya berpeluang untuk menerapkan Asbuton dalam lapisan aspalnya.



Gambar 2. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Gambar 2 memperlihatkan deposit Aspal Buton (Asbuton) yang terletak di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Deposit Asbuton ini tersebar di beberapa kecamatan di Pulau Buton diantaranya Enreke sebesar 170 juta ton, Lawele sebesar 210 juta ton, Siantopina dan Ulala sebesar 220 juta ton, Kabungka sebesar 60 juta ton dan Banabungi.

Eksplorasi yang dilakukan Alberta Research Council di daerah Lawele (Supriyadi S., Alberta Research Council, 1989 dalam buku 1, pemanfaatan Asbuton Dirjen Bina Marga, 2006) pada 132 titik pengeboran diperoleh hasil bahwa ketebalan Asbuton berkisar antara 9 meter sampai 29,88 meter atau ketebalan rata-rata sebesar 29,88 meter dengan tebal menutup antara 0 meter sampai 17 meter atau rata-rata tebal tanah



penutup sebesar 3.47 meter dengan luas daerah pengaruh Asbuton sebesar 1.527.343,5 m².

Kurniadji, 2006 telah meneliti mengenai Asbuton yang dimuat dalam Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006. Tabel 1 memperlihatkan perkiraan deposit Aspal Buton (Asbuton) dari 7 lokasi di pulau Buton yaitu Batuawu, Mompenga, Langunturu, Kabukubuku, Wangkaburu, Siantopina dan Ulala serta Tabel 2 dan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan tipikal sifat-sifat fisik bitumen Aspal Buton (Asbuton) diantaranya penetrasi, titik leleh dan viskositas yang dikeluarkan oleh Alberta Research Council, (1989) dalam Nyoman Suaryana, (2008) dan sifat-sifat fisik bitumen Asbuton yang dikeluarkan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006.

Tabel 1. Perkiraan deposit Asbuton (Kurniadji, 2006)

No.	Lokasi	Luas (m ²)	Tebal (m)	Kadar Aspal (%)	Deposit (Juta Ton)
1	Batuawu	550.000	76.1	20 – 40	60.69
2	Mompenga	280.000	72	20 – 30	29.232
3	Langunturu	420.000	61	20 – 25	37.149
4	Kabukubuku	570.000	50	20 – 35	41.325
5	Wangkaburu	460.000	62.8	20 – 35	41.888
6	Siantopina	5.000.000	25	Belum	181.25
	Ulala	1.500.000	21.65	Belum	47.089



Tabel 2. Tipikal sifat-sifat fisik bitumen Asbuton (Alberta Research Council (1989) , Nyoman Suaryana, (2008)

Lokasi	Penetrasi (dmm, 25°C)	Titik Lembek (°C)	Viskositas (135°C, poises)
1. Lawele - I2	75	48	4.0
2. Lawele - G7	150	42	2.8
3. Lawele - E – 13	120	45	4.1
4. Lawele - G17	160	40	3.1
5. Kabungka	22	63	5.1

Tabel 3. Sifat-sifat fisik bitumen Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton padat dari Lawele
Kadar Aspal, %	20	30.08
Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm	4	36
Titik Lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C ₂ HCl ₃ , %	-	99.6
Titik Nyala, °C	-	198
Berat Jenis	1.046	1.037
Penurunan Berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0.31
Penetrasi Setelah TFOT, % asli	-	94
Titik Lembek setelah TFOT, °C	-	62
as setelah TFOT, cm	-	>140



Terlihat perbedaan yang sangat menonjol yang terjadi pada sifat-sifat fisik bitumen Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele setelah dilakukan beberapa jenis pengujian yaitu pada pengujian kadar aspal, pengujian penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5 detik, 0,1 mm, pengujian titik lembek, pengujian daktilitas, pengujian kelarutan dalam C_2HCl_3 dan pengujian titik nyala baik sebelum TFOT maupun setelah TFOT.

Tabel 4 memperlihatkan perbandingan sifat-sifat kimia bitumen Aspal Buton (Asbuton) antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PU tahun 2006, dimana parameter yang paling menonjol adalah parameter maltene dan kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari Kabungka parameter maltene sebesar 1,5 sedangkan pada Asbuton padat dari Lawele sebesar 2,06 serta kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele masing-masing sebesar 39,45% dan 46,92%. Tabel 5 menunjukkan perbandingan komposisi kimia mineral Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton padat dari Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PU tahun 2006, dimana komposisi kimia mineral yang paling menonjol perbedaannya antara Asbuton padat dari Kabungka dan Lawele adalah pada senyawa Al_2O_3 masing-masing sebesar 5,64 dan 17,06. Tabel 6 memperlihatkan jenis-jenis pengujian

syarat Asbuton butir berbagai tipe seperti tipe 5/20, 15/20, 15/25
25 yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PU tahun 2006.



Tabel 4. Sifat-sifat kimia bitumen Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
Nitrogen (N), %	29.04	30.08
Acidafins (A1), %	9.33	6.6
Acidafins (A2), %	12.98	8.43
Parafin (P), %	11.23	8.86
Parameter Maltene	1.5	2.06
Nitrogen/Parafin, N/P	2.41	3.28
kandungan Asphaltene, %	39.45	46.92

Tabel 5. Komposisi kimia mineral Asbuton (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Senyawa	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
CaCO ₃	86.66	72.9
MgCO ₃	1.43	1.28
CaS	1.11	1.94
H ₂ O	0.36	0.52
SiO ₂	0.99	2.94
Al ₂ O ₃	5.64	17.06
Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	1.52	2.31
Residu	0.96	1.05



Tabel 6. Jenis pengujian dan persyaratan Asbuton butir (Pusjatan Kementerian PU, 2006)

Sifat-sifat Asbuton	Metode Pengujian	Tipe			
		5/20	15/20	15/25	20/25
Kadar bitumen Asbuton, %	SNI 03-3640-1990	18-22	18-22	23-27	23-27
Ukuran Butir					
1. Lolos Ayakan No. 4 (4.75)	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
2. Lolos Ayakan No. 8 (2.36)	SNI 03-1968-1990	100	100	100	Min. 95
3. Lolos Ayakan No. 16 (1.18)	SNI 03-1968-1990	Min. 95	Min. 95	Min. 95	Min. 75
Kadar Air, %	SNI 06-2490-1991	Maks. 2	Maks. 2	Maks. 2	Maks.2
Penetrasi aspal Asbuton pada 25°C	SNI 06-2456-1991	≤10	10-18	10-18	19-22

Keterangan :

- Asbuton butir Tipe 5/20 : Kelas penetrasi 5 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20 %.
- Asbuton butir Tipe 15/20 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 20 %.
- Asbuton butir Tipe 15/25 : Kelas penetrasi 15 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25 %.

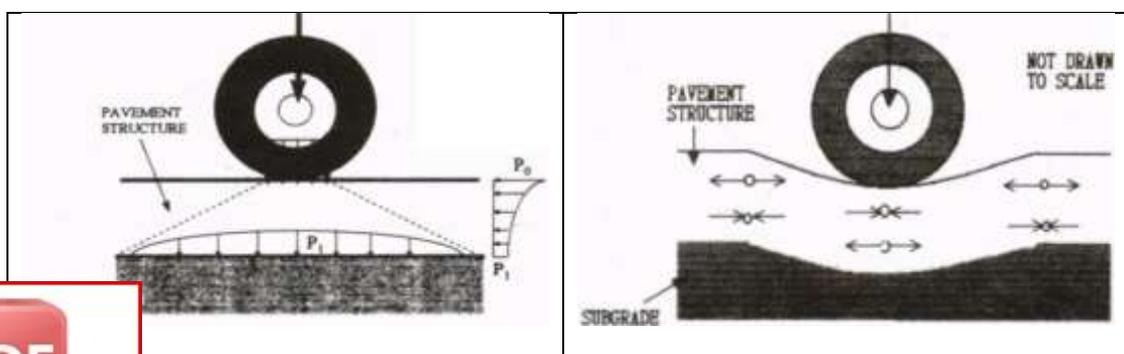
on butir Tipe 20/25 : Kelas penetrasi 20 (0,1 mm) dan kelas kadar bitumen 25 %.



C. Konsep Campuran Aspal Buton Modifikasi dan Respon Perkerasan Akibat Pembebanan

Spesifikasi Khusus Bina Marga, Indonesia (2010) tentang campuran beraspal panas, dijelaskan bahwa yang dimaksud dengan campuran beraspal panas dengan aspal yang dimodifikasi adalah campuran agregat dan aspal dari jenis Asbuton, yang dicampur, dihampar dan dipadatkan. Pekerjaan ini mencakup pembuatan lapisan campuran aspal modifikasi untuk lapis permukaan antara dan lapis permukaan (lapis aus), yang dihampar dan dipadatkan di atas lapis pondasi atau permukaan jalan yang telah disiapkan sesuai dengan spesifikasi dan memenuhi garis, ketinggian, dan potongan memanjang serta potongan melintang yang ditunjukkan dalam Gambar Rencana.

Chen *et al* dalam *Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies*, vol.4, No.1, October, 2001, memberikan gambaran kinerja pembebanan pada *flexibel pavement* seperti yang terlihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur

Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (*top-layer*) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai komposit modulus elastisitas (E_2). Akibatnya, kriteria desain perkerasan jalan dapat dibahas yaitu :

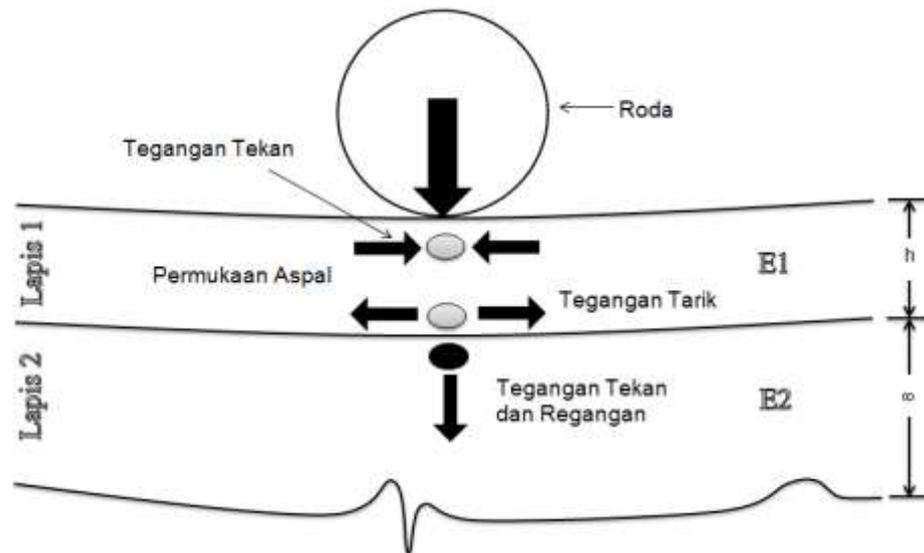
- a. Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- b. Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

Gambar 4 memperlihatkan sistem perkerasan jalan dengan sistem dua lapis dengan distribusi tegangan dan regangan pada perkerasan jalan yang ditinjau. Untuk sistem perkerasan *multi-layer*, penyederhanaan pada lapisan atas dan karakterisasi dari lapisan-lapisandalam menahan beban yang ada pada perkerasan jalan. Pada Gambar 4 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 4, Q adalah beban ban dengan satuan kN, p adalah tekanan ban dalam kPa, h adalah ketebalan lapisan

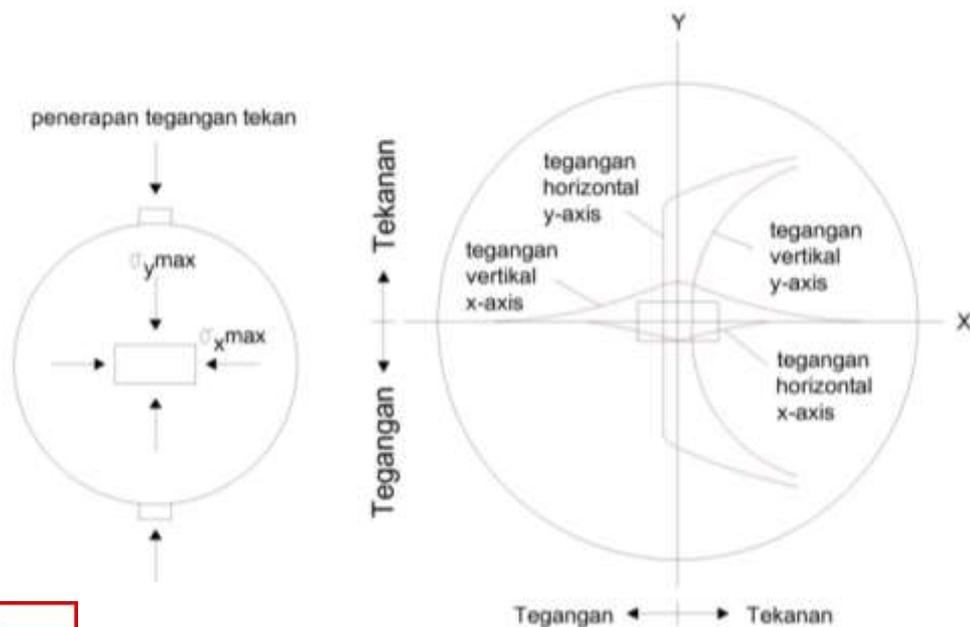
permukaan dalam mm dan E_1 serta E_2 adalah modulus elastisitas



dalam MPa. Gambar 5 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan.

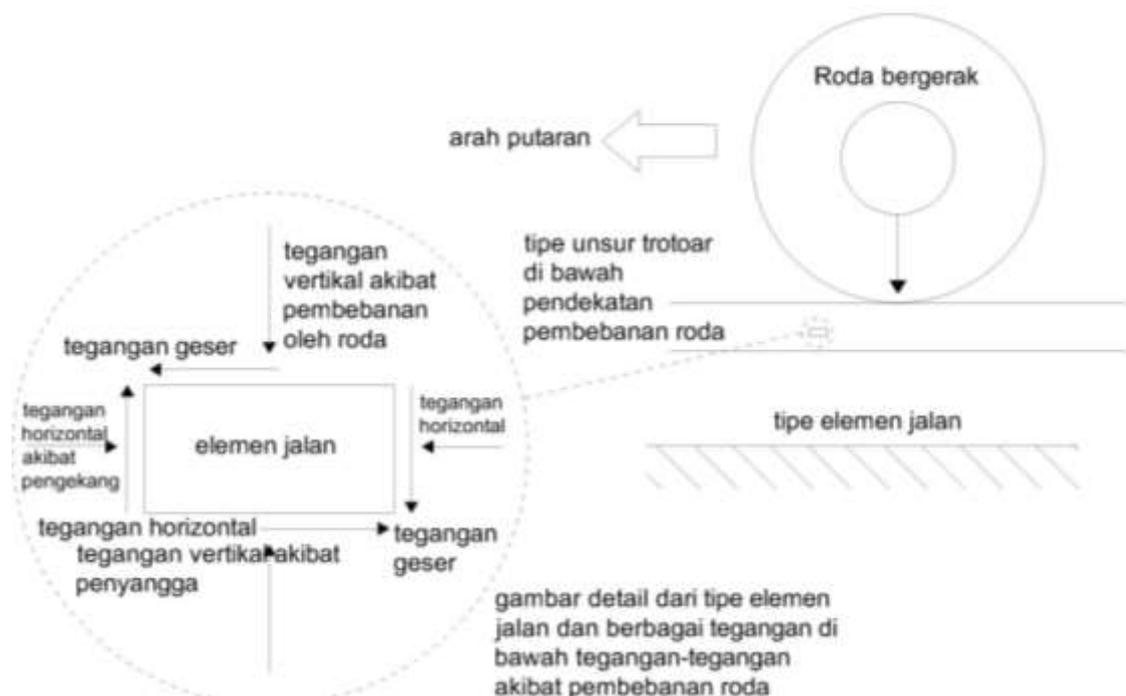


Gambar 4. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



5. Distribusi tegangan dan tekanan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Berdasarkan Gambar 5 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 6 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan.



6. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015)

Berdasarkan Gambar 6 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.

D. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung 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 (Tayfur *et al.*, 2007). 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 ASTM D6931-12. Pengujian ini kuat tidak langsung lakukan 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 pada permukaan jalan dan menyebabkan deformasi pada an jalan tersebut.



Tabel 7. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung

Peneliti	Hasil penelitian	Jenis campuran aspal
Birgisson <i>et al</i> (2008)	Tegangan, regangan	Superpave
Tayfur <i>et al</i> (2007)	Tegangan, regangan	Aspal dimodifikasi
Mahyuddin <i>et al</i> (2017)	Tegangan, regangan dan indeks ITS	AC dengan BGA
Abu <i>et al</i> (1997)	Tegangan, regangan, tensile modulus	AC
Du, 2013	Tegangan	Aspal emulsi
Katman <i>et al</i> (2012)	Tegangan	Aspal yang dikeringkan (RAP)
Ahmedzade & Yilmaz, 2008	Tegangan	Aspal modifier polyester resin
Yan <i>et al</i> (2009)	Tegangan	Aspal Emulsi

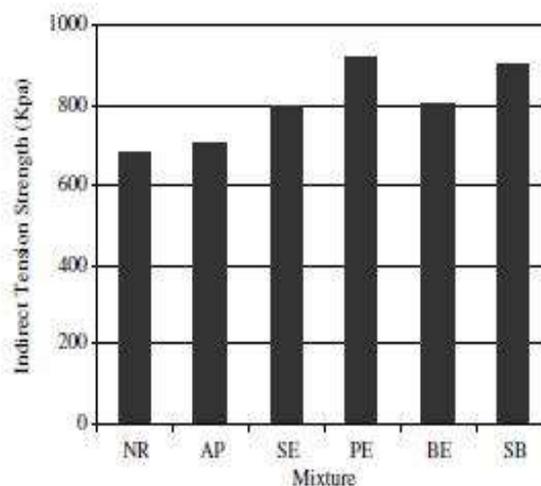
Telah banyak peneliti ahli konstruksi perkerasan jalan khususnya perkerasan lentur dalam melakukan berbagai penelitian dan melaporkan kinerja campuran beraspal sehubungan dengan kuat tarik tidak langsung. Banyaknya ahli konstruksi jalan yang telah melakukan penelitian dengan topik kuat tarik campuran aspal karena masalah ini sehubungan masalah utama kerusakan perkerasan yakni retak yang terjadi pada perkerasan aspal yang diakibatkan oleh deformasi permanen, seperti yang

tercantum pada Tabel 7. 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 meningkat.

Tayfur *et al* (2005) 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 7 menunjukkan kuat tarik belah campuran aspal dimodifikasi.



Gambar 7. *Inderect tensile strength* campuran yang dimodifikasi (Tayfur *et al.*, 2005).

Penelitian Xuan *et al* (2012) menunjukkan nilai kuat tarik tidak langsung merupakan index yang sangat penting dalam design perkerasan

kuat tarik tidak langsung merupakan parameter terpisah dengan er yang lain dan sangat penting diperhitungkan pada campuran



Birgisson *et al* (2008) 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.

Abu *et al* (1997) mengatakan benda uji akan ditekan sampai pada beban maksimum, beban tekan didistribusikan dengan menggunakan beban strip yang diletakkan pada permukaan lingkaran benda uji, beban tekan dilaksanakan sampai pada tingkat benda uji mengalami kegagalan.

Sedangkan Ahmedzade & Yilmaz (2008) mengatakan nilai kuat tarik tidak langsung merupakan fungsi dari beban, diameter dan ketebalan benda uji, untuk benda uji berbentuk lingkaran penuh seperti Gambar 8. Nilai ITS benda uji lingkaran penuh diperlihatkan dalam persamaan 1.

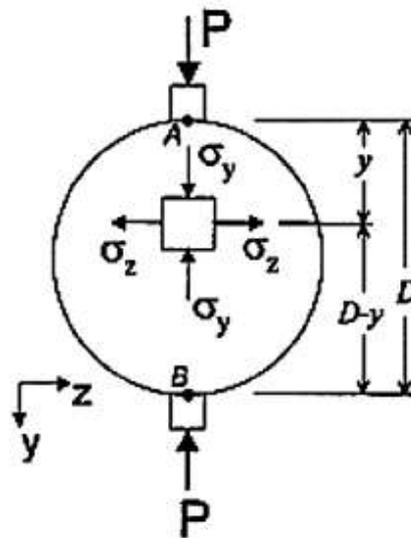
Du, 2013 mengatakan kuat tarik aspal semen mastik sangat sensitif terhadap kadar air dan memiliki hubungan dengan stabilitas pada pelaksanaan di lapangan, sehingga kadar air optimum aspal emulsi dapat diprediksi dengan nilai ITS.

Nilai ITS dapat digunakan untuk mengevaluasi kualitas relatif campuran aspal dalam hubungannya dengan pengujian desain campuran laboratorium dan untuk memperkirakan potensi terjadinya *rutting* atau

ng dapat terjadi di lapangan selama masa layan maupun masa
araan dari perkerasan. Hasil ini dapat juga digunakan untuk
kan potensi untuk bidang perkerasan kerusakan akibat



kelembaban ketika hasil yang diperoleh pada kedua sampel berkondisi dan dikondisikan atau sampel tanpa perendaman maupun sampel yang telah dilakukan perendaman dengan air.



Gambar 8. Diagram pembebanan uji ITS

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

$$ITS = \frac{2 P}{\pi D H} \quad (1)$$

Dimana :

ITS = kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

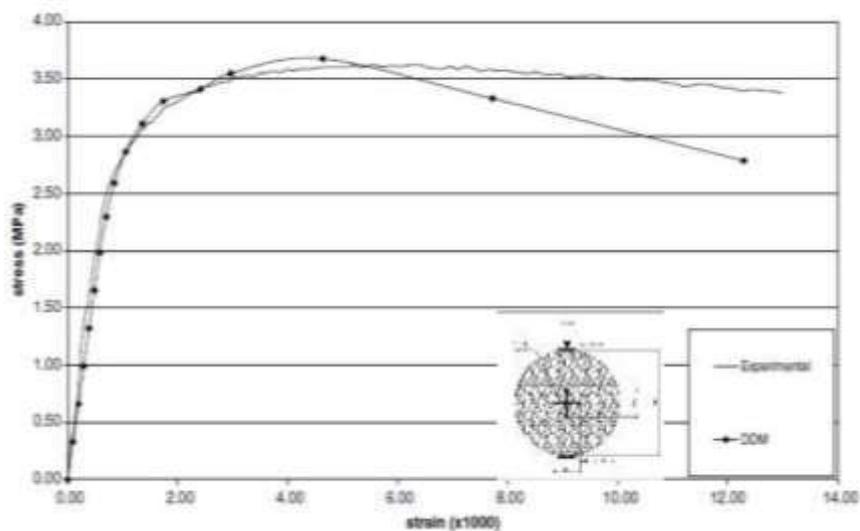
P_{max} = beban maksimum (kN)

= ketebalan benda uji (mm)

= diameter benda uji (mm)



Gambar 9 menunjukkan hubungan tegangan – regangan pada campuran aspal superpave. Terlihat bahwa tegangan maksimum sebesar 3,60 MPa pada regangan 0,006. Kurva regangan – tegangan membentuk garis lurus sampai pada tegangan 2,5 MPa dengan regangan 0,001 MPa.



Gambar 9. Hubungan regangan akibat beban tarik dan tegangan Tarik (Birgisson *et al.*, 2008)

Penelitian Wong *et al* (2004) mengatakan bahwa rasio kuat tarik tidak langsung (ITSR) dapat digunakan untuk mengetahui kerentangan kelembaban campuran aspal (Katman *et al.*, 2012). Kerusakan perkerasan fleksibel pada daerah tropis seperti di Indonesia yang disebabkan karena keretakan perkerasan yang terjadi akibat rendaman air. Campuran aspal sangat penting untuk diketahui sensitifitasnya terhadap air. Air

akan efek atau pengaruh terhadap deformasi campuran aspal.

semakin tinggi nilai ITSR maka campuran aspal semakin tahan

terhadap air begitupun sebaliknya campuran aspal dengan ITSR rendah



menunjukkan semakin rentang terhadap air. Kerentanan kelembaban Campuran aspal (*moisture susceptibility of asphalt mixtures*) dievaluasi dengan AASHTO T283. ITS lebih besar dari 0,7 lebih tahan terhadap retak (Ahmedzade *et al.*, 2007). Nilai ITS berada pada kisaran antara 0 – 1. Ratio kuat tarik tidak langsung dapat ditulis dalam bentuk persamaan 2.

Dimana :

$$\begin{aligned} \text{ITS}_{\text{cond}} &= \text{Nilai ITS terkondisikan atau basah (MPa)} \\ \text{ITS}_{\text{dry}} &= \text{Nilai ITS kering (MPa)} \end{aligned} \quad (2)$$

Menurut Birgisson *et al* (2008) nilai ITS campuran aspal superpave sekitar 3.60 MPa. Pada campuran aspal menggunakan *aditif poliolefin* (PE) nilai *indirect tensile strength* dapat mencapai \pm 920 Kpa, aspal normal (NR) sebesar 683 kPa (Tayfur *et al.*, 2005). Peneliti yang lain mendapatkan nilai kuat tarik tidak langsung pada campuran aspal AC-10 sebesar 758 kPa dan AC-5 sebesar 489,41 kPa (Ahmadzade *et al.*, (2007).

Pada penelitian lain yang dilakukan oleh (Ahmedzade & Yilmaz, 2008) dikemukakan pengaruh rendaman terhadap campuran aspal AC-10 dan didapatkan nilai ITS_{cond} sebesar 721,07 kPa dengan nilai ITS lebih besar 0,951 sedang campuran aspal AC-5 didapatkan ITS_{cond} sebesar 452,87 kPa dengan nilai ITS sebesar 0,925 dan AC-10 + 0,75% PR didapat ITS_{cond} sebesar 806,84 kPa dengan ITS 0,955.

& Guler (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi dari campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan



benda uji silinder dipadatkan yang dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat Marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Sedangkan Shu *et al* (2008) mengatakan untuk mengevaluasi karakteristik retak pada campuran aspal digunakan metode Marshall dalam mendesain campuran aspal.

E. Difraksi Sinar-X

Sinar x ditemukan pada tahun 1895 oleh fisikawan Jerman bernama Roentgen dan dinamakan 'x' disebabkan pada masa itu belum di ketahui penamaan yang cocok untuk sinar ini. Sinar-x ditemui pada panjang gelombang 10 nm sampai 100 pikometer, kondisi monokromatik untuk ($\lambda = 1 \text{ \AA}$) dapat dimanfaatkan sebagai sumber difraksi material sehingga diperoleh sifat dan jenis zat sesuai dengan pola difraksi yang diperoleh dari interaksi bahan dengan sinar x. Ada dua fakta geometrical yang perlu diingat dalam proses difraksi yakni :

- a) Peristiwa penyinaran, normal ke bidang pemantul dan sinar yang terdifraksi selalu koplanar.
- b) Sudut antara sinar yang didifraksi dan sinar yang ditransmisikan selalu beda 2θ . Ini dikenal sebagai difraksi sudut, dan sudut yang dimaksud itu bukanlah θ , yang diperoleh dari eksperimental (Ribeiro, 2004).

Hukum Bragg menyatakan bahwa peristiwa difraksi hanya dapat

terjadi jika memenuhi persamaan 3.

$2d \sin \theta$

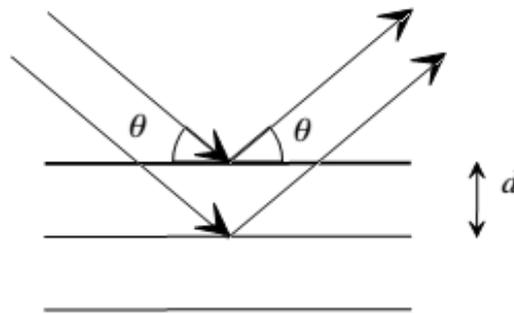
(3)

gan :



- n : Bilangan bulat positif
- λ : Panjang gelombang dari X-Ray tergantung bahan yang digunakan
 d adalah jarak antara bidang kisi
- θ : Besar sudut dari arah radiasi sinar x

Ilustrasi dari kejadian difraksi bisa dilihat dan di pahami dari Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.



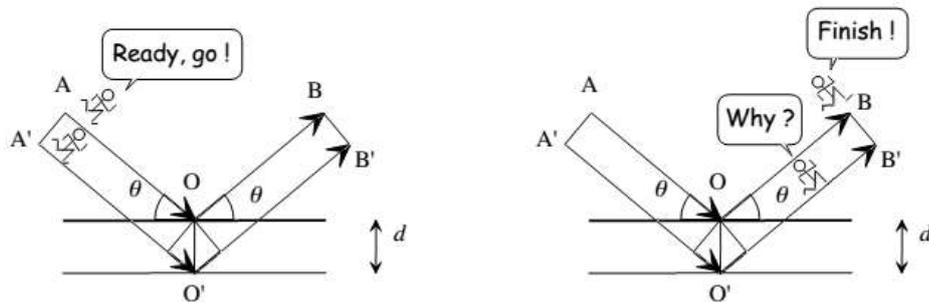
Gambar 10. Ilustrasi asal Hukum Bragg (Mote *et al.*, 2012)

Perlu diperhatikan perbedaan garis jarak pada ilustrasi diatas yang dimana poin penting dari hukum Bragg adalah dapat di jelaskan dengan interferensi konstruktif. Ilustrasi perbedaan garis jarak akan memudahkan kita untuk memahami hukum Bragg.

Panjang satu segment (digaris tebal) harus senilai dengan $d \sin \theta$, karena bagian ini berlainan sisi dengan simpangan sudut. Lebih tepatnya sisi bagian kiri dan kanan pada perbedaan panjang gelombang

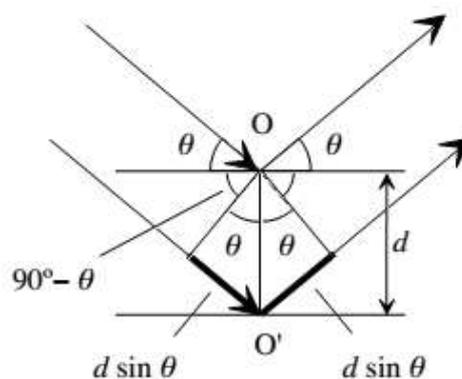
kan sehingga setara dengan d .





Gambar 11. Perbedaan perjalanan gelombang ketika merambat dari A'O'B' dengan perjalanan gelombang jika merambat AOB (Mote *et al.*, 2012)

Akan digambarkan kembali perbedaan garis jarak dengan menebalkan bagian tersebut.



Gambar 12. Hubungan antara garis jarak, d dan θ (Mote *et al.*, 2012)

Struktur Kristal

Pengetahuan mengenai kristal ideal ditentukan oleh susunan satuan satuan struktur yang identik (hampir sama) secara berulang – ulang dengan jumlah yang tak hingga (sulit dihitung) dalam ruang. Kumpulan

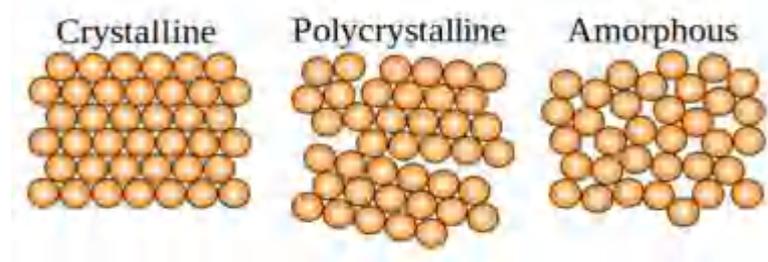
rupa atom atau molekul dan sel ini terpisah sejauh 1 \AA atau 2 \AA .

struktur kristal dapat digambarkan dengan istilah basis dan *lattice*

balikinya zat padat yang tidak memiliki keteraturan satuan struktur



identik dalam ruang disebut amorf. Gambar 13 memperlihatkan ilustrasi perbedaan keteraturan susunan atom untuk partikel padatan kristalin, polikristalin dan amorf.



Gambar 13. Ilustrasi perbedaan keteraturan susunan atom untuk partikel padatan kristalin, polikristalin dan amorf (Zak *et al.*, 2013)

Mengenal Kristal menurut "*Elementary X-Ray diffraction*" tahun 1956, secara skala nano adalah langkah wajib yang harus dilakukan para peneliti bidang material, agar nantinya tidak mengalami hambatan dalam melakukan interpretasi data serta untuk penyajian hasil pengolahan data. Struktur kristal dalam istilah mineralogi dan kristalografi merupakan susunan-susunan atom yang khas dan bersistem secara periodik berdimensi tiga. Struktur kristal yang ideal disusun secara rapi oleh unit sel dengan jumlah tertentu. Unit sel dipisahkan oleh kisi dengan jarak tertentu, ini berarti unit sel (spatial atom) akan semakin kecil jika kisi memiliki ukuran yang kecil pula. Zat padat memiliki 2 kategori dasar jika dipandang dari sisi susunan atomnya, yakni kristal dan amorf. Amorf

kan struktur yang tidak memiliki arah yang konsisten (tidak
) sehingga panjang dan sudut ikatannya tidak teratur.



Penyimpangan struktural adalah hal dasar yang menyebabkan suatu material memiliki kondisi bersifat amorf (*amorphous*). Adapun material yang memiliki susunan atom yang baik akan tetapi strukur yang terbentuk lebih dari satu, sehingga memiliki orientasi yang lebih dari satu kondisi material yang seperti ini disebut polikristal. Contoh unsur berstruktur kristal yakni S, Fe, Li, Zn, Cl dll, contoh unsur komposit (senyawa) berstruktur polikristal antara lain NaCl (garam), SiO₂ (quartz), pirit (FeS), gula (C₂H₁₂O₆) dan lain-lain, contoh padatan amorf antara lain karbon amorf adsorben dan silika gel adsorben.

F. Kerangka Pikir Penelitian

Dalam upaya mendorong percepatan pembangunan infrastruktur daerah saat ini, Kementerian PUPR melalui direktorat jenderal bina konstruksi telah mencanangkan pemanfaatan material-material buangan dan material-material lokal. Penggunaan Aspal Buton oleh Bina Marga masih relatif sangat kecil. Hal ini disebabkan karena Bina Marga masih membatasi penggunaan Asbuton yang memiliki kandungan bitumen minimal 25% sedangkan kandungan bitumen dibawah 25% tidak dapat digunakan. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba melakukan eksperimental di laboratorium dengan melihat kinerja penggunaan bahan pengikat berupa Asbuton modifikasi (retona) yang merupakan sumber

deve dalam Indonesia. Gambar 14 memperlihatkan kerangka pikir

n.





Gambar 14. Kerangka pikir penelitian

