

TESIS

**KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC
YANG MENGANDUNG ASBUTON MODIFIKASI AKIBAT
PERENDAMAN AIR**

**INDIRECT TENSILE STRENGTH OF AC-WC MIXTURE
CONTAINING MODIFICATED ASBUTON DUE TO WATER
IMMERSED**

JOHAN USMANY

D012 18 1 045



**PROGRAM MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR**

2021

TESIS

KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG ASBUTON MODIFIKASI AKIBAT PERENDAMAN AIR

Disusun dan diajukan oleh


JOHAN USMANY
D012181045

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 18 Agustus 2021

Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama,

Pembimbing Pendamping,


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


Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT
NIP. 195910101987031003

Ketua Program Studi S2
Teknik Sipil,

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT
NIP. 197206192000122001


Prof. Dr. Ir. Muhammad Arsyad Thaha, M.T.
NIP. 196012311986091001

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : JOHAN USMANY
Nomor Mahasiswa : D 012181045
Program Studi : TEKNIK SIPIL
Jenjang : S2 (Magister)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis berjudul :

KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG ASBUTON MODIFIKASI AKIBAT PERENDAMAN AIR

Adalah karya tulis saya sendiri dan bukan merupakan pengambilan alihan tulisan orang lain bahwa disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan isi tesis ini hasil karya orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 16 Agustus 2021

Yang menyatakan



JOHAN USMANY

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadirat Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni ***“Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Mengandung Asbuton Modifikasi Akibat Perendaman Air”*** 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 disertasi 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.

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin 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. Hj. Rita Irmawaty, ST., 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, Agustus 2021

Johan Usmany

ABSTRAK

JOHAN USMANY. Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Mengandung Asbuton Modifikasi Akibat Perendaman Air (dibimbing oleh **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **Abd. Rachman Djamaluddin**).

Penelitian ini bertujuan untuk Menganalisis ketahanan campuran AC-WC berupa nilai kuat tarik tidak langsung dengan penggunaan Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 sebagai bahan pengikat tanpa dan dengan proses perendaman air secara laboratorium. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental murni di laboratorium yang terdiri dari pengujian kuat tarik tidak langsung dengan variasi waktu perendaman secara laboratorium. Parameter penelitian adalah variasi waktu perendaman air secara laboratorium pada suhu ruang dengan suhu 25°C selama 0, 1, 3 dan 7 hari. Diperoleh kadar aspal optimum pada 5,80% dengan menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tarik tidak langsung untuk masing-masing variasi waktu perendaman air secara laboratorium adalah 0,190 MPa, 0,157 MPa, 0,140 MPa dan 0,116 MPa. Penurunan nilai kuat tarik tidak langsung yang terjadi adalah masing-masing sebesar 17,36%, 26,31% dan 38,94% dari benda uji tanpa mengalami proses perendaman air secara laboratorium.

Kata kunci : kuat tarik tidak langsung, Asbuton modifikasi, perendaman air

ABSTRACT

JOHAN USMANY. Indirect Tensile Strength Of Ac-Wc Mixture Containing Modified Asbuton Due to Water Immersed (supervised by **H. M. Wihardi Tjaronge** and **Abd. Rachman Djamaluddin**).

This study aims to analyze the resistance of the AC-WC mixture in the form of an indirect tensile strength value by using modified Asbuton Retona Blend 55 as a binder, with and without water immersion in a laboratory scale. The method used is purely experimental in the laboratory, which consists of indirect tensile strength testing with variations in immersion time at room temperature (25°C) for 0, 1, 3 and 7 days. The optimum asphalt content was obtained at 5.80% by using modified Asbuton as a binder. The results showed that the indirect tensile strength value for each variation of water immersion time was 0.190 MPa; 0.157 MPa; 0.140 MPa and 0.116 MPa. The decrease in the value of indirect tensile strength due to immersion time was 17.36%, 26.31% and 38.94%, respectively, for normal specimens.

Keywords : Indirect tensile strength, Modified Asbuton, Water soaked

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	5
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Nilai Strategis Aspal Alam Buton	9
B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Alam Buton	11
C. Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55)	19
D. Konsep Campuran Aspal Buton Modifikasi dan Respon Perkerasan Akibat Pembebanan	24

E. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC.....	28
F. Difraksi Sinar-X.....	35
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	40
B. Rancangan Uji	42
C. Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC.....	47
D. Jumlah Benda Uji.....	52
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Karakteristik Material.....	54
B. Penentuan Gradasi Campuran.....	61
C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan.	63
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dengan Metode Marshall.	64
E. Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Pada Kadar Aspal Optimum.	74
F. Hasil Pengujian Volumetrik Campuran Akibat Proses Perendaman Air Secara Laboratorium	76
G. Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Perendaman Air Secara Laboratorium.....	78
H. Hasil Pengujian Senyawa Kimia Campuran AC-WC Akibat Proses Perendaman Air Dengan Metode XRD.....	90

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	93
B. Saran	94
DAFTAR PUSTAKA	96

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Perkiraan Deposit Asbuton	15
2.	Tipikal Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	15
3.	Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	16
4.	Sifat-Sifat Kimia Bitumen Asbuton.....	17
5.	Komposisi Kimia Mineral Asbuton	18
6.	Jenis Pengujian dan Persyaratan Asbuton Butir.....	18
7.	Persyaratan Aspal Dimodifikasi dengan Aspal Alam	19
8.	Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung	29
9.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	44
10.	Metode Pengujian Karakteristik Asbuton Modifikasi	45
11.	Gradasi Agregat Gabungan Laston	46
12.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO	52
13.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Pengujian ITS Pada Kondisi KAO Proses Perendaman Air	52
14.	Karakteristik Fisik Agregat Kasar	55
15.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	55
16.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir.....	56
17.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Semen PCC)	56
18.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi	57
19.	Karakteristik Kimia Filler Abu batu (Hasil Uji XRF)	58

20.	Karakteristik Kimia Filler Semen (Hasil Uji XRF)	59
21.	Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi (Hasil Uji XRF)	59
22.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 Gram Benda Uji .	64
23.	Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter	65
24.	Parameter Marshall Pada Kadar Aspal Optimum 5,80%	75
25.	Nilai Volumetrik Campuran Akibat Proses Perendaman Air	77
26.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS)	83

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Lokasi Deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara	14
2.	Alur Proses Pembuatan Asbuton Modifikasi Blend 55 Secara Pabrikasi	21
3.	Kinerja Perkerasan Lentur	24
4.	Sistem Perkerasan Dua Lapis	26
5.	Distribusi Tegangan dan Tekanan.....	26
6.	Penjabaran Tegangan-Tegangan.....	27
7.	Indirect Tensile Strength Campuran yang Dimodifikasi	30
8.	Diagram Pembebanan Uji ITS.....	32
9.	Hubungan Regangan Akibat Beban tarik dan Tegangan Tarik.	33
10.	Ilustrasi Asal Hukum Bragg	36
11.	Perbedaan Perjalanan Gelombang Ketika Merambat Dari A'O'B' Dengan Perjalanan Gelombang Jika Merambat AOB.....	36
12.	Hubungan Antara Garis Jarak, d dan θ	37
13.	Ilustrasi Perbedaan Keteraturan Susunan Atom Untuk Partikel Padatan Kristalin, Polikristalin Dan Amorf	38
14.	Diagram Alir Penelitian	42
15.	Alat Pengujian Marshall.....	48
16.	Posisi Benda Uji ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	49
17.	Difraktogram Polimer Kristalin	51
18.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Asbuton Modifikasi	60

19.	Gradasi Agregat Gabungan.....	62
20.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Stabilitas	66
21.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Flow	68
22.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Marshall Quetiont.....	69
23.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VIM	70
24.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VMA	71
25.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VFB.....	72
26.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Proses Perendaman Air	79
27.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Proses Perendaman Air Selama 1 Hari.....	80
28.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Proses Perendaman Air Selama 3 Hari.....	81
29.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Proses Perendaman Air Selama 7 Hari.....	82
30.	Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Seluruh Benda Uji	85
31.	Hubungan Sudut Phase dan Intensitas Akibat Rendaman Air ..	91

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
DA	= Berat Dalam Air (gr)
E	= Berat di Udara (gr)
FS	= Berat SSD (gr)

G	= BJ Bulk–Berat Benda Uji (gr)
H	= Berat Benda Uji (gr)
L	= Berat Benda Uji 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 Benda Uji (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 alternative 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 (A. Suryana, 2003 dalam Tjaronge, 2012). Asbuton diharapkan dapat menggantikan peran aspal minyak secara parsial ataupun seluruhnya (Affandi f., 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 F., 2010, Zamhari K. A. 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 base). Campuran aspal AC-BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang 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.

Cuaca di Indonesia akhir-akhir ini sulit diprediksi, pada saat musim kemarau suhu udara begitu tinggi, sedangkan pada musim hujan memiliki curah hujan sangat tinggi, dengan sistem drainase yang belum dikelola dengan tepat sehingga menyebabkan banjir sampai menggenangi lapis perkerasan jalan. Seringnya mengalami cuaca yang ekstrim tersebut tentunya akan mempengaruhi daya ikat antara aspal dan agregat. Disamping itu beban lalu lintas yang terus menerus bertambah, hal ini ikut serta mempengaruhi terjadinya pengelupasan lapisan permukaan jalan.

Dengan sering terjadi cuaca yang berubah-ubah secara ekstrim cenderung mengakibatkan pengelupasan campuran beraspal. Hilangnya integritas dari suatu campuran aspal melalui melemahnya ikatan antara agregat dan pengikat dikenal sebagai pengelupasan. Jika situasi ini berlangsung silih berganti dalam waktu yang singkat hal ini dapat menimbulkan kerusakan pada lapisan permukaan, seperti alur, lipatan, gelombang, raveling, cracking, dll. Kehilangan adhesi dapat diatasi dengan bantuan bahan aditif anti pengelupasan, juga dikenal sebagai adhesi promotor dan agen pembasahan. Aditif anti pengelupasan, ketika ditambahkan ke aspal, menggantikan kelembaban di permukaan dari adhesi agregat dan menghasilkan ikatan di permukaan agregat. Hal ini tentu akan mempengaruhi kekuatan konstruksi aspal yang berada di

daerah yang memiliki cuaca yang ekstrim seperti di Indonesia, mengingat konstruksi beton aspal yang ada di Indonesia dengan cuaca yang curah hujan tinggi serta langsung berada pada tanah dan mengalami kontak langsung dengan tanah serta tidak menutup kemungkinan bahwa tanah tempat beton aspal berpijak memiliki kelembaban yang tinggi.

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 rangkakan (*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 kedua adalah pengujian simulasi di laboratorium (*simulative*) : Uji Roda-pelacakan (*wheel-tracking test*) dan kelompok pengujian yang ketiga

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

Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu di atas maka dapat disimpulkan bahwa dengan pemanfaatan Asbuton modifikasi ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan stabilitas dan menjadi salah satu solusi dari pemanfaatan material lokal. Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Mengandung Asbuton Modifikasi Akibat Perendaman Air”**.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat ?.
2. Bagaimana hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi akibat perendaman air selama 1, 3 dan 7 hari ?.
3. Bagaimana pengaruh lama perendaman air terhadap nilai kuat tarik tidak langsung dengan pada benda uji campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat ?.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat.
2. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi akibat perendaman air selama 1, 3 dan 7 hari.
3. Menganalisis pengaruh lama perendaman air terhadap nilai kuat tarik tidak langsung dengan pada benda uji campuran AC-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat.

D. Batasan Masalah

Permasalahan perendaman dan Asbuton modifikasi pada campuran AC-WC sehingga perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga fokus penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. 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-WC yang digunakan, dilakukan pengujian kuat tarik tidak langsung dalam kondisi normal, perendaman air secara laboratorium pada suhu ruang selama 1 hari, 3 hari dan 7 hari.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah menghasilkan suatu inovasi pada teknologi campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yang memanfaatkan sumber daya alam nasional berupa Asbuton (Aspal Alam Buton), secara berkelanjutan. Selain itu, dapat memprediksi penurunan nilai kuat tarik tidak langsung yang disebabkan oleh proses perendaman air yang terjadi pada campuran beraspal, khususnya campuran AC-WC.

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.

BAB II 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 perendaman air 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 perendaman 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. Nilai Strategis Aspal Alam Buton

Perkembangan konstruksi jalan yang digunakan oleh seluruh dunia diawali oleh temuan Thomas Telford (1757-1834) dan John London Mac Adam (1756-1836). Konstruksi ini diberi lapisan aus yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikatnya dan seluruh dunia menggunakan teknologi ini sebagai konstruksi jalan. Perkembangan selanjutnya adalah konstruksi perkerasan jalan menggunakan aspal panas (*hot-mix*). Jenis perkerasan ini dinamakan perkerasan lentur.

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 30% jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2020 mencapai 539.353 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan nasional sekitar 7,8% (3.667 km), jalan provinsi sekitar 25% (6.546,48 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 35% (153.223,70 km) (Direktorat Jenderal Bina Marga, 2020).

Kekurangan perkerasan beton dibandingkan perkerasan beraspal adalah biaya awal dan perbaikan konstruksi yang cukup tinggi, butuh waktu sampai cukup kuat untuk dilewati, tidak sesuai bagi konstruksi badan jalan yang labil atau masih terjadi bongkar pasang utilitas, kurang nyaman (kekasaran, sambungan) dan silau akibat warna perkerasan yang cenderung putih (Sjahdanulirwan M, Nono, 2009).

Selain masalah-masalah kerusakan struktur jalan, masalah kelangkaan aspal juga selalu muncul. Dimana kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1.2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton, sehingga kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Suaryana N, 2008).

Muncul pemikiran penggunaan aspal Buton Indonesia secara maksimal hingga saat ini diperkuat oleh surat edaran Direktorat Jenderal Bina Marga yang mewajibkan seluruh paket-paket proyek *hot-mix* agar menggunakan Asbuton butir sebagai bahan substitusi dalam campuran *hot-mix*. Namun setelah diterapkan, substitusi ini hanya efektif penggunaannya pada penggunaan 8% terhadap campuran. Sehingga hanya kurang lebih 2.5 % bitumennya yang mampu mensubstitusi aspal minyak.

Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia yaitu di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk butiran yang terbentuk secara alami akibat

proses geologi. Proses terbentuknya Asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang *porous* (Dept. PU, 2006). Diperkirakan deposit Asbuton sekitar 60.991.554,38 ton atau setara dengan 24.352.833,07 barel minyak. (A. Suryana, 2003 dalam Tjaronge, 2013).

B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Alam Buton

1. Aspal Minyak (Bitumen)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan dan sebaliknya (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum).

a. Sumber aspal (bitumen)

1). Aspal (bitumen) hasil destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana bitumen dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan atau meningkatnya temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi (penyulingan) ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda-beda sehingga aspal (bitumen) ini diklasifikasikan lagi menjadi : (1) aspal keras yang biasa digunakan untuk campuran *hot-mix*, (2) aspal (bitumen) cair digunakan untuk peruntukan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis peresap dalam dunia perkerasan jalan dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan dan digunakan sebagai lapis perekat dan sebagai lapis

peresap serta sebagai perekat dalam campuran aspal dingin (*cold mix*) dengan memanfaatkan aspal emulsi sebagai bahan pengikat.

2). Aspal (bitumen) alam

Aspal (bitumen) alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal (bitumen) alam dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yakni aspal (bitumen) danau dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu. Aspal (bitumen) danau secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu secara alamiah terdapat di daerah Kentucky dan di daerah Pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Aspal (bitumen) dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan yang berbentuk kapur dan batuan pasir yang ada di daerah tersebut.

3). Aspal (bitumen) modifikasi

Aspal (bitumen) yang berbentuk modifikasi ini dibuat dengan cara mencampur dan memodifikasi aspal keras penetrasi 60/70 dengan suatu bahan tambah atau biasa disebut sebagai *additive* yang dimanfaatkan sebagai bahan substitusi. Bahan tambah yang biasanya dipakai adalah polymer yang saat ini banyak digunakan dalam dunia perkerasan jalan. Oleh karena itu, aspal (bitumen) modifikasi sering juga disebut sebagai aspal (bitumen) *polymer modified*.

2. Aspal Buton (Asbuton)

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 1 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.



Gambar 1. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Eksplorasi besar-besaran yang telah dilakukan oleh 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 45 meter atau ketebalan rata-rata sebesar 29.88 meter dengan tebal tanah penutup yang berkisar 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, 1993 dan banyak peneliti-peneliti lainnya 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 serta

Tabel 2 dan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan tipikal sifat-sifat fisik bitumen Aspal Buton (Asbuton) diantaranya penetrasi, titik lembek 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,1993)

No.	Lokasi	Luas (m ²)	Tebal (m)	Kadar Aspal (%)	Deposit (Juta Ton)
1	Batuawu	550.000	76,1	20 – 40	60,69
2	Mempenga	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
7	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
Daktalitas, 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
Daktalitas 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 daktalitas, pengujian kelarutan dalam C₂HCl₃ 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 dan persyaratan Asbuton butir berbagai tipe seperti tipe 5/20, 15/20, 15/25 dan 20/25 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

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 :

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

C. Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55)

Tabel 7. Persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal alam

Jenis Pemeriksaan	Persyaratan
Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1mm)	40-55
Titik Lembek	Min. 55
Titik Nyala	Min. 225
Daktilitas (25°C)	Min. 50
Berat Jenis (25°C)	Min. 1.0
Kelarutan Dalam <i>Tricholor Etyhylen</i> ; %Berat	Min. 90
Penurunan Berat (dengan TFOT); % Berat	Maks. 2
Penetrasi Setelah Kehilangan Berat; % Asli	Min. 55
Daktilitas Setelah TFOT; % Asli	Min. 50
Mineral Lolos Saringan No. 100; %	Min. 90

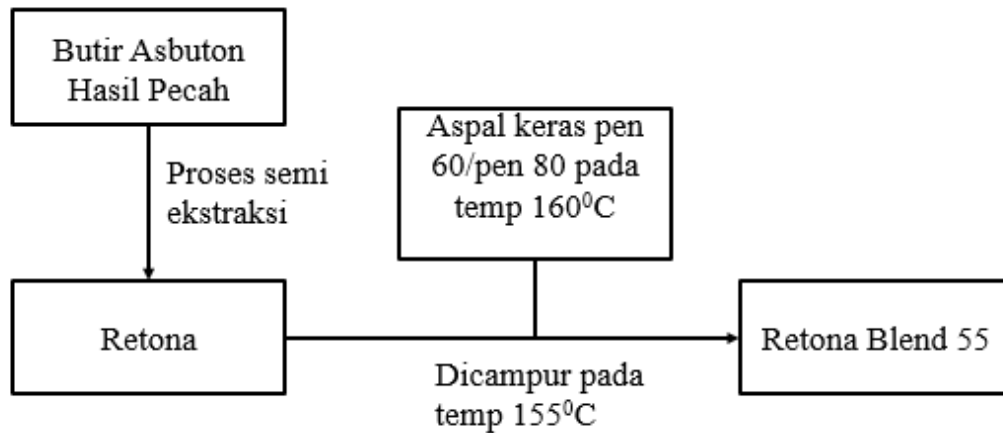
Aspal yang dimodifikasi sebagai campuran aspal panas haruslah jenis Asbuton, dan elastomeric latex atau sintetis dan memenuhi ketentuan spesifikasi 2010 Bina Marga revisi 3. Aspal modifikasi memiliki kelebihan dalam mengatasi deformasi plastis pada suhu/temperatur

rendah. Beberapa contoh Asbuton modifikasi yang ada digunakan adalah Retona dan BNA blend. Tabel 7 memperlihatkan persyaratan aspal yang dimodifikasi dengan aspal alam.

1. Retona Blend 55

Refinery Buton asphalt (retona) adalah Asbuton Kabungka atau Lawele yang telah dikurangi jumlah mineral di dalamnya (dengan cara semi ekstraksi menggunakan bahan kimia) dan dicampur dengan aspal minyak. Selanjutnya, siap untuk dicairkan di dalam tangki aspal AMP dengan atau tanpa tambahan aspal minyak lagi untuk dipompa ke dalam *pugmill* yang berisi agregat (Soehartono, 2015). Asbuton Tipe Retona Blend 55 merupakan aspal alam buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu menggunakan alat dengan spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10%.

Pada penelitian ini menggunakan jenis aspal alam mutu tinggi (*Retona Blend 55*) yang didapat dari PT. Olah Bumi Mandiri-Jakarta. Retona merupakan gabungan antara Asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian dengan aspal keras pen 60 atau pen 80 yang pembuatannya dilakukan secara fabrikasi dengan proses seperti diperlihatkan pada Gambar 2. Penggunaan Retona diharapkan dapat mengatasi kelemahan aspal penetrasi 60/70 tersebut. Asbuton Modifikasi dikembangkan melalui proses penyulingan dan ekstraksi Asbuton. Proses tidak mengeluarkan semua mineral dari Asbuton, tetapi hanya mempertahankan *Refinery Buton Asphalt* (Retona).



Gambar 2. Alur proses pembuatan Asbuton modifikasi *Blend 55* secara pabrikasi

Asbuton Modifikasi tersebut dieksplorasi oleh PT. Olah Bumi Mandiri yang diproduksi di Jakarta. Asbuton Modifikasi ini merupakan bahan *additif* (tambahan) campuran aspal minyak, guna mempertinggi kualitas titik lembek. Dalam penelitian ini jenis Retona yang digunakan adalah *Retona Blend 55* yang dapat langsung dipakai seperti aspal biasa. *Retona Blend 55* adalah campuran antara aspal minyak penetrasi 60 atau penetrasi 80 dengan Asbuton hasil olahan semi ekstraksi (*refinery buton asphalt*). Keunggulan yang dimiliki aspal buton tipe retona blend 55 yaitu :

1. Meningkatkan kestabilan, ketahanan *fatigue* dan keretakan akibat temperatur.
2. Kekuatan adhesi dan kohesi yang tinggi karena, nitrogen base 5.6 (\pm 400%).
3. Usia pelayanan lebih lama (minimal 2 kali).
4. Material asing telah dihilangkan dalam proses.

5. Langsung dipakai seperti aspal biasa.
6. Mutu sangat tinggi.
7. Stabilitas Marshall > 1300.
8. Stabilitas dinamis > 3000.
9. Tahan terhadap air.
10. Stabilitas dinamis naik hingga 400% (rata-rata di atas 3000 lintasan/menit).

2. BNA Blend

BNA blend (*Buton Natural Asphalt*) adalah produk aspal modifikasi yang berasal dari pencampuran aspal buton yang diproses dengan metode semi ekstraksi dan aspal minyak dengan komposisi tertentu. Asbuton Modifikasi tersebut dieksplorasi oleh PT. Performa Alam Lestari yang diproduksi di Jakarta. BNA blend memiliki beberapa keunggulan.

1. Adhesifitas Tinggi/Ketahanan Terhadap Air

Kehadiran air selalu berpengaruh buruk terhadap perkerasan jalan aspal. Water stripping akan memperlemah ikatan aspal-agregat, yang berakibat pada timbulnya raveling, pot hole dan pelemahan struktur. Uji Boiling test (ASTM 3625) menunjukkan bahwa Aspal BNA BLEND mempunyai ketahanan terhadap water stripping yang sangat tinggi sehingga berpotensi besar untuk meningkatkan kualitas jaringan jalan.

2. Stiffness Modulus Tinggi

Uji DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) menunjukkan bahwa modulus Aspal 1 kPa dicapai pada suhu 72°C. Hal ini menunjukkan bahwa dalam

klasifikasi PG Grading BNA BLEND masuk pada kategori Aspal PG-70, dua grade di atas Aspal Minyak Pen 60/70 pada umumnya. Konfirmasi tingginya modulus Aspal BNA BLEND juga ditunjukkan oleh hasil uji wheel tracking yang jauh lebih tinggi dibandingkan Aspal Minyak. Dengan stabilitas dinamis yang tinggi tersebut BNA BLEND cocok diaplikasikan pada jalan-jalan berlalu lintas padat dan berat.

3. Softening Point Tinggi

Softening Point BNA BLEND adalah 55°C, lebih tinggi dari Aspal Standar sehingga dapat diaplikasi problema-problema yang berhubungan dengan temperatur tinggi seperti *Bleeding, Rutting & Shouving*.

4. Tahan retak

Percobaan penghampanan *Hot Mix BNA BLEND* pada jalan yang retak menunjukkan bahwa setelah 3,5 tahun tidak terjadi *Reflective Cracking* dan atau *Pot Hole*.

5. *Workable*

Proses aplikasi *BNA BLEND* sejak pencampuran dan pematatannya semudah aplikasi Aspal Minyak.

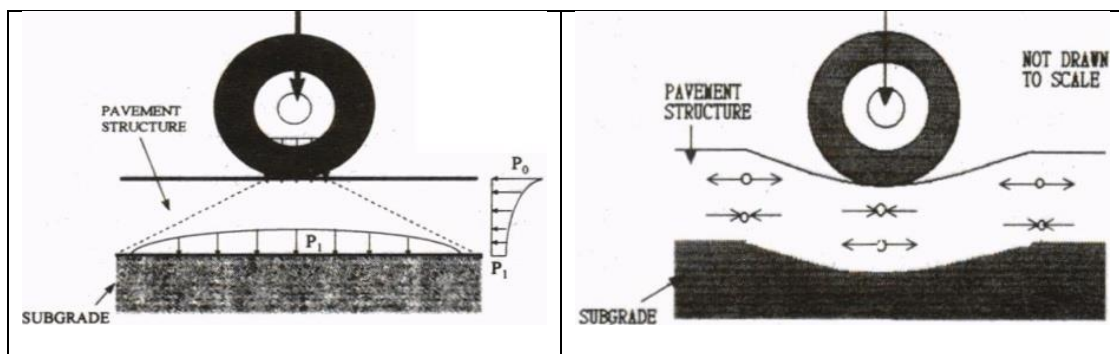
6. Ekonomis & Long Life

Dengan memiliki beberapa keunggulan di atas menjadikan BNA BLEND sebagai produk yang ekonomis karena memiliki ketahanan terhadap kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan Aspal Minyak dan Asbuton lain.

D. 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.



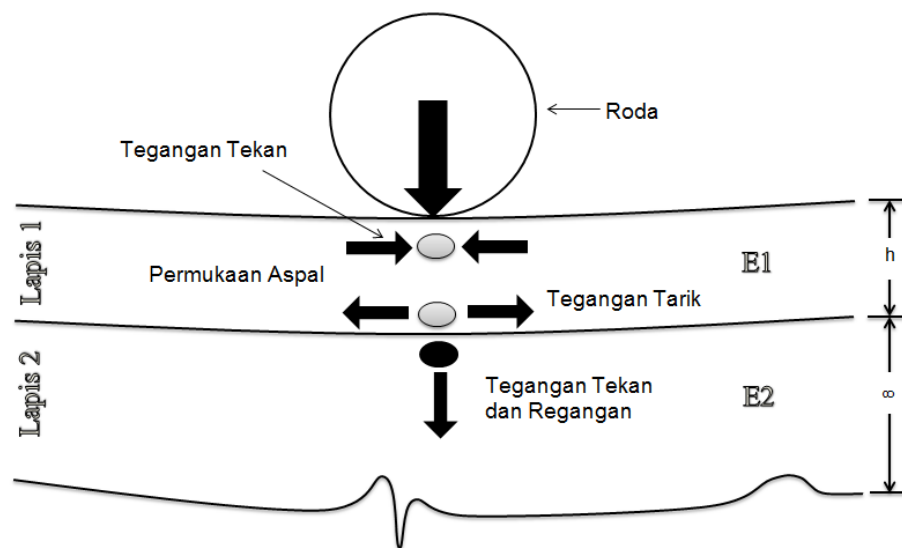
Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur

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 :

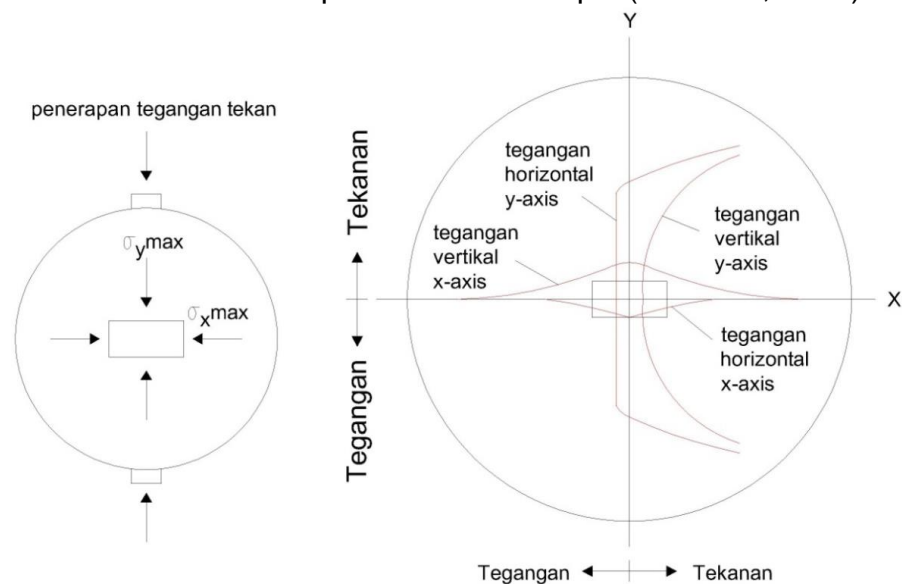
- a. Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- b. Tegangan tarik horizontal dan reganganyang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

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-lapisan dalam 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 aspal 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. 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 ($\sigma_x = \max$).

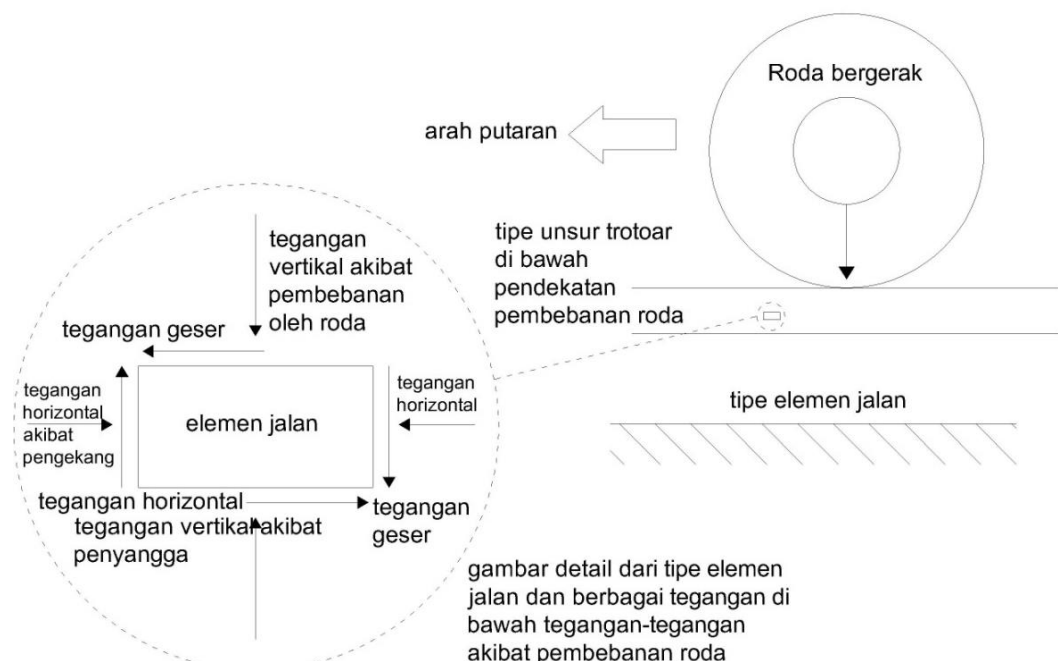


Gambar 4. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



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

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.



Gambar 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.

E. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC

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 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 kuat tarik tidak langsung.

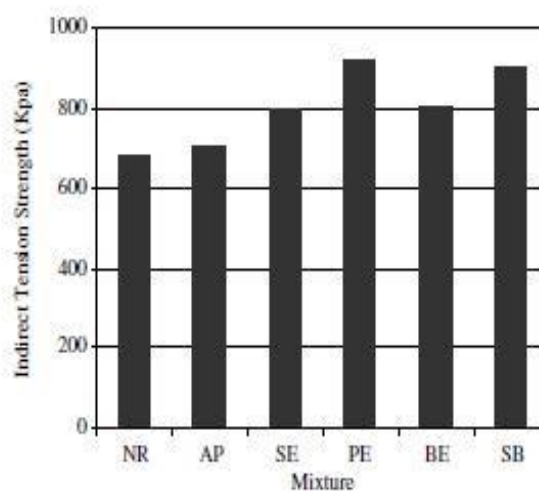
Tabel 8. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung

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

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 ditunjukkan pada Tabel 8. 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. *Indirect 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 struktur, kuat tarik tidak langsung merupakan parameter terpisah dengan parameter yang lain dan sangat penting diperhitungkan pada campuran aspal.

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

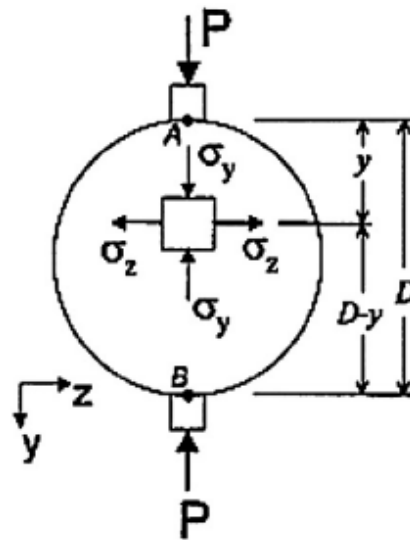
dapat dilakukan pada benda uji dalam bentuk lingkaran penuh dan setengah lingkaran.

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 retak yang dapat terjadi di lapangan selama masa layan maupun masa pemeliharaan dari perkerasan. Hasil ini dapat juga digunakan untuk menentukan 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 :

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

Dimana :

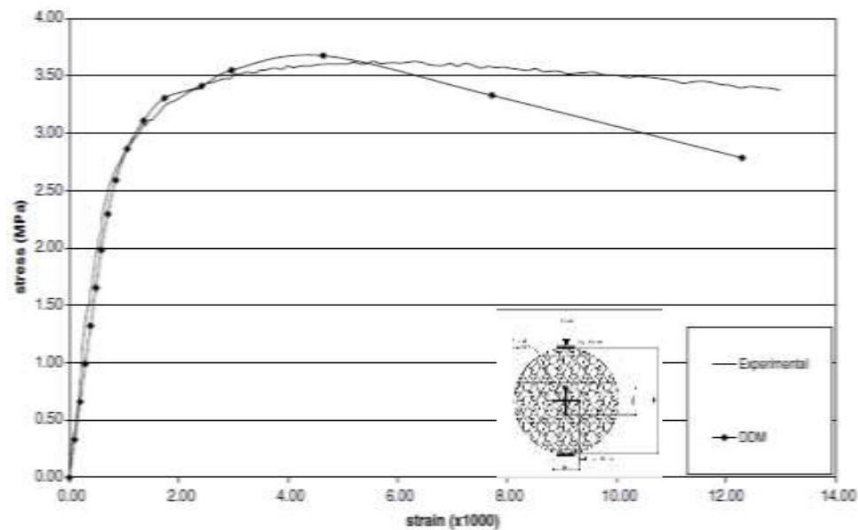
ITS = kuat tarik langsung dipusat benda uji (MPa)

P_{max} = beban maksimum (N)

t = ketebalan benda uji (mm)

d = 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 memberikan 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. ITSR lebih besar dari 0,7 lebih tahan terhadap

retak (Ahmedzade *et al.*, 2007). Nilai ITSr 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 ITSr sebesar 0,951 sedang campuran aspal AC-5 didapatkan ITS_{cond} sebesar 452,87 kPa dengan nilai ITSr sebesar 0,925 dan AC-10 + 0,75% PR didapat ITS_{cond} sebesar 806,84 kPa dengan ITSr 0,955.

Gul & Guler (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen 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.

F. 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 pkimoter, 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.

$$n \lambda = 2 d \sin \theta \dots\dots\dots(3)$$

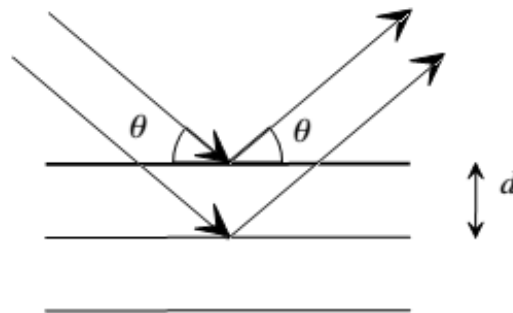
Keterangan :

n : Bilangan bulat positif

λ : Panjang gelombang dari X-Ray tergantung bahan yang digunakan
d adalah jarak antara bidang kisi

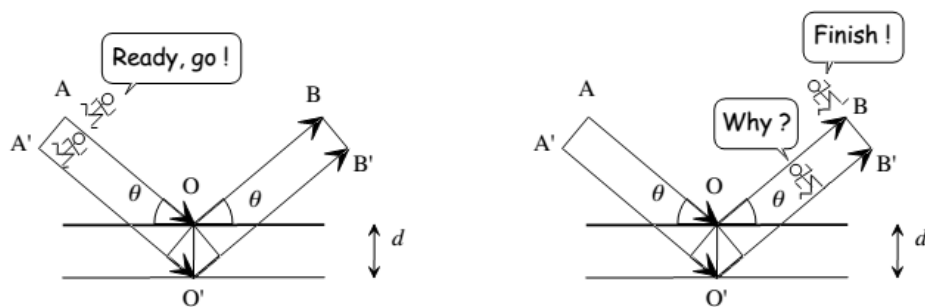
θ : Besar sudut dari arah radiasi sinar x

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)

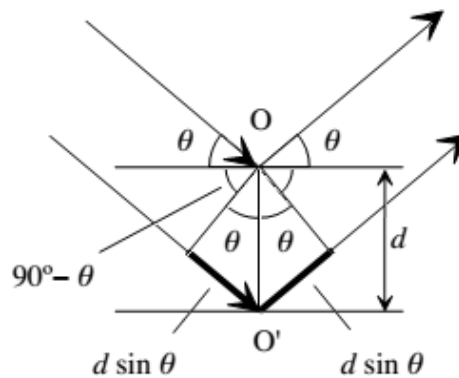
Perlu diperhatikan perbedaan garis jarak pada ilustrasi diatas yang dimana poin penting dari hukum Bragg adalah dapat di jelaskan dengan interferensi konstruktif. Ilustrasi perbedaan garis jarak akan memudahkan kita untuk memahami hukum Bragg.



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

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 dijumlahkan sehingga setara dengan d . Akan digambarkan kembali perbedaan garis jarak dengan menebalkan bagian tersebut.



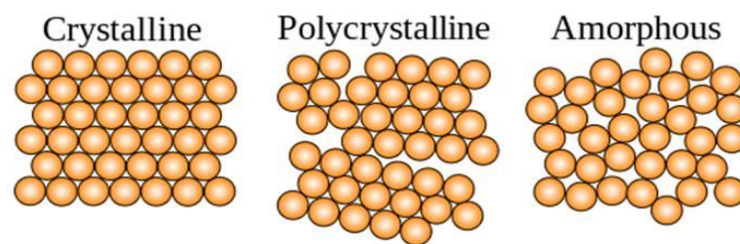
Gambar 12. Hubungan antara garis jarak, d dan θ (Mote *et al.*, 2012)

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 yang berupa atom atau molekul dan sel ini terpisah sejauh 1 \AA atau 2 \AA . Semua struktur kristal dapat digambarkan dengan istilah basis dan *lattice* (kisi), sebaliknya 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.

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.



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

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 merupakan struktur yang tidak memiliki arah yang konsisten (tidak menentu) 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 struktur 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), SiO_2 (quartz), pirit (FeS), gula ($\text{C}_2\text{H}_{12}\text{O}_6$) dan lain-lain, contoh padatan amorf antara lain karbon amorf adsorben dan silika gel adsorben.