

TESIS

**PENGARUH PENUAAN TERHADAP KUAT TARIK TIDAK
LANGSUNG CAMPURAN HRS-WC YANG MENGANDUNG
KAPUR MARUNI SEBAGAI FILLER**

**INFLUENCE OF AGING ON INDIRECT TENSILE STRENGTH
HRS-WC MIXTURE CONTAINING MARUNI LIME AS FILLER**

MAYSON WELBY IROTH

D012 18 1 042



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2021**

TESIS

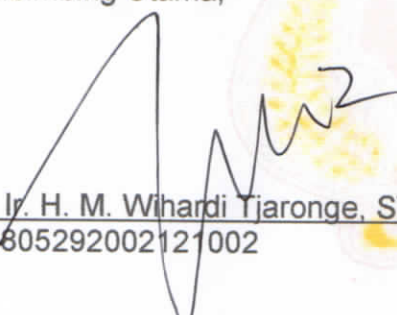
PENGARUH PENUAAN TERHADAP KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN HRS-WC YANG MENGANDUNG KAPUR MARUNI SEBAGAI FILLER

Disusun dan diajukan oleh


MAYSON WELBY IROTH
D012181042

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka penyelesaian studi Program Magister Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Pada tanggal 13 Agustus 2021
Dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Pembimbing Utama,


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

Pembimbing Pendamping,


Dr. Ir. H. Mubassirang Pasra, MT
NIP. 196311271992031001

Ketua Program Studi S2
Teknik Sipil,


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

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin,


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

PERNYATAAN KEASLIAN TESIS

Yang bertanda tangan dibawah ini

Nama : Mayson Welby Iroth
Nomor Mahasiswa : D012181042
Program Studi : Teknik Sipil
Jenjang : S2 (Magister)

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulis berjudul

PENGARUH PENUAAN TERHADAP KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN HRS-WC YANG MENGANDUNG KAPUR MARUNI SEBAGAI FILLER

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



MAYSON WELBY IROTH

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadirat Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni ***“Pengaruh Penuaan Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC yang Mengandung Kapur Maruni Sebagai Filler”*** 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. H. Mubassirang Pasra, 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 Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng**), Ibu **Dr. Eng. Ir. 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

Mayson Welby Iroth

ABSTRAK

MAYSON WELBI IROTH. Pengaruh Penuaan Terhadap Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC yang Mengandung Kapur Maruni Sebagai Filler (dibimbing oleh **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **H. Mubassirang Pasra**).

Manokwari merupakan salah satu daerah di Papua yang memiliki batuan kapur dalam jumlah yang besar yaitu terdapat di kampung Maruni. Untuk mencapai umur yang direncanakan dari perkerasan jalan, maka diperlukan mutu dan kualitas bahan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Beban kendaraan yang melintas akan menimbulkan tegangan tarik pada bagian bawah hingga pertengahan pada lapis suatu jalan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan kadar kapur Maruni sebagai filler pada benda uji campuran HRS-WC yang mengalami proses akselerasi penuaan jangka panjang secara laboratorium. Penelitian ini berbentuk eksperimental di laboratorium. Parameter penelitian yaitu penggunaan batu kapur Maruni sebanyak 0%, 25%, 50%, 75% dan 100% dari jumlah filler abu batu. Didapatkan kadar aspal optimum pada 6,50%. Hasil penelitian menunjukkan bahwa hubungan kadar batu kapur dengan nilai kuat tarik tidak langsung adalah $Y_{0 \text{ hari}} = -65,906.X^2 + 337,57.X + 176,74$; $Y_{2 \text{ hari}} = -69,571.X^2 + 355,49.X + 236,27$ dan $Y_{4 \text{ hari}} = -90,476.X^2 - 590,19.X + 1542$. Dimana $Y_{0 \text{ hari}}$ = kuat tarik tidak langsung tanpa proses penuaan ($\times 10^{-3}$ MPa); $Y_{2 \text{ hari}}$ = kuat tarik tidak langsung dengan proses penuaan 2 hari ($\times 10^{-3}$ MPa); $Y_{4 \text{ hari}}$ = kuat tarik tidak langsung dengan proses penuaan 4 hari ($\times 10^{-3}$ MPa) dan X = kadar batu kapur (%).

Kata kunci : Kapur Maruni, Filler, HRS-WC, Kuat tarik tidak langsung

ABSTRACT

MAYSON WELBI IROTH. Influence of Aging on Indirect Tensile Strength HRS-WC Mixture Containing Maruni Lime as Filler (supervised by **H. M. Wihardi Tjaronge** and **H. Mubassirang Pasra**).

Manokwari is one of the regions in Papua which has large quantities of limestone, which is found in Maruni village. To achieve the planned age of road pavement, it is necessary to have quality and quality of materials that meet the specified requirements. Vehicle loads that pass will cause tensile stress at the bottom to the middle of the layer of a road. This study aims to analyze the relationship between the value of indirect tensile strength and the lime content of Maruni as a filler in the HRS-WC mixed specimens undergoing long-term accelerated aging in the laboratory. This research is experimental in the laboratory. The research parameters are the use of Maruni limestone as much as 0%, 25%, 50%, 75% and 100% of the amount of rock ash filler. The optimum asphalt level was obtained at 6.50%. The results showed that the relationship of limestone content with the value of indirect tensile strength was $Y_0 \text{ days} = -65,906.X^2 + 337,57.X + 176,74$; $Y_2 \text{ days} = -69,571.X^2 + 355,49.X + 236,27$ and $Y_4 \text{ days} = -90,476.X^2 - 590,19.X + 1542$. Where $Y_0 \text{ days}$ = indirect tensile strength without aging process ($\times 10^{-3}$ MPa); $Y_2 \text{ days}$ = indirect tensile strength with 2 days aging process ($\times 10^{-3}$ MPa); $Y_4 \text{ days}$ = indirect tensile strength with 4 days aging process ($\times 10^{-3}$ MPa) and X = limestone content (%).

Keywords : Maruni Lime, Filler, HRS-WC, Indirect tensile strength

DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xv
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	5
D. Batasan Masalah	6
E. Manfaat Penelitian	6
F. Sistematika Penulisan	7
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Penuaan Pada Campuran Beraspal	10
B. Penuaan Aspal (<i>Asphalt Aging</i>)	12
C. Aspal Buton	15
D. Konsep Campuran Aspal Buton Modifikasi dan Respon Perkerasan Akibat Pembebanan	23

E. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC.....	27
F. Difraksi Sinar-X.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	39
B. Rancangan Uji	42
C. Pengujian Karakteristik Campuran Lataston Jenis HRS-WC.	48
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Karakteristik Material.....	53
B. Penentuan Gradasi Campuran.....	61
C. Rancangan dan Komposisi Campuran HRS-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan	64
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dengan Metode Marshall	65
E. Karakteristik Marshall Campuran HRS-WC Pada Kadar Aspal Optimum	76
F. Hasil Pengujian Volumetrik Campuran HRS-WC Variasi Batu Kapur (Kapur Maruni) Sebagai Filler Dengan Proses Akselerasi Penuaan Secara Laboratorium	77
G. Hasil Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC Variasi Batu Kapur Sebagai Filler Dengan Proses Akselerasi Penuaan Secara Laboratorium	85

H. Hasil Pengujian XRD Campuran HRS-WC Variasi	
Penambahan Batu Kapur Sebagai Filler	110
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	113
B. Saran	114
DAFTAR PUSTAKA	115

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Tipikal Hasil Analisa Kimia Bitumen Asbuton dan Aspal Minyak Menurut Puslitbang	17
2.	Jenis Asbuton Butir yang Telah Diproduksi	19
3.	Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung	28
4.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	44
5.	Metode Pengujian Karakteristik Asbuton Modifikasi	45
6.	Metode Pengujian Karakteristik Batu Kapur CaCO ₃	45
7.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO	47
8.	Matriks Jumlah Benda Uji Menggunakan Filler Batu Kapur	47
9.	Matriks Jumlah Benda Uji Menggunakan Filler dari Batu Kapur	48
10.	Karakteristik Fisik Agregat Kasar	54
11.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	54
12.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Abu Batu)	55
13.	Hasil Pemeriksaan Filler (Kapur Maruni)	55
14.	Karakteristik Kimia Filler Batu Kapur Maruni (Hasil Uji XRF)	57
15.	Karakteristik Kimia Filler Abu Batu (Hasil Uji XRF)	57
16.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi	58
17.	Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi (Hasil Uji XRF)	59
18.	Kombinasi Design Mix Formula HRS-WC	63

19.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 Gram Benda Uji	65
20.	Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter	66
21.	Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Aspal Panas Menggunakan Asbuton Modifikasi	75
22.	Parameter Marshall Pada Kadar Aspal Optimum 6,50%	76
23.	Nilai Volumetrik Campuran Penggunaan Filler Batu Kapur Tanpa Proses Penuaan	78
24.	Nilai Volumetrik Campuran Penggunaan Filler Batu Kapur Dengan Proses Penuaan Selama 2 Hari Suhu 85°C	79
25.	Nilai Volumetrik Campuran Penggunaan Filler Batu Kapur Dengan Proses Penuaan Selama 4 Hari Suhu 85°C	80
26.	Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Tanpa Filler Batu Kapur	101
27.	Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Dengan 25% Filler Batu Kapur	102
28.	Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Dengan 50% Filler Batu Kapur	103
29.	Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Dengan 75% Filler Batu Kapur	104
30.	Rekapitulasi Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Dengan 100% Filler Batu Kapur	105

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Pulau Buton	16
2.	Alur Proses Pembuatan Asbuton Modifikasi Blend 55 Secara Pabrikasi	22
3.	Kinerja Perkerasan Lentur	23
4.	Sistem Perkerasan Dua Lapis	25
5.	Distribusi Tegangan dan Tekanan.....	26
6.	Penjabaran Tegangan-Tegangan.....	26
7.	Indirect Tensile Strength Campuran yang Dimodifikasi	29
8.	Diagram Pembebanan Uji ITS.....	31
9.	Hubungan Regangan Akibat Beban tarik dan Tegangan Tarik.	32
10.	Ilustrasi Asal Hukum Bragg	35
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	36
13.	Ilustrasi Perbedaan Keteraturan Susunan Atom Untuk Partikel Padatan Kristalin, Polikristalin Dan Amorf	37
14.	Diagram Alir Penelitian	41
15.	Lokasi Quarry Pengambilan Material Batu Kapur	43
16.	Benda Uji LTOA	49
17.	Posisi Benda Uji ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	50
18.	Difraktogram Polimer Kristalin	52

19.	Grafik Distribusi Ukuran Butir Kapur Maruni	55
20.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Batu Kapur Maruni	56
21.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Asbuton Modifikasi	60
22.	Gradasi Agregat Gabungan	62
23.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Stabilitas	67
24.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Flow	69
25.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Marshall Quetiont.....	70
26.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VIM	72
27.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VMA	73
28.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VFB.....	74
29.	Nilai VIM Campuran Dengan Menggunakan Batu Kapur Akibat Proses Akselerasi Penuaan	81
30.	Nilai VMA Campuran Dengan Menggunakan Batu Kapur Akibat Proses Akselerasi Penuaan	82
31.	Nilai VFB Campuran Dengan Menggunakan Batu Kapur Akibat Proses Akselerasi Penuaan	83

32. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Penggunaan Batu Kapur Sebagai Filler dan Tidak Diberikan Perlakuan Proses Penuaan 85
33. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Penggunaan Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 2 Hari 87
34. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Tanpa Penggunaan Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 4 Hari 88
35. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 25% Batu Kapur Sebagai Filler dan Tidak Diberikan Perlakuan Proses Penuaan..... 89
36. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 25% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 2 Hari 90
37. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 25% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 4 Hari 91
38. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 50% Batu Kapur Sebagai Filler dan Tidak Diberikan Perlakuan Proses Penuaan..... 93

39. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 50% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 2 Hari 93
40. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 50% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 4 Hari 94
41. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 75% Batu Kapur Sebagai Filler dan Tidak Diberikan Perlakuan Proses Penuaan..... 95
42. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 75% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 2 Hari 96
43. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 75% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 4 Hari 97
44. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 100% Batu Kapur Sebagai Filler dan Tidak Diberikan Perlakuan Proses Penuaan..... 99
45. Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 100% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 2 Hari 99

46.	Hubungan Tegangan dan Regangan Benda Uji Dengan Penggunaan 100% Batu Kapur Sebagai Filler dan Diberikan Perlakuan Proses Penuaan Selama 4 Hari	100
47.	Hubungan Kuat Tarik Tidak Langsung Dengan Kadar Batu Kapur	106
48.	Hubungan Sudut Phase dan Intensitas Pada Variasi Penambahan Filler Batu Kapur	111

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 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

Dalam dunia perkerasan jalan dikenal sistem perkerasan lentur (*Flexibel Pavement*), perkerasan kaku (*Rigid Pavement*) dan perkerasan komposit. Sukanto (Dinas PU Bina Marga Prov. Jawa Timur) dalam tulisannya "Target Umur Rencana Jalan" menyampaikan bahwa konstruksi *flexibel* (lentur) yang banyak menggunakan bahan baku dari bahan dasar aspal curah yang kualitasnya hasilnya kurang begitu baik karena pada siang hari antara jam 12 00 – 15.00 WIB, temperatur cuaca panas pada badan jalan rata-rata mencapai 67°C. Pengaruh sinar ultra violet, sinar matahari mempermudah proses oksidasi sehingga mempercepat pelapukan. Apalagi dengan adanya genangan sisa-sisa air hujan pada badan jalan yang menyebabkan proses *stripping* (pengelupasan) kelekatan aspal pada agregat. Begitu juga akibat beban *overload* kendaraan yang tidak dapat dihindarkan karena tuntutan peningkatan kebutuhan ekonomi masyarakat yang terus meningkat dan harus diterima oleh konstruksi jalan sehingga akan mengakibatkan jalan mudah mengalami kerusakan dini dan menyebabkan target umur rencana jalan kurang bisa terpenuhi.

Agregat merupakan salah satu material konstruksi yang mempunyai peran sangat penting dan digunakan secara luas dalam kegiatan

konstruksi. Dalam lapisan perkerasan jalan, baik perkerasan lentur maupun perkerasan kaku, menggunakan agregat sebagai material penyusun utama. Sebagai material utama penyusun perkerasan, proporsi agregat dalam campuran sebesar 90% - 95% dari berat perkerasan.

Untuk mencapai umur yang direncanakan dari perkerasan jalan, maka diperlukan mutu dan kualitas bahan yang memenuhi persyaratan yang ditentukan. Apabila mutu bahan kurang memenuhi persyaratan yang ditentukan, maka tingkat ketahanan dan keawetan konstruksi menjadi rendah. Kerusakan yang muncul akan menjadi salah satu indikator pertama tidak tercapainya umur rencana yang dikehendaki. Konsekuensi yang ditimbulkan adalah tingginya biaya untuk memelihara atau memperbaiki konstruksi tersebut.

Dalam upaya mendorong percepatan pembangunan infrastruktur daerah di Papua dan Papua Barat khususnya Kabupaten Manokwari, Pemerintah daerah diperhadapkan dengan permasalahan tingginya harga satuan biaya pembangunan jalan salah satunya akibat material agregat halus khususnya filler hasil olahan stone crusher di manokwari yang digunakan dalam campuran aspal panas tidak mencukupi syarat minimal dalam spesifikasi sehingga harus didatangkan dari luar daerah Kabupaten Manokwari bahkan semen yang dijadikan filler. Kapur merupakan salah satu material yang sangat melimpah di kabupaten Manokwari yang lokasinya berada di kampung Maruni distrik Manokwari Selatan dan selama ini belum dimanfaatkan secara maksimal, dimana selama ini

masih sebatas untuk pembuatan batu bata atau batako dan sebagai timbunan.

Berdasarkan pertimbangan-pertimbangan tersebut, maka menjadi suatu tantangan bagi peneliti untuk mencari solusi bagaimana merumuskan penggunaan material lokal khususnya kapur sebagai filler dalam suatu campuran beraspal panas sehingga kinerja campuran beraspal yang dihasilkan sesuai dengan kondisi beban lalu lintas, tingkat keperluan, lingkungan setempat dan syarat teknis lainnya.

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

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 penuaan aspal merupakan salah satu penyebab berkurangnya umur konstruksi jalan. Selain itu, pemanfaatan material lokal juga terus dilakukan seperti pemanfaatan kapur Maruni sebagai bahan pengisi (*filler*) dalam campuran beraspal panas khususnya jenis aspal *Hot Roller Seet* (HRS -WC). Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran aspal yang menggunakan kapur Maruni sebagai bahan pengisi (*filler*), sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Pengaruh Penuaan Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran HRS-WC yang Mengandung Kapur Maruni Sebagai Filler”**.

B. Rumusan Masalah

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

1. Bagaimana nilai kadar aspal optimum campuran HRS-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dan kapur Maruni sebagai filler ?.

2. Bagaimana hubungan tegangan dan regangan campuran HRS-WC yang menggunakan kapur Maruni sebagai filler akibat proses akselerasi penuaan jangka panjang secara laboratorium ?.
3. Bagaimana hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan kadar kapur Maruni sebagai filler pada benda uji campuran HRS-WC yang mengalami proses akselerasi penuaan jangka panjang secara laboratorium ?.

C. Tujuan Penelitian

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

1. Menganalisis nilai kadar aspal optimum campuran HRS-WC yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dan kapur Maruni sebagai filler.
2. Menganalisis hubungan tegangan dan regangan campuran HRS-WC yang menggunakan kapur Maruni sebagai filler akibat proses akselerasi penuaan jangka panjang secara laboratorium.
3. Menganalisis hubungan nilai kuat tarik tidak langsung dengan kadar kapur Maruni sebagai filler pada benda uji campuran HRS-WC yang mengalami proses akselerasi penuaan jangka panjang secara laboratorium.

D. Batasan Masalah

Permasalahan penuaan dan material lokal pada campuran HRS-WC sehingga perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga fokus penelitian ini adalah :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 merupakan bahan pengikat yang digunakan dalam penelitian ini dan diperoleh dari salah satu produsen Asbuton modifikasi di Indonesia.
3. Penelitian laboratorium yang mengacu pada spesifikasi umum pekerjaan jalan oleh Bina Marga tahun 2010 revisi III.
4. Campuran HRS-WC yang dihasilkan, dilakukan pengujian kuat tarik belah.
5. Benda uji jenis campuran HRS-WC 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.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dari hasil penelitian ini adalah :

1. Akan diperoleh rujukan untuk mengetahui sifat teknis agregat dari Kabupaten Manokwari. Disamping itu akan diketahui karakteristik kuat tarik belah.

2. Mendorong perekonomian dalam penggunaan material lokal Kabupaten Manokwari kepada penyedia jasa kontruksi jalan yang memanfaatkannya.
3. Sebagai bahan informasi dan referensi bagi para peneliti yang ingin melakukan penelitian lebih lanjut.
4. Dapat memprediksi penurunan nilai kuat tarik tidak langsung yang disebabkan oleh proses penuaan 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 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 Material Lokal Sebagai Bahan Perkerasan Jalan

Di Papua dan Papua Barat jalan raya sebagai salah satu transportasi darat belum memadai menjadikan jalur udara sebagai andalan untuk pengangkutan orang dan barang, termasuk berbagai kebutuhan pokok di Papua. Dalam kacamata ekonomi, hal tersebut menyebabkan mahalnya biaya distribusi, yang berarti secara otomatis juga menaikkan harga berbagai barang kebutuhan pokok tersebut, terutama di pedalaman Papua. Upaya untuk menurunkan biaya distribusi dari satu kabupaten ke kabupaten lain di wilayah Papua terus dilakukan pemerintah Indonesia melalui pembangunan infrastruktur jalan raya Trans-Papua dan Trans Papua Barat.

Dalam rangka pembangunan infrastruktur jalan tersebut, ada beberapa persoalan yang sering menjadi hambatan. Salah satunya adalah tidak tersedianya material lokal di daerah-daerah tertentu sesuai spesifikasi yang dipersyaratkan, misalnya wilayah Papua Barat bagian barat laut seperti Kabupaten Raja Ampat dan sekitarnya serta Papua Barat bagian Selatan seperti kabupaten Kaimana dan sekitarnya, dimana tidak terdapat material yang baik untuk dipergunakan sebagai material jalan (pasir, batu dan agregat berbutir). Oleh karena itu, untuk memenuhinya harus didatangkan dari luar Kabupaten di Papua Barat

bahkan dari luar pulau Papua seperti dari Sulawesi. Alternatif lain yang bisa dilakukan adalah dengan memanfaatkan material lokal yang ada di Manokwari sehingga paling tidak bisa mendekati standar perkerasan jalan yang ada. Selain itu, dengan memanfaatkan material lokal yang ada dapat menjadi referensi bagi pemerintah daerah untuk digunakan sebagai bahan perkerasan jalan tanpa didatangkan dari luar daerah.

Kabupaten Manokwari salah satu daerah di Papua Barat yang mempunyai sumber material yang sangat melimpah namun dalam pengolahan secara mekanis di stone crusher setelah kami amati ada permasalahan yang terjadi dimana agregat halus (filler) sebagai bahan pengisi dalam campuran beraspal panas khususnya HRS tidak mencukupi jumlah minimum yang dipersyaratkan dalam spesifikasi sehingga harus ditambahkan dengan semen Portland.

Dengan permasalahan di atas peneliti ingin menindak lanjuti bagaimana jika kekurangan atau ketimpangan tersebut diganti dengan kapur lokal guna memanfaatkan material lokal, dalam hal ini diperlukan penelitian yang bersifat inovatif dan aplikatif agar hasil penelitian benar-benar dapat bermanfaat untuk mengatasi masalah yang ada. Paling tidak bisa memperkecil cost dibandingkan bila harus didatangkan dari luar Manokwari apalagi penggunaan semen portland. Batu karang (kapur) secara geologis disebut batu domato (batu lunak) yang merupakan batuan sedimen kimiawi yang terbentuk dari bahan-bahan organik. (Hendarsin, 2002). Kelompok batu karang terbagi atas kelompok Detrital, yaitu

diklasifikasikan oleh ukuran butir seperti konglomerat, batu pasir, batu lanau dan serpih, terbagi atas batuan arenaceous lebih dominan pasir dan batuan argillaceous lebih dominan lempungan dan kelompok Non Detrital, yaitu batuan sedimen kimiawi (antara lain garam batuan) terkomposisi oleh sebagian besar endapan-endapan dari pelarutan, serta biasanya memiliki tekstur kristalin. Sebagian besar wilayah Papua dan Papua Barat adalah daerah karts/daerah kapur dimana ketersediaannya sangat melimpah dan hampir terdapat di setiap daerah. Penggunaan yang umum oleh masyarakat adalah di Provinsi Papua adalah untuk batu bata yang dicetak menjadi batako, material timbunan dan pembangunan jalan. Secara khusus pada pembangunan jalan, material batu kapur banyak digunakan sebagai timbunan pilihan.

B. Penuaan Aspal (*Asphalt Aging*)

Penyebab kerusakan konstruksi jalan raya antara lain menurunnya daya dukung jalan akibat proses penuaan campuran beton aspal. Proses pemanasan saat pencampuran di *Asphalt Mixing Plant* (AMP), pengangkutan, pemadatan dan selama masa layanan konstruksi jalan tersebut mengakibatkan proses penuaan yang dinyatakan dengan fenomena pengerasan (*hardening*). Dua pengertian lain yang sering digunakan, yaitu; umur pengerasan (*age hardening*) dan pelapukan (*embrittlement*) (Elvik R, dkk, 2005).

Hal ini disebabkan menguapnya bagian cair dari aspal karena adanya pemanasan sehingga aspal menjadi getas dan daya rekatnya menurun. Pengaruh fleksibilitas dan pelekatan aspal ini menyebabkan jalan mudah rusak saat menerima beban lalu lintas berat akibat menurunnya fleksibilitas dan daya lekat aspal.

Dua faktor utama penyebabnya, yang pertama 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*) (Yamin A Y, Aschuri I, 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.

Pelapukan yang terbesar terjadi pada saat pemanasan aspal dan pemcampuran 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 Tj W, 2008).

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 direndam selama 4 hari, stabilitasnya 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 S., dkk., 2012).

Proses pemanasan benda uji pada temperatur 135°C selama 4 jam untuk mensimulasikan penuaan jangka pendek disebut *Short Term Oven Aging* (STOA). Sedangkan pemanasan benda uji pada temperatur 85°C selama 5 hari, mensimulasikan penuaan jangka panjang disebut *Long Term Oven Aging* (LTOA).

Kliwer dkk (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 24 jam pada temperatur 135°C sebelum dipadatkan. Sedangkan untuk mensimulasikan pelapukan jangka panjang di laboratorium dilakukan dengan memanaskan

benda uji beton aspal padat pada temperatur 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 S, dkk., 2012).

C. Aspal 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. Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia, yaitu di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk padat 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). Asbuton memiliki deposit sekitar 677 juta ton atau setara dengan 170 juta ton aspal minyak. Asbuton merupakan deposit aspal alam terbesar di dunia.

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.

Terdapat dua jenis unsur utama dalam Asbuton, yaitu aspal (bitumen) dan mineral. Pemanfaatan unsur ini dalam pekerjaan

pengaspalan akan mempengaruhi kinerja perkerasan aspal yang direncanakan.

Pada saat ini teknologi Asbuton telah berkembang pesat meliputi asbuton butir, asbuton pra-campur dan asbuton ekstraksi. Hasil kajian terhadap uji skala penuh di Kolaka Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa asbuton mempunyai kemampuan dapat mensubsitusi aspal minyak serta dapat memperbaiki kinerja campuran beraspal.



Gambar 1. Pulau Buton

Kadar bitumen dalam Asbuton bervariasi dari 10% sampai 40%. Pada beberapa lokasi ada pula Asbuton dengan kadar bitumen sampai 90%. Bitumen asbuton memiliki kekerasan yang bervariasi. Asbuton dari Kabungka umumnya memiliki bitumen dengan nilai penetrasi di bawah 10 dmm sedangkan Asbuton dari Lawele umumnya memiliki bitumen dengan nilai penetrasi di atas 130 dmm dan mengandung minyak ringan sampai

7%. Apabila minyak ringan pada Asbuton Lawele diuapkan, nilai penetrasi bitumen turun hingga dibawah 40 dmm. Dilihat dari komposisi senyawa kimia, bitumen Asbuton relatif memiliki senyawa nitrogen yang lebih tinggi dan senyawa parafin yang lebih rendah dibanding aspal minyak sehingga dibandingkan aspal minyak maka dimungkinkan daya lekat bitumen Asbuton relatif lebih baik. Kecenderungan komposisi kimia bitumen Asbuton dan aspal minyak disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Tipikal hasil analisa kimia bitumen Asbuton dan aspal minyak menurut Puslitbang

No.	Jenis Pengujian	Bitumen Asbuton	Aspal Minyak
1	Asphaltene, %	51,32	21,71
	Malthene, %	5,61	1,29
2	· Nitrogen bases (N)	26,67	29,77
	· Acidaffis I (AI)	11,77	31,12
	· Paraffins (P)	4,61	16,10
3	N/P	1,27	0,08
	Parameter komposisi		
4	malthene	1,97	0,66
	$A(N+AI)/(AI+P)$		

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2007)

Mineral Asbuton didominasi oleh “*Globigerines limestone*” yaitu batu kapur yang sangat halus yang terbentuk dari jasad renik binatang purba foraminifera mikro yang mempunyai sifat sangat halus, relatif keras, berkadar kalsium karbonat tinggi dan baik sebagai *filler* pada beton aspal.

Namun dalam Asbuton, mineral dapat dianggap sebagai gumpalan-gumpalan *filler* yang membentuk butiran besar dan poros yang tidak mudah dihaluskan menjadi filler tetapi juga tidak cukup keras untuk dianggap sebagai butiran agregat. Kendala yang dapat ditimbulkan oleh keadaan seperti ini, sebagaimana yang terjadi pada campuran Asbuton yang digunakan di era tahun 80-an yang dikenal dengan campuran Lasbutag, yaitu mineral Asbuton yang pada awal pencampuran berupa butiran besar berubah menjadi kantong-kantong butiran yang lebih halus (*filler*) setelah mengalami masa pelayanan. Atau kasus lain, di lapangan sering kali ditemui campuran lasbutag yang pada awal penghamparan tampak cukup baik namun terjadi *bleeding* setelah masa pelayanan tertentu. Hal ini dapat disebabkan oleh mineral Asbuton, yang pada awalnya berupa butiran besar/kasar dan poros, menyerap bahan peremaja tetapi kemudian setelah masa pelayanan tersebut berubah menjadi butiran-butiran halus dengan melepas bahan peremaja yang diserapnya dan campuran menjadi lebih padat sehingga aspal terdesak keluar. Dilihat dari komposisi kimianya, bitumen Asbuton memiliki senyawa nitrogen base yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa bitumen Asbuton memiliki pelekatan yang baik dan. Namun dilihat dari karakteristik lainnya, bitumen Asbuton memiliki nilai penetrasi yang rendah dan getas. Agar Asbuton dapat dimanfaatkan di bidang perkerasan jalan maka pada prinsipnya bitumen harus diusahakan sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik mendekati karakteristik aspal minyak (aspal keras)

untuk perkerasan jalan. Untuk maksud tersebut maka diperlukan bahan peremaja yang dapat membuat bitumen Asbuton memiliki karakteristik seperti yang disyaratkan untuk aspal minyak secara permanen.

Jenis Asbuton yang telah diproduksi secara fabrikasi dan manual dalam tahun-tahun belakangan ini adalah :

a. Asbuton Butir

Jenis Asbuton berdasarkan besar butir dan kadar aspal yang dikandungnya (Hermadi M, 2013).

Tabel 2. Jenis Asbuton butir yang telah diproduksi

Uraian	Jenis Asbuton/merk produksi						Satuan
	Konv.*)	Halus.*)	Mikro.*)	BRA	BGA	LGA	
Kadar aspal	13-20	20	25	20	20-25	25-40	%
Kadar air	>6	6	2	<2	<2	<2	%
Ukuran butir maks.	12.5	4.75	2.36	1.18	1.18	9	mm
Kemasan	Curah	ktg	ktg	krng	krng	krng	-

*) tahun 2004 sudah tidak diproduksi lagi

b. Asbuton Murni Full Ekstraksi

Asbuton jenis ini merupakan bitumen murni hasil ekstraksi asbuton menggunakan beberapa cara, antara lain dengan bahan pelarut atau cara lain seperti menggunakan teknologi air panas. Asbuton murni hasil

ekstraksi dapat digunakan langsung sebagai pengganti aspal keras atau sebagai bahan aditif yang akan memperbaiki karakteristik aspal keras. Mineral asbuton merupakan limbah dari proses ekstraksi. Selain dapat dimanfaatkan sebagai filter dapat juga digunakan sebagai bahan stabilisasi tanah (Hermadi M., 2013).

c. Asbuton Pra Campur (*pre-blended*)

Asbuton pra campur (*pre-blended*) merupakan gabungan antara Asbuton butir hasil *refine* Asbuton dengan kadar bitumen 60% sampai 90% dengan aspal minyak pen 60 dalam komposisi tertentu. Asbuton jenis ini dapat dikatakan sebagai aspal minyak yang dimodifikasi, sehingga dalam campuran dapat langsung digunakan untuk dicampur dengan agregat.

Ekstraksi Asbuton dapat dilakukan secara total hingga mendapatkan bitumen Asbuton murni hasil ekstraksi yang telah berpisah antara bitumen dan mineralnya atau untuk memanfaatkan keunggulan mineral asbuton sebagai *filler*, ekstraksi dilakukan hingga mencapai kadar bitumen tertentu sesuai kadar bitumen yang diharapkan. Produk ekstraksi asbuton dalam campuran beraspal dapat digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) aspal, bahan substitusi aspal minyak atau sebagai bahan pengikat sebagaimana halnya aspal standar siap pakai atau setara aspal keras. Teknologi yang saat ini sedang dikembangkan adalah teknologi Asbuton ekstraksi. Bitumen murni diperoleh dari hasil ekstraksi asbuton dengan metilen-klorida sebagai pelarut atau minyak tanah atau pelarut lainnya.

Penggunaan Asbuton murni yang karakteristiknya sudah standar seperti aspal minyak, adalah sebagai substitusi aspal minyak sampai 100% (Nyoman Suaryana, 2008).

1. Sumber aspal (bitumen)

a) Aspal (bitumen) hasil destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara destilasi, yakni suatu proses dimana berbagai dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi disertai oleh kenaikan temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Aspal (bitumen) hasil destilasi ini yang kemudian dalam penggunaannya yang berbeda beda sehingga bitumen ini diklasifikasikan lagi menjadi ; (1) aspal keras yang digunakan untuk campuran *Hot-Mix*, (2) aspal (bitumen) cair untuk peruntukan lapis perekat dan lapis resap, dan (3) aspal emulsi yang diperuntukkan sebagai lapis perekat dan resap serta sebagai perekat dalam campuran *Cold-Mix*.

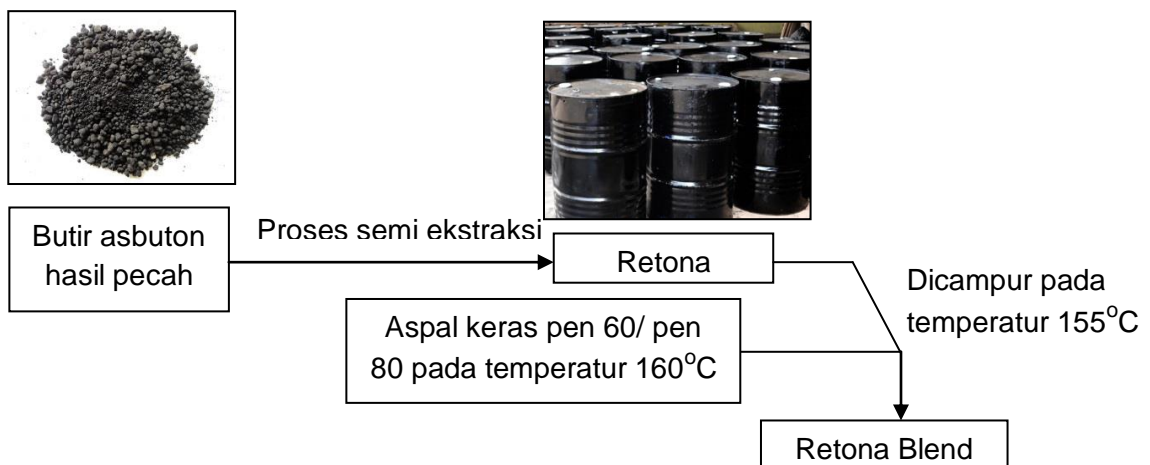
b) Aspal (bitumen) alam

Aspal (bitumen) alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat pada campuran aspal. Sehingga berdasarkan depositnya dapat dikelompokkan kedalam dua kelompok, yakni aspal (bitumen) danau dan aspal (bitumen) batu. Aspal (bitumen) danau secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela. Dan aspal (bitumen) batu secara alamiah terdapat di Kentucky dan Buton-Indonesia. Aspal (bitumen) dari deposit ini terbentuk dalam celah celah batuan kapur dan batuan pasir.

c) Aspal (bitumen) modifikasi

Aspal (bitumen) ini dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. Bahan tambah dimaksud adalah polymer yang saat ini banyak digunakan. Sehingga aspal (bitumen) modifikasi sering juga disebut sebagai aspal (bitumen) polymer.

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 didalam tangki aspal AMP dengan atau tanpa tambahan aspal minyak lagi untuk dipompa ke dalam *pugmill* yang berisi agregat (Soehartono, 2015). Spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10%.



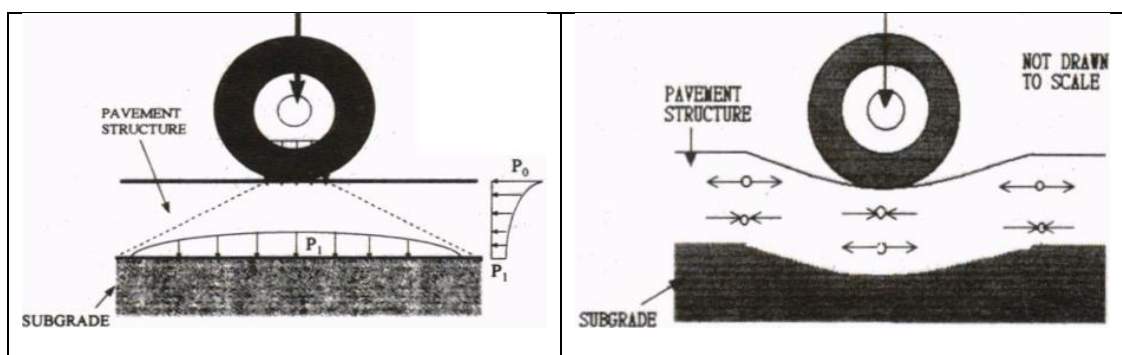
Gambar 2. Alur proses pembuatan Asbuton modifikasi Blend 55 secara pabrikasi

Pada penelian ini kami 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 bagan alir pada Gambar 2.

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.



Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur

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.

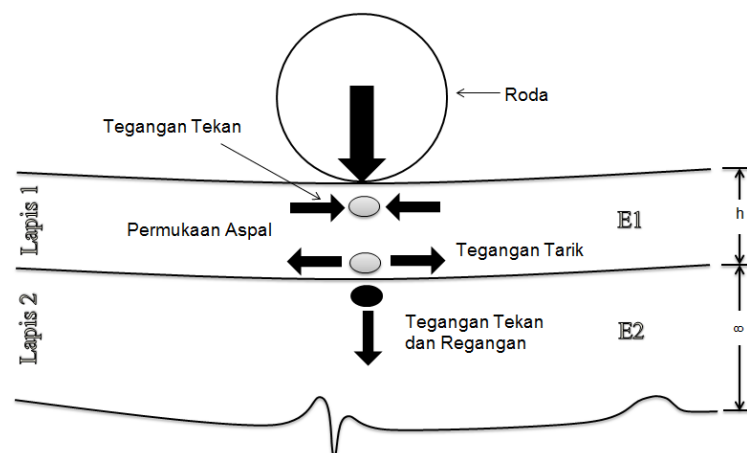
Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (*top-layer*) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai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

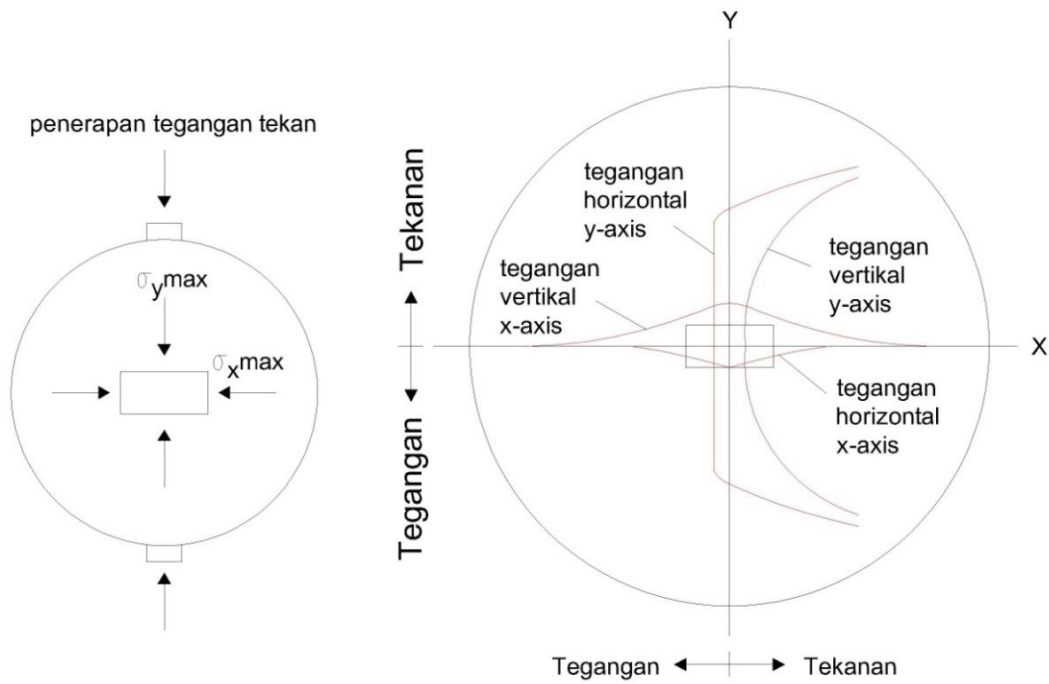
Gambar 4 memperlihatkan sistem perkerasan jalan dengan sistem dua lapis dengan distribusi tegangan dan regangan pada perkerasan jalan yang ditinjau. Untuk sistem perkerasan *multi-layer*, penyederhanaan pada lapisan atas dan karakterisasi dari lapisan-lapisan dalam menahan beban yang ada pada perkerasan 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 E1 serta E2 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 ($\sigma_x = \max$).

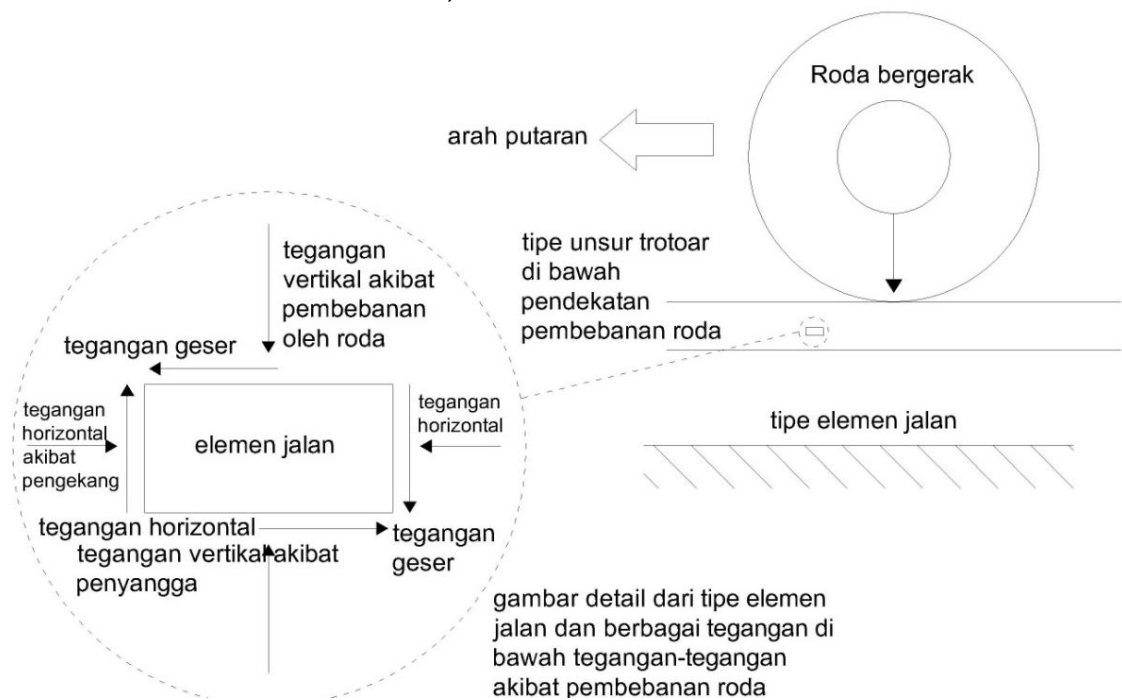
Selain itu, tegangan dan tekanan saling melawan sehingga besarnya tekanan sama dengan besarnya tegangan yang terjadi baik tegangan horizontal (y-axis) dan tegangan vertikal (x-axis). Distribusi tegangan dan tekanan yang terjadi pada perkerasan jalan ini dapat disebabkan oleh beban lalu lintas maupun beban roda kendaraan yang berulang. Gambar 6 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan.



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



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



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 HRS-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 dilakukan karena tidak memungkinkan 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.

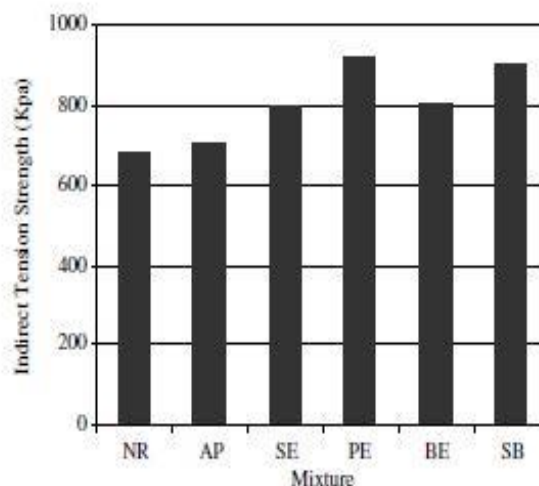
Tabel 3. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung

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

ditunjukkan pada Tabel 3. 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 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.

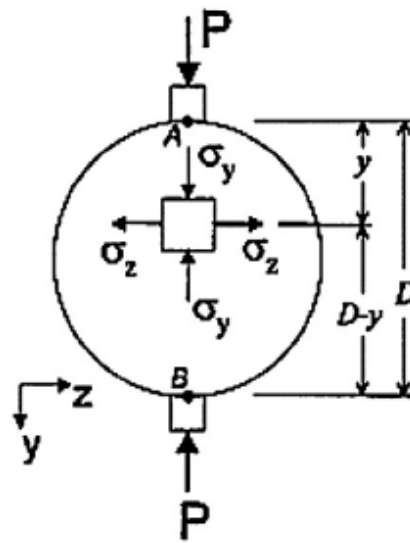
Abu *et al* (1997) mengatakan benda uji akan ditekan sampai pada beban maksimum, beban tekan didistribusikan dengan menggunakan beban strip yang diletakkan pada permukaan lingkaran benda uji, beban tekan dilaksanakan sampai pada tingkat benda uji mengalami kegagalan.

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 :

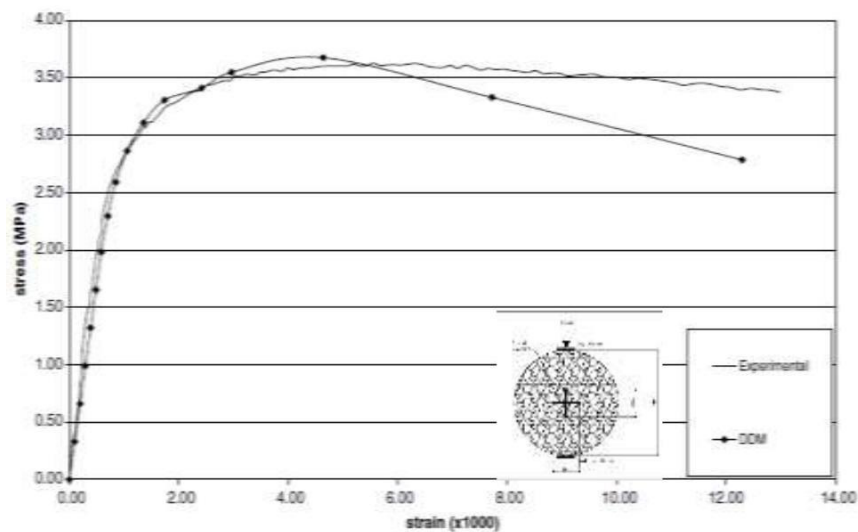
ITS = kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

P_{max} = beban maksimum (kN)

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 kerentanan 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 ITS maka campuran aspal semakin tahan terhadap air begitupun sebaliknya campuran aspal dengan ITS 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 ± 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 sebesar 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.

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 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.

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

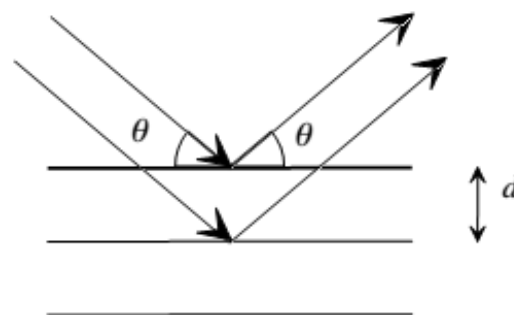
Keterangan :

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

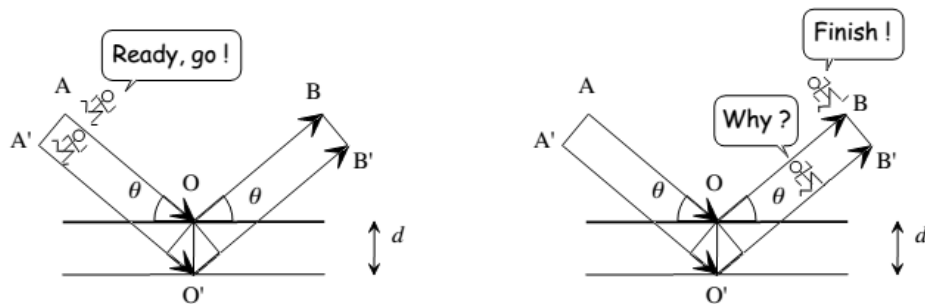
Ilustrasi dari kejadian difraksi bisa dilihat dan di pahami dari Gambar 10, Gambar 11 dan Gambar 12.



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

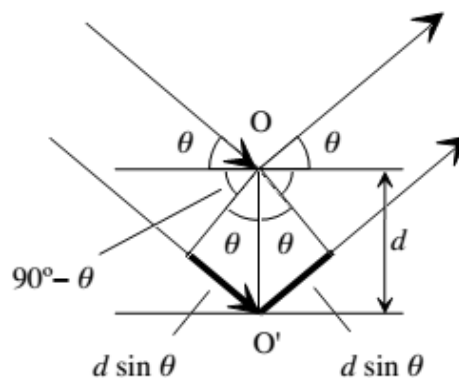
Perlu diperhatikan perbedaan garis jarak pada ilustrasi diatas yang dimana poin penting dari hukum Bragg adalah dapat di jelaskan dengan interferensi konstruktif. Ilustrasi perbedaan garis jarak akan memudahkan kita untuk memahami hukum Bragg.

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 .



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.

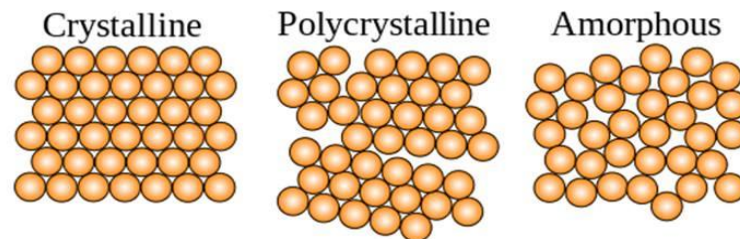


Gambar 12. Hubungan antara garis jarak, d dan θ (Mote *et al.*, 2012)

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 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.



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 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 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.