

TESIS

**PENGARUH SUHU PERENDAMAN TERHADAP NILAI KUAT
TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG
MENGUNAKAN BATU SAKARTEMEN SEBAGAI
AGREGAT KASAR**

**EFFECT OF TEMPERATURE SOAKED ON THE INDIRECT
TENSILE STRENGTH OF AC-WC MIXTURE USING
SAKARTEMEN STONE AS COARSE AGGREGATE**

MANAHAM B. P. MANIK

D012 18 1 037



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

2021


TESIS

PENGARUH SUHU PERENDAMAN TERHADAP NILAI KUAT TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGGUNAKAN BATU SAKARTEMEN SEBAGAI AGREGAT KASAR

Disusun dan diajukan oleh
MANAHAM B. P. MANIK
Nomor Pokok D012181037

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 28 Desember 2020
dan dinyatakan telah memenuhi syarat

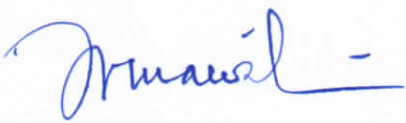
Menyetujui
Komisi Penasehat


Prof. Dr. Ir. H. M. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng
Ketua


Dr. Ir. H. Mubassirang Pasra, MT
Sekretaris

Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin


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


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : MANAHAM B. P. MANIK

Nomor mahasiswa : D012181037

Program studi : S2 Teknik Sipil

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa tesis/disertasi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambilalihan tulisan atau pemikiran orang lain. Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa sebagian atau keseluruhan tesis/disertasi ini hasil karya orang lain, saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Makassar, 03 Februari 2021

Yang menyatakan



Manaham B. P. Manik

KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni ***“Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Menggunakan Batu Sakartemen Sebagai Agregat Kasar”*** 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. Ir. 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 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, Februari 2021

Manahan B. P. Manik

ABSTRAK

MANAHAN B. P. MANIK. Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Menggunakan Batu Sakartemen Sebagai Agregat Kasar (dibimbing oleh **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **H. Mubassirang Pasra**).

Modulus campuran aspal yang berkorelasi dengan sifat mekanik yakni kuat tarik tidak langsung dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya temperatur, tipe aspal, variasi kadar aspal, gradasi dan variasi pemadatan. Berdasarkan Spesifikasi Umum Bina Marga 2010, Revisi-3, agregat yang ada di Kabupaten Fak-Fak (agregat lokal) umumnya dikategorikan sebagai agregat substandar. Untuk menekan biaya pembangunan di kabupaten ini penggunaan agregat substandar, yang secara lokal dikenal dengan nama batu Sakartemen, perlu dioptimalkan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh suhu perendaman yang divariasikan terhadap nilai hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan batu Sakartemen sebagai agregat kasar. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental murni di laboratorium yang terdiri dari pengujian kuat tarik tidak langsung. Variasi suhu perendaman air yang diberikan adalah 20°C, 40°C, 60°C, 80°C dan 100°C. Benda uji yang digunakan adalah benda uji hasil pengambilan benda uji inti (*core drill*) di lapangan. Diperoleh kadar aspal optimum pada 6,10% dengan menggunakan batu Sakartemen sebagai agregat dan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rata-rata nilai kuat tarik tidak langsung pada benda uji yang mengalami proses perendaman air pada suhu 20°C adalah sebesar 0,780 MPa sedangkan rata-rata nilai kuat tarik tidak langsung pada benda uji yang mengalami proses perendaman air secara laboratorium pada suhu 40°C, 60°C, 80°C dan 100°C adalah masing-masing sebesar 0,680 MPa, 0,550 MPa, 0,480 MPa dan 0,420 MPa. Penurunan nilai kuat tarik tidak langsung yang terjadi pada benda uji dengan perendaman air pada suhu 40°C, 60°C, 80°C dan 100°C adalah masing-masing sebesar 14,70%, 41,81%, 62,50% dan 85,71% dari benda uji dengan perendaman air pada suhu 20°C.

Kata kunci : Suhu perendaman, Batu Sakartemen, Kuat tarik tidak langsung, Campuran AC-WC



ABSTRACT

MANAHAN B. P. MANIK. Effect of Temperature Soaked on The Indirect Tensile Strength of AC-WC Mixture Using Sakartemen Stone As Coarse Aggregate (supervised by **H. M. Wihardi Tjaronge** and **H. Mubassirang Pasra**).

Modulus of asphalt mixture which correlates with mechanical properties ie tensile strength is not directly influenced by many factors, including temperature, asphalt type, asphalt content variation, gradation and compaction variation. Based on the 2010 Bina Marga General Specifications, Revision-3, the aggregates in Fak-Fak Regency (local aggregates) are generally categorized as substandard aggregates. To reduce development costs in this district the use of substandard aggregates, locally known as the Sakartemen stone, needs to be optimized. This study aims to analyze the effect of the immersion temperature which is varied to the value of the relationship between stress and strain mixture of AC-WC using the stone of the Sakartment as coarse aggregate. The method used in this study was purely experimental in a laboratory consisting of testing of indirect tensile strength. The variation of water immersion temperature given is 20°C, 40°C, 60°C, 80°C and 100°C. The test specimen used was the test specimen resulting from core test specimens in the field. The optimum asphalt content was obtained at 6.10% using the Sakartemen stone as aggregate and Asbuton modification as a binder. The results showed that the average value of indirect tensile strength on specimens undergoing water immersion at a temperature of 20°C is 0.780 MPa while the average value of indirect tensile strength on specimens undergoing water immersion in a laboratory at 40°C, 60°C, 80°C and 100°C are 0.680 MPa, 0.550 MPa, 0.480 MPa and 0.420 MPa, respectively. The decrease in the value of the indirect tensile strength that occurs in specimens with water immersion at temperatures of 40°C, 60°C, 80°C and 100°C are respectively 14.70%, 41.81%, 62.50% and 85.71% of the specimens by soaking water at a temperature of 20°C.

Keywords : Temperature soaked, Sakartemen stone, Indirect tensile strength, AC-WC mixture



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	7
C. Tujuan Penelitian	7
D. Batasan Masalah	7
E. Manfaat Penelitian	8
F. Sistematika Penulisan	9
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Temperatur Pada Perkerasan Jalan di Indonesia	11
B. Agregat Substandar	15
C. Asbuton Modifikasi (Asbuton Semi Ekstraksi)	16
D. Respon Perkerasan Akibat Pembebanan	21
E. Pengaruh Temperatur Terhadap Perkerasan	25

F. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung.....	27
G. Difraksi Sinar-X.....	34
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi dan Waktu Penelitian	39
B. Rancangan Uji	44
C. Jumlah Benda Uji.....	50
D. Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC.....	51
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Pengujian Karakteristik Material.....	56
B. Penentuan Gradasi Campuran.....	66
C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan.	68
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Dengan Metode Marshall.	69
E. Karakteristik Marshall Campuran AC-WC Pada Kadar Aspal Optimum	80
F. Hasil Pengujian Volumetrik Campuran Akibat Suhu Perendaman.	82
G. Kuat Tarik Campuran Aspal Variasi Suhu Perendaman.	85
H. Komposisi Senyawa Kimia Campuran Aspal Variasi Suhu Perendaman.	96

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan.....	100
B. Saran	101
DAFTAR PUSTAKA	102

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Persyaratan Aspal Dimodifikasi dengan Aspal Alam	17
2.	Penelitian Terdahulu Kuat Tarik Tidak Langsung	28
3.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	45
4.	Standar-Standar Pengujian Karakteristik Semen	46
5.	Metode Pengujian Karakteristik Asbuton Modifikasi	47
6.	Gradasi Agregat Gabungan Laston	49
7.	Matriks Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan KAO	50
8.	Matriks Jumlah Benda Uji Perendaman Air Variasi Suhu (Benda Uji <i>Core Drill</i>).....	51
9.	Karakteristik Sifat Fisik Agregat Kasar	57
10.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	57
11.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Pasir	58
12.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Semen PCC)	61
13.	Karakteristik Kimia Filler Semen.....	62
14.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi	63
15.	Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi.....	64
16.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 Gram Benda Uji .	69
17.	Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter	70

18.	Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Aspal Panas Menggunakan Asbuton Modifikasi.....	80
19.	Parameter Marshall Pada Kadar Aspal Optimum 6,10%	81
20.	Nilai Volumetrik Campuran Akibat Proses Perendaman Air Dengan Variasi Suhu.....	84
21.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Rata-Rata Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS).....	92

DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Contoh Agregat Dari Beberapa Quarry Fak-fak di Papua Barat	16
2.	Alur Proses Pembuatan Asbuton Modifikasi Blend 55 Secara Pabrikasi	18
3.	Sistem Perkerasan Dua Lapis	23
4.	Distribusi Tegangan dan Tekanan.....	23
5.	Penjabaran Tegangan-Tegangan.....	24
6.	Indirect Tensile Strength Campuran yang Dimodifikasi	29
7.	Diagram Pembebanan Uji ITS.....	31
8.	Hubungan Regangan Akibat Beban tarik dan Tegangan Tarik.	32
9.	Ilustrasi Asal Hukum Bragg	35
10.	Perbedaan Perjalanan Gelombang Ketika Merambat Dari A'O'B' Dengan Perjalanan Gelombang Jika Merambat AOB.....	35
11.	Hubungan Antara Garis Jarak, d dan θ	36
12.	Ilustrasi Perbedaan Keteraturan Susunan Atom Untuk Partikel Padatan Kristalin, Polikristalin Dan Amorf	37
13.	Diagram Alir Penelitian	41
14.	Lokasi Deposit Batu Sakartemen Kabupaten Fak-Fak	43
15.	Batu Sakartemen Kabupaten Fak-Fak	43
16.	Pasir Laut Kabupaten Fak-Fak.....	43
17.	Abu Batu Kabupaten Fak-Fak	44
18.	Pengambilan Benda Uji <i>Core Drill</i> di Lapangan.....	48

19.	Alat Pengujian <i>Marshall</i>	53
20.	Posisi Benda Uji ITS (<i>Indirect Tensile Strength</i>)	54
21.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Material Fak-Fak ..	59
22.	Hubungan Sudut Phase Dengan Intensitas Asbuton Modifikasi	65
23.	Gradasi Agregat Gabungan.....	67
24.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Stabilitas	71
25.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Flow	73
26.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Marshall Quetiont.....	74
27.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VIM	76
28.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VMA	77
29.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VFB.....	79
30.	Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Regangan Benda Uji Dengan Perendaman Air Pada Suhu 20 ⁰ C	86
31.	Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Regangan Benda Uji Dengan Perendaman Air Pada Suhu 40 ⁰ C	88
32.	Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Regangan Benda Uji Dengan Perendaman Air Pada Suhu 60 ⁰ C	89

33.	Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Regangan Benda Uji Dengan Perendaman Air Pada Suhu 80 ⁰ C	90
34.	Hubungan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung dan Regangan Benda Uji Dengan Perendaman Air Pada Suhu 100 ⁰ C	91
35.	Penurunan Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Seluruh Benda Uji	93
36.	Kuat Tarik Tidak Langsung Variasi Seluruh Benda Uji	94
31.	Hubungan Sudut Phase dan Intensitas Pada Variasi Suhu Perendaman Air	97

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

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.

Perkerasan aspal secara umum terdiri dari tiga lapisan utama (Croney dan Croney, 1997) yaitu: lapisan permukaan beraspal (*bituminous surfacing*), lapisan pondasi (*base* atau *road base*) dan lapisan pondasi bawah (*subbase*) yang diletakkan diatas lapisan tanah dasar (*subgrade*). Kekuatan perkerasan aspal ditentukan berdasarkan kualitas bahan yang digunakan dan umumnya diukur dari nilai modulusnya. Banyak faktor yang mempengaruhi modulus bahan perkerasan aspal. Untuk material berbutir tanpa bahan pengikat yang digunakan sebagai bahan lapisan *subbase* dan *base* atau *road base*, salah satu faktor yang paling berpengaruh terhadap kekuatan bahannya adalah kelembabannya (Huang, 2012).

Kelembaban yang berlebihan dapat menyebabkan pengurangan kekuatan lapisan perkerasan dari bahan berbutir tanpa bahan pengikat. Untuk lapisan perkerasan yang menggunakan aspal sebagai bahan pengikat, kekuatan dari lapisan aspal dipengaruhi oleh perubahan iklim atau musim dari suatu wilayah (Huang, 2012).

Modulus campuran aspal yang berkorelasi dengan sifat mekanik yakni kuat tarik tidak langsung dipengaruhi oleh banyak faktor, diantaranya temperatur, tipe aspal, variasi kadar aspal, gradasi dan variasi pemadatan (Tabatabaie et al., 2008). Temperatur merupakan salah satu faktor yang paling penting mempengaruhi perencanaan dan kinerja dari lapisan perkerasan aspal (Wahhab et al., 2001; Hassan et al., 2005; Velasquez et al., 2008). Variasi temperatur dalam lapisan perkerasan aspal, berkontribusi dalam berbagai hal terhadap kemungkinan kegagalan struktur dan umur rencana perkerasan aspal (Ramadhan and Wahhab, 1997; Wahhab et al., 2001; Hassan et al., 2005; Jia et al., 2008).

Kinerja struktur lapisan perkerasan aspal sangat tergantung pada temperature perkerasan yang terhampar. Dalam kondisi waktu pembebanan yang tetap, temperature merupakan faktor utama yang mempengaruhi respon deformasi dari struktur lapisan perkerasan aspal dan karakteristik penyebaran bebannya tergantung pada sensitifitas modulus lapisan perkerasan aspal terhadap temperatur, dimana kekuatannya semakin nyata berkurang dengan semakin meningkatnya

temperatur (Wahhab et al., 2001; Nazarian and Alvarado, 2006; Alkasawneh et al., 2007).

Temperatur di dalam lapisan perkerasan aspal bervariasi karena dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu; temperatur udara, radiasi matahari, kecepatan angin, dan reflektansi dari permukaan perkerasan (Herb et al., 2006; Matic et al., 2013). Temperatur udara merupakan salah satu faktor lingkungan yang paling penting yang berpengaruh secara nyata terhadap sifat-sifat mekanis campuran aspal dan variasi temperatur udara secara langsung mempengaruhi temperatur lapisan perkerasan aspal (Velasquez et al., 2008). Distribusi temperatur dalam penampang lapisan perkerasan aspal penting diketahui sehubungan dengan perbedaan karakteristik kekuatan dalam berbagai disain perkerasan aspal (Jia et al., 2008).

Pembangunan konstruksi perkerasan jalan pada umumnya menggunakan bahan standar yang berasal dari bahan alam seperti batu dan pasir. Bahan tersebut digunakan sebagai bahan untuk lapis pondasi jalan yang tanpa atau dengan bahan pengikat atau untuk campuran beraspal. Agar biaya konstruksi dapat diperkecil, selain hal tersebut penggunaan bahan setempat atau lokal perlu diperhatikan dan dipikirkan secara matang. Namun demikian untuk itu perlu dilakukan upaya-upaya agar bahan *substandard* ini dapat dioptimalkan penggunaan dan pemanfaatannya.

Saat ini, menurut (BPS, 2011) panjang jalan di Indonesia adalah sekitar 348.241 km yang terdiri dari jalan berlapis penutup (*paved road*) dan jalan tanpa penutup (*unpaved road*). Dari tahun ke tahun panjang jalan ini terus bertambah. Di sisi lain pekerjaan perbaikan jalan juga selalu dilakukan untuk menjaga agar jalan tersebut dapat selalu berfungsi dan selalu dalam kondisi baik. Pembangunan dan perbaikan jalan tentu saja membutuhkan bahan, sehingga kebutuhan bahan jalan setiap tahun juga meningkat (Yamin, 2011). Namun demikian, tidak semua daerah memiliki cadangan bahan yang mencukupi untuk digunakan sebagai bahan perkerasan pada struktur perkerasan jalan atau mutu bahan yang ada di bawah standar (*substandard*).

Selain itu, peningkatan kebutuhan bahan jalan tidak dapat diimbangi dengan ketersediaan sumber bahan, khususnya agregat. Untuk memenuhi kebutuhan agregat di suatu daerah dengan cara mendatangkan agregat dari tempat lainnya yang tentu saja akan meningkatkan harga satuan biaya pembangunan jalan. Untuk mengatasi hal tersebut, perlu dilakukan rekayasa teknis dalam pemanfaatan bahan sehingga bahan lokal yang *substandard* atau bahan buangan industri (*waste materials*) dapat dioptimalkan penggunaannya untuk perkerasan jalan, baik pada campuran beraspal maupun untuk lapis pondasi jalan (Fred, 1993; Yamin, 2011).

Kondisi tegangan yang terjadi akibat beban roda pada lapisan perkerasan dapat diuji di laboratorium namun dengan banyak faktor yang

dapat disederhanakan. Pada kondisi sesungguhnya atau in-situ, beban dapat diterapkan dalam bentuk 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*).

Melalui Satuan kerja (Satker) Wilayah V Provinsi Papua Barat (Fak-fak) memanfaatkan agregat substandard yaitu berupa batuan kapur kristalin (Batu Sakartemen) untuk membangun jalan Nasional batas kota ruas Fakfak-Hurimber pada November 2016. Untuk mengetahui karakteristik Marshall dilakukan pengambilan benda uji inti (*core drill*) pada Juni 2017 dan pada November 2018 dilakukan evaluasi benda uji *core drill* terhadap pengaruh perendaman air selama 1, 3 dan 7 hari.

Beban kendaraan yang melintas akan menimbulkan tegangan tarik pada bagian bawah hingga pertengahan pada lapis suatu jalan. Campuran aspal akan mengalami pengerasan atau penebaran 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*).

Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang pengaruh dari temperature (suhu) dari campuran beraspal yang memanfaatkan agregat substandard, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Pengaruh Suhu Perendaman Terhadap Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC yang Menggunakan Batu Sakartemen Sebagai Agregat Kasar”**.

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 batu Sakartemen sebagai agregat kasar ?.
2. Bagaimana pengaruh suhu perendaman yang divariasikan terhadap nilai hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan batu Sakartemen sebagai agregat kasar ?.

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 batu Sakartemen sebagai agregat kasar.
2. Menganalisis pengaruh suhu perendaman yang divariasikan terhadap nilai hubungan tegangan dan regangan campuran AC-WC yang menggunakan batu Sakartemen sebagai agregat kasar.

D. Batasan Masalah

Permasalahan penuaan dan limbah plastik pada campuran aspal porus 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 **Jalan Nasional batas kota ruas Fakfak-Hurimber**, 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 baik dengan perendaman air selama 30 – 40 menit (SNI 06-2489-1991) dengan variasi suhu yaitu 20°C, 40°C, 60°C, 80°C dan 100°C.

E. Manfaat Penelitian

Secara teoritis manfaat yang diperoleh dari penelitian tentang profil temperatur perkerasan aspal dan pengaruh pada kapasitas strukturnya adalah :

1. Meningkatnya pemahaman dan pengetahuan tentang profil temperatur perkerasan aspal.
2. Meningkatnya pemahaman dan pengetahuan tentang pengaruh temperatur perkerasan aspal terhadap kapasitas strukturnya, dalam hal ini modulus kekakuannya.
3. Menambah kajian ilmu, khususnya dalam bidang material perkerasan jalan dan bagi pihak lainnya terutama bagi mahasiswa, dosen peneliti

maupun bagi pengambil kebijakan, dapat membantu menyajikan informasi terkait dengan pengadaan penelitian serupa.

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 pengaruh temperature pada campuran aspal 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 variasi temperatur yang diberikan terhadap variasi benda uji. Prosedur pengujian dengan variasi temperatur (suhu) 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 pengaruh suhu perendaman terhadap nilai kuat tarik tidak langsung yang dihasilkan.

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 Temperatur Pada Pekerasan Jalan di Indonesia

Penelitian keterkaitan iklim dan temperatur perkerasan aspal telah dilakukan di banyak negara dengan perbedaan tipe iklim dan kondisi lalu lintas. Sesuai dengan letak lintang, negara-negara tersebut dominan beriklim subtropis dan iklim sedang dengan empat musim (musim semi, musim panas, musim gugur dan musim dingin). Ciri iklim subtropis dan sedang, menerima panas sinar matahari dengan intensitas waktu yang lebih sedikit dibandingkan dengan iklim tropis, sehingga menyebabkan perbedaan profil temperatur udara dan temperatur perkerasan aspal serta pengaruh terhadap kapasitas strukturnya. Ciri iklim tropis adalah menerima panas sinar matahari dengan intensitas waktu yang lebih banyak sepanjang tahun, sehingga rata-rata temperatur udara tinggi. Umumnya temperatur udara antara 20 – 23 °C, bahkan di beberapa tempat mencapai lebih dari 30 °C (Kumalasetya, 2012).

Wilayah Indonesia terletak pada zona lintang kecil (6° LU – 11° LS) yang dilintasi oleh garis khatulistiwa. Dengan posisi lintang ini, wilayah Indonesia beriklim tropis. Disamping itu wilayah Indonesia dilalui oleh dua pergerakan angin muson (muson barat dan muson timur) yang menyebabkan mengalami dua musim, yaitu musim hujan pada periode bulan Oktober – Maret dan musim kemarau pada periode bulan April –

September. Pada sisi lain, sekitar 70% wilayah Indonesia berupa perairan, sehingga memiliki ciri-ciri antara lain: udara sering berawan, kelembaban udara yang tinggi dan curah hujan yang tinggi (Chuckybugiskha, 2011). Berdasarkan karakteristik iklim tropis di Indonesia, tentu penerapan model-model yang dikembangkan pada daerah atau lokasi dengan iklim yang berbeda (sub tropis, sedang) mempunyai akurasi yang kurang, jika diterapkan di iklim tropis. Subagio et al. (2007) menyatakan metode disain perkerasan aspal untuk negara-negara tropis seperti halnya di Indonesia, umumnya mengadopsi dari negara-negara asing yang secara empiris dikembangkan berdasarkan penelitian bertahun-tahun dengan parameter disain seperti iklim lingkungan dan beban lalu lintas, tentu berbeda secara nyata dan akan menyebabkan perbedaan pemecahan masalah. Model yang dikembangkan Witczak (1972) umum digunakan untuk memperkirakan temperatur perkerasan aspal berdasarkan temperature udara bulanan rata-rata. Model Ullidtz dipergunakan untuk memperkirakan modulus kekakuan aspal (S_b), model Shell dan model Nottingham dipergunakan untuk memperkirakan modulus kekakuan campuran aspal (S_m).

Hal yang sama juga dinyatakan oleh Diefenderfer (2003) bahwa model-model yang telah dikembangkan hanya akurat untuk memperkirakan temperatur perkerasan pada lokasi setempat. Untuk lokasi-lokasi lainnya, sehubungan dengan perbedaan variasi radiasi matahari akibat perbedaan lintang, menyebabkan perbedaan hasil

temperatur perkerasan aspal. Dalam rangka mengembangkan model temperatur perkerasan aspal pada lokasi-lokasi lainnya sesuai dengan lintangnya, parameter variasi radiasi matahari harus dihitung. Oleh karenanya perlu dikembangkan model-model yang sesuai dengan kondisi lingkungan setempat. Penelitian ini diharapkan relevan dengan kondisi iklim tropis di Indonesia.

Perkerasan aspal merupakan mayoritas jenis perkerasan dari jalan raya utama di Indonesia. Kapasitas struktur lapisan perkerasan aspal tergantung pada banyak faktor termasuk didalamnya temperatur. Lebih lanjut temperatur merupakan penyebab utama dari beberapa jenis kerusakan perkerasan aspal dan merupakan salah satu faktor yang nyata berpengaruh pada kapasitas dan umur perkerasan aspal (Hassan et al., 2005; Tabatabaie et al., 2008). Temperatur perkerasan aspal merupakan fungsi dari temperatur udara yang merupakan faktor iklim dan dipengaruhi oleh letak lintang suatu lokasi. Wilayah-wilayah yang letak lintangnya beriklim subtropis, sedang atau dingin, intensitas dan lamanya radiasi matahari tentu memberikan pengaruh yang berbeda pada temperatur perkerasan aspal dan kapasitas strukturnya dibandingkan pada wilayah-wilayah yang berada pada letak lintang beriklim iklim tropis.

Pengembangan penelitian hubungan antara faktor iklim dan temperatur perkerasan aspal serta pengaruhnya terhadap kapasitas strukturnya telah banyak dilakukan untuk aplikasi iklim dan lalu lintas yang spesifik, terutama untuk negara-negara yang beriklim subtropis dan

beriklim sedang dengan empat musim. Namun, hasil penelitian yang dikembangkan tentu mempunyai akurasi yang kurang sesuai jika diterapkan pada wilayah atau negara beriklim tropis dan kondisi lalu lintas yang berbeda (Matic et al., 2013).

Variasi temperatur udara dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya: 1) sudut datang sinar matahari, semakin besar sudutnya maka semakin tegak datangnya sinar dan temperatur yang diterima oleh perkerasan aspal semakin tinggi. 2) Faktor topografi suatu tempat, semakin tinggi kedudukan suatu tempat, temperatur udara akan semakin rendah, begitu pula sebaliknya. 3) Faktor angin dan arus laut, angin dan arus dari daerah yang dingin akan menyebabkan daerah yang dilalui angin tersebut juga akan menjadi dingin. 4) Faktor lamanya penyinaran matahari pada suatu tempat tergantung dari letak garis lintangnya. Indonesia terletak pada daerah lintang kecil, mendapatkan penyinaran matahari relatif lebih lama, sehingga menyebabkan temperatur udara rata-rata hariannya cukup tinggi. 5) Faktor awan, jika suatu daerah terjadi awan (mendung), maka panas yang diterima ke bumi relatif sedikit. Hal ini disebabkan karena sinar matahari tertutup oleh awan dan kemampuan awan menyerap panas matahari. Apabila udara pada siang hari diselimuti oleh awan, maka temperatur udara pada malam hari akan semakin tinggi (Chuckybugiskha, 2011). Oleh karena itu, dalam proses mendisain dan mengevaluasi perkerasan aspal, penelitian hubungan antara iklim dan profil temperatur perkerasan aspal serta pengaruh temperatur pada

kapasitas strukturnya sangat diperlukan pada kondisi iklim lingkungan yang berbeda.

B. Agregat Substandar

Penelitian Yamin dkk., 2015 (a); Yamin, 2011(b)) menunjukkan bahwa dari hasil analisa kimia yang dilakukan pada agregat di wilayah Fak-fak, Papua, diketahui bahwa agregat dari quarry tersebut dapat dikelompokkan sebagai kapur kristalin. Dari sifat-sifat fisiknya, batuan tersebut memiliki kekerasan 27-37% berdasarkan uji abrasi dengan Los Angeles, namun agregat tersebut memiliki kelekatan aspal lebih kecil dari 95%. Sehingga dapat disimpulkan bahwa agregat dari quarry-quarry di Fakfak sangat baik digunakan untuk lapis pondasi kelas A tetapi tidak boleh digunakan sebagai agregat untuk campuran beraspal.

Namun demikian agregat seperti ini masih memiliki kemungkinan untuk bisa sukses digunakan dengan cara mencampurnya dengan bahan pengikat sehingga membentuk lapisan agregat yang terikat kuat oleh bahan pengikat (*bound layer*) atau dengan memodifikasi desain perkerasan standar dan prosedur konstruksi. Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, agregat lokal yang tidak memenuhi spesifikasi memberikan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah (Collin *et al.*, 1994 dalam Yamin dkk., 2015).

Agregat yang digunakan sebagai bahan jalan haruslah memenuhi sifat-sifat tertentu yang disyaratkan dalam spesifikasi. Selanjutnya,

agregat memenuhi sifat yang diistilahkan sebagai agregat standar. Sedangkan yang tidak memenuhi standar disebut sebagai agregat substandar. Sifat-sifat yang umumnya tidak sesuai spesifikasi yang berlaku, antara lain karena ketidaksesuaian gradasi, sifat plastisitas dan kekuatan (Sigfried dkk., 2014). Dengan beberapa perbaikan atau desain struktural yang sesuai, banyak bahan lokal yang tidak memenuhi spesifikasi tetapi menunjukkan kinerja lapangan yang cukup memadai, khususnya untuk jalan bervolume lalu lintas rendah.



Gambar 1. Contoh agregat dari beberapa quarry Fak-fak di Papua Barat

C. Asbuton Modifikasi (Asbuton Semi Ekstraksi)

Aspal yang dimodifikasi sebagai campuran aspal panas haruslah jenis Asbuton dan elastomeric latex (sintetis) dan memenuhi ketentuan Spesifikasi Umum (2010), Bina Marga. Aspal modifikasi memiliki kelebihan dalam mengatasi deformasi plastis pada suhu/temperatur yang rendah. Contoh Asbuton modifikasi yang ada adalah Retona dan BNA blend. Tabel 1 memperlihatkan persyaratan aspal yang dimodifikasi dengan aspal alam.

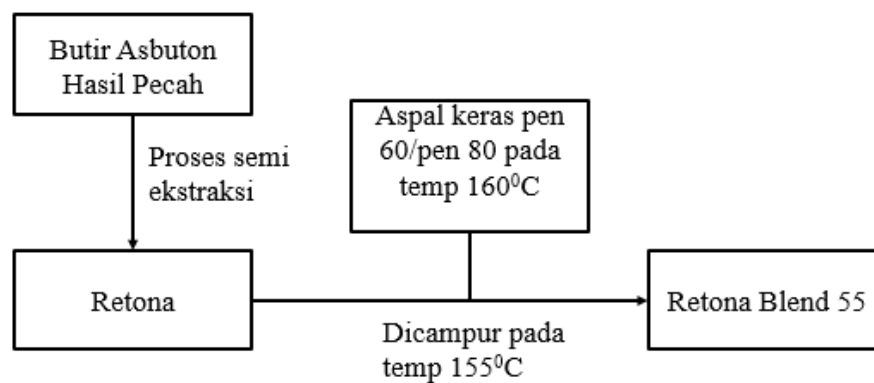
Tabel 1. Persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal alam

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 Etyhlylen</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

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 (*Asphalt Mixing Plant*) 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-penelitian yang ada biasanya 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.



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

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). 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 masalah-masalah yang berhubungan dengan temperatur tinggi seperti *bleeding*, *rutting* dan *shouving*.

4. *Workable*

Proses aplikasi BNA *blend* sejak pencampuran dan pematatannya semudah aplikasi aspal minyak.

5. Tahan Retak

Percobaan penghamparan *hot mix BNA blend* pada jalan yang retak menunjukkan bahwa setelah 3,5 tahun tidak terjadi *reflective cracking* dan atau *pot hole*.

6. Ekonomis dan *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. 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.

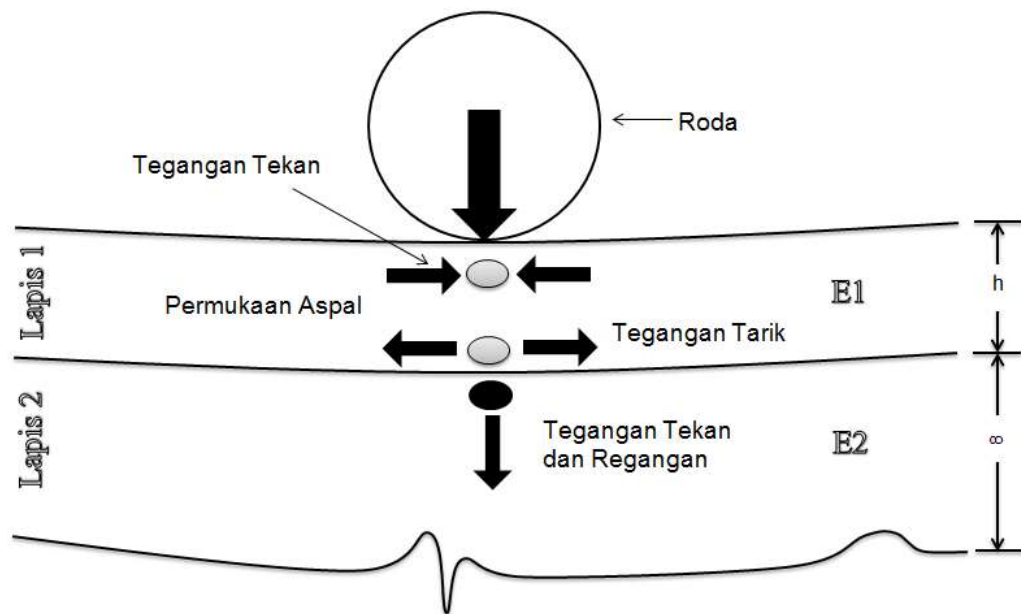
Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan

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 :

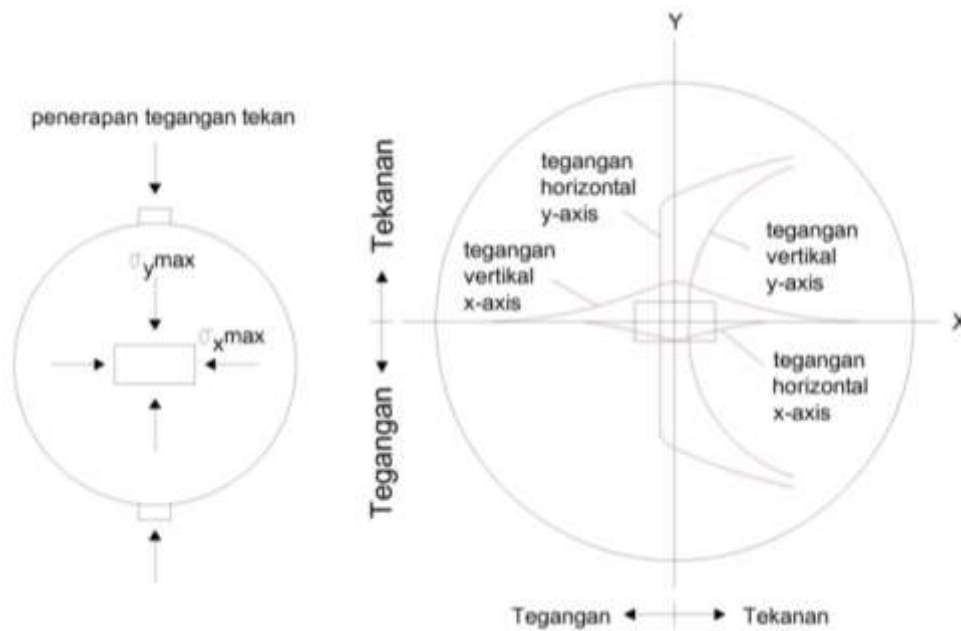
- a. Distribusi tegangan-regangan tiga dimensi lebih tinggi dari lapisan aspal-permukaan.
- b. Tegangan tarik horizontal dan regangan yang terjadi di zona bawah ($[h-1]$ mm) dari lapisan aspal permukaan yang merupakan parameter kerusakan pada perkerasan akibat kelelahan dan mengakibatkan terjadinya retak.

Gambar 3 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 3 menunjukkan adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 3, Q adalah beban ban dengan satuan kN, p adalah tekanan ban dalam kPa, h adalah ketebalan lapisan aspal permukaan dalam mm dan E_1 serta E_2 adalah modulus elastisitas dalam MPa. Gambar 4 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan. Berdasarkan Gambar 4 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 ($\sigma_x = \max$).

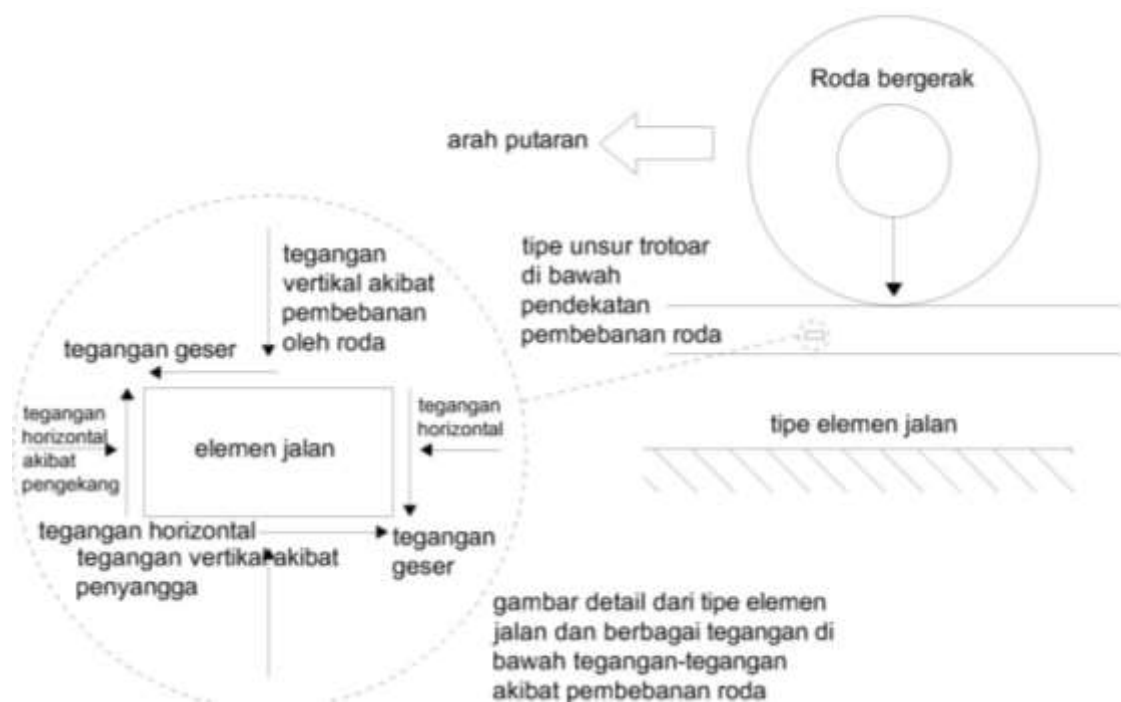


Gambar 3. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



Gambar 4. 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 5 memperlihatkan penjabaran tegangan-tegangan yang terjadi pada perkerasan jalan.



Gambar 5. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook, 2015*)

Berdasarkan Gambar 5 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. Pengaruh Temperatur Terhadap Perkerasan

Dampak temperatur yang menyebabkan kerusakan seperti *rutting* dan retak merupakan faktor penting yang memberikan pengaruh langsung pada kapasitas struktural perkerasan. Mengutip Sha'ad,1989, Kamal (2005) menyatakan bahwa perilaku perkerasan lentur sangat dipengaruhi oleh kondisi lingkungan. Pada tahun 1990, SJ Biczysko melakukan penelitian yang menyatakan bahwa diatas suhu 350°C kinerja aspal mulai menurun oleh deformasi dan pada suhu dibawah 100°C oleh jejak roda kendaraan (*tracking*). Sejalan dengan peningkatan suhu, viskositas aspal menurun dan aspal berubah seolah-olah seperti *sponge*. Hanya modulus lapisan campuran beraspal saja yang secara signifikan dipengaruhi oleh temperatur. Makin tinggi temperatur, makin rendah modulus lapisan campuran beraspal. Sedangkan tanah dasar dan modulus lapisan agregat tidak begitu terpengaruh oleh temperatur (Kosasih, 2008).

Retak termal perkerasan aspal merupakan kerusakan besar karena tidak hanya berdampak pada perkerasan yang terlihat, tapi juga mempercepat kerusakan pada struktur perkerasan. Retak pada permukaan perkerasan dapat membuat air masuk kedalam lapis pondasi

maupun subbase yang dapat memperlemah kekuatan lapis pondasi dan awal dari kerusakan perkerasan (Zhong, Geng, 2009).

Retak termal yang dianalisis dengan model mekanistik dapat dikategorikan sebagai teori viskoelastis satu lapis maupun *multi layer*. Penggunaan model ini pada sistem satu lapis memberi indikasi kerugian yaitu penanganan berfokus pada lapisan beton aspal saja, dan suhu terdistribusi seragam untuk seluruh kedalaman perkerasan. Pada teori elastis *multi layer* gradasi temperatur dipertimbangkan berbeda pada setiap lapis dan merupakan metode untuk menghitung tegangan termal.

Zhong dan Geng (2009) menggunakan metode matrik kekakuan untuk menghitung tegangan termal aksisimetri pada *multi layer* elastis dengan kombinasi beban dan temperatur. Zhong bersama Wong (2000) juga melakukan penelitian menggunakan metode transfer matrik untuk melihat perilaku perkerasan aspal dibawah variasi temperatur.

Kelemahan sistem *multi layer* adalah menganggap material tidak terpengaruh oleh suhu, sebab sebagaimana diketahui retak termal perkerasan terutama terjadi pada suhu rendah dimana campuran aspal mulai mengalami kegetasan (brittleness) sama dengan material elastis, sehingga masuk akal jika dianalisis berdasarkan teori elastis *multi layer*. Banyak penelitian dilakukan untuk melihat hubungan antara suhu udara dan suhu perkerasan. Fluktuasi temperatur maksimum bulanan di Indonesia umumnya berkisar antara 30,7°C – 32,0°C dengan deviasi

standar antara 0,32 – 0,47°C. Sementara temperatur minimum 21,7° – 22,9°C dengan deviasi standar antara 0,45° – 0,95°C.

F. Uji Kuat Tarik Tidak Langsung

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 dalam melakukan berbagai penelitian tentang kinerja campuran beraspal sehubungan dengan kuat tarik tidak langsung karena retak yang terjadi pada perkerasan aspal yang diakibatkan oleh deformasi permanen, seperti yang ditunjukkan pada Tabel 2.

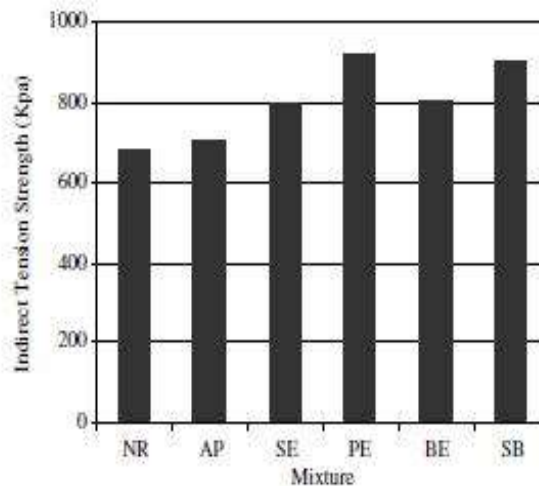
Tabel 2. Penelitian terdahulu kuat tarik tidak langsung

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

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 6 menunjukkan kuat tarik belah campuran aspal dimodifikasi.



Gambar 6. *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 7. 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.

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

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

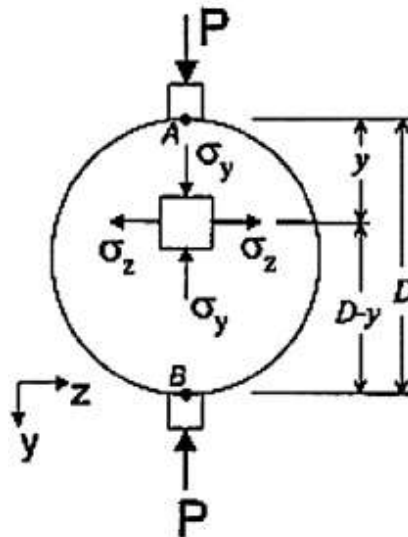
Dimana :

ITS = kuat tarik langsung dipusat benda uji (kN)

Pmax = beban maksimum (kN)

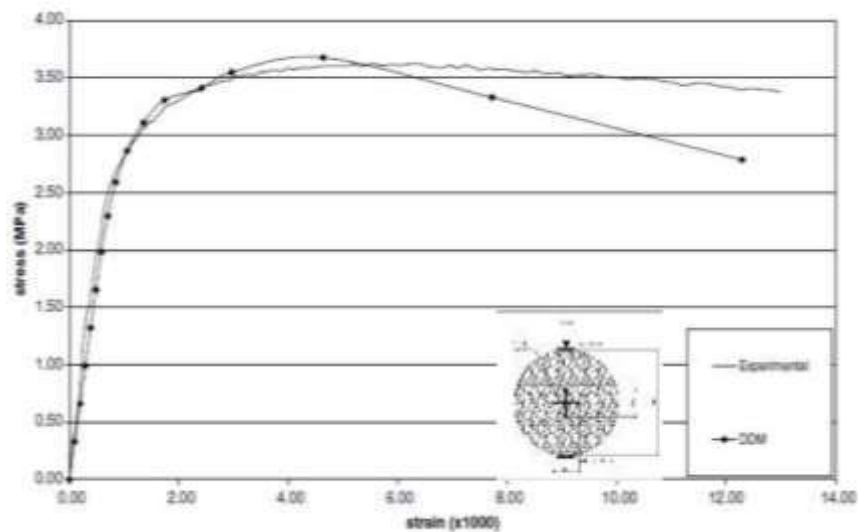
t = ketebalan benda uji (mm)

d = diameter benda uji (mm)



Gambar 7. Diagram pembebanan uji ITS

Gambar 7 memperlihatkan diagram pembebanan uji ITS (*Indirect Tensile Strength*). Gambar 8 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 8. 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.

G. 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.

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

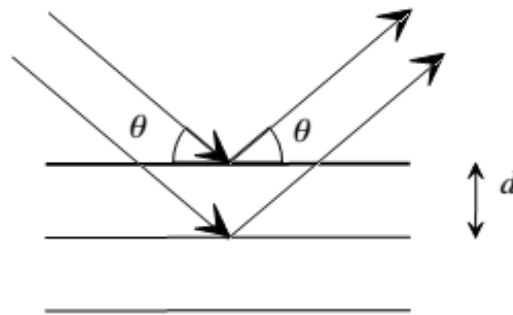
Keterangan :

n : Bilangan bulat positif

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

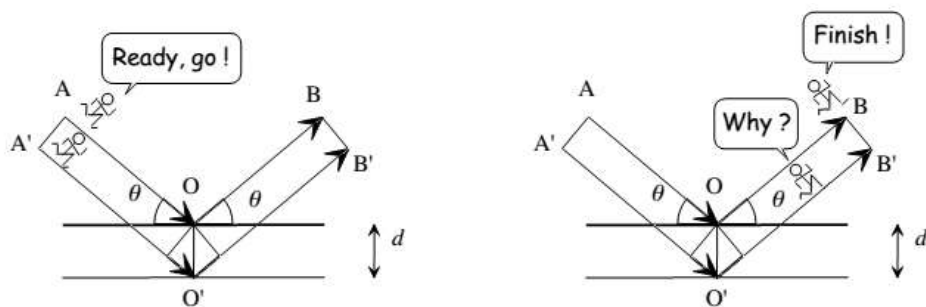
θ : Besar sudut dari arah radiasi sinar x

Ilustrasi dari kejadian difraksi bisa dilihat dan di pahami dari Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11.



Gambar 9. Ilustrasi asal Hukum Bragg (Mote *et al.*, 2012)

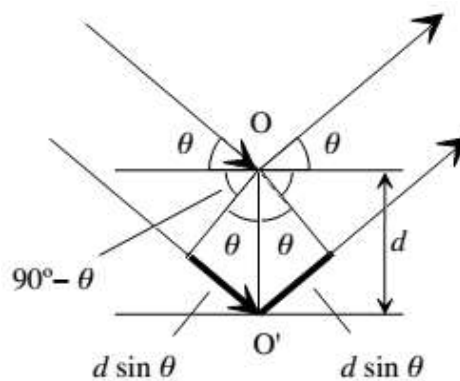
Perlu diperhatikan perbedaan garis jarak pada ilustrasi diatas yang dimana poin penting dari hukum Bragg adalah dapat di jelaskan dengan interferensi konstruktif. Ilustrasi perbedaan garis jarak akan memudahkan kita untuk memahami hukum Bragg.



Gambar 10. 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 11. 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 12 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. 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*).



Gambar 12. Ilustrasi perbedaan keteraturan susunan atom untuk partikel padatan kristalin, polikristalin dan amorf (Zak *et al.*, 2013)

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), SiO₂ (quartz), pirit (FeS), gula (C₂H₁₂O₆) dan lain-lain, contoh padatan amorf antara lain karbon amorf adsorben dan silika gel adsorben.