

DISERTASI

**KARAKTERISTIK KEKUATAN DAN KETAHANAN
CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG LIMBAH
PLASTIK PET DAN PP DIBAWAH BEBAN TEKAN STATIS**

*(Strength and Toughness Characteristics of AC-WC
Mixture Containing PET and PP Waste Plastic Under Static
Compression)*

**IRIANTO
D013171003**



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

LEMBAR PENGESAHAN

**KARAKTERISTIK KEKUATAN DAN KETAHANAN
CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG LIMBAH PLASTIK
PET DAN PP DIBAWAH BEBAN TEKAN STATIS**

Disusun dan diajukan oleh

IRIANTO

D013171003

Telah dipertahankan di hadapan Panitia Ujian yang dibentuk dalam rangka
Penyelesaian Studi Program Doktor Program Studi Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

Pada tanggal 9 Maret 2021

dan dinyatakan telah memenuhi syarat kelulusan

Menyetujui,

Promotor

Dr. Ir. Abd.Rachman Djamaluddin., MT

NIP: 19591010 198703 1003

Co Promotor,

Co Promotor,

Dr. Ir. H. Mubassirang Pasra., MT

NIP: 19631127 199203 1 001

Dr. Eng. Ardy Arsyad. ST., M.Eng.Sc

NIP: 19760707 200501 1 002

Ketua Program Studi
S3 Teknik Sipil

Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin

Prof. Ir. Sakti Adji A., MS., M.Eng.Sc., Ph.D

NIP: 19640422 199303 1 001

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

NIP: 19601231 198609 1 001

PERNYATAAN KEASLIAN

Yang bertanda tangan di bawah ini;

Nama : Irianto
NIM : D013171003
Program studi : Ilmu Teknik Sipil
Jenjang : S3

Menyatakan dengan ini bahwa karya tulisan saya berjudul

**“Karakteristik Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-WC yang Mengandung
Limbah Plastik PET dan PP dibawah Beban Tekan Statis”**

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

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

Makassar, 12 Maret 2021

Yang menyatakan



Irianto

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah kami panjatkan ke hadirat Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni **“Karakteristik Kekuatan Dan Ketahanan Campuran AC-WC yang Mengandung Limbah Plastik PET dan PP Dibawah Beban Tekan Statis”** 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 **Dr. Ir. Abd. Rachman Djamaluddin, MT**, 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** dan **Dr. Eng. Ardy Arsyad, ST., M.Eng.Sc** selaku Co-Promotor 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 (Ibu **Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. H. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT** (Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, ST. M.Eng** (Ketua Departemen Teknik Sipil

Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MS., M.Eng.Sc., Ph.D** (Ketua Program Studi S3 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 S3 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

Ucapan terimakasih yang setinggi tingginya atas segala keikhlasan, pikiran dan tenaganya yang tidak ternilai. Hanya dengan doa semoga Allah Rabbul Alamin dapat membalasnya. Akhirnya kami ucapkan Nun Wal Kalami Wamayasturuun.

Makassar, Februari 2021

Wassalam

Irianto

ABSTRAK

IRIANTO. Karakteristik Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-WC yang Mengandung Limbah Plastik PET dan PP Dibawah Beban Tekan Statis (dibimbing oleh **Abd. Rachman Djamaluddin, Mubassirang Pasra** dan **Ardy Arsyad**).

Limbah plastik polyethylene therephthalate (PET) dan polypropylene (PP) semakin meningkat karena aktivitas pengembangan dan perubahan gaya hidup, yang mengarah ke sampah yang tersebar luas di lanskap. Studi ini menyelidiki potensi plastik limbah PET dan PP menggunakan pengubah beton aspal. Penelitian ini bertujuan untuk menemukan besaran nilai kuat tekan akibat beban tekan monotonik dan menemukan kadar limbah plastik dan perbandingan limbah plastik PET dan PP yang dapat diaplikasikan di lapangan. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah eksperimental di laboratorium. Pembuatan benda uji dalam kondisi KAO dengan total berat 1600 gram dengan variasi limbah plastik 0%, 1,0%, 2,0% dan 3,0% serta perbandingan PET : PP (100 : 0%, 0 : 100% dan 50 : 50%). Pengujian kuat tekan dengan menggunakan LVDT horizontal dan vertikal secara monoton diaplikasikan untuk mengevaluasi ketahanan campuran aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa nilai kuat tekan pada campuran AC-WC dengan limbah plastik 1% pada perbandingan PET : PP yaitu 0 : 100%, 100 : 0% dan 50 : 50% masing-masing sebesar 3,11 MPa, 1,83 MPa dan 2,31 MPa. Pada kadar limbah plastik 2% masing-masing sebesar 3,70 MPa, 2,45 MPa dan 4,11 MPa. Pada kadar limbah plastik 3% masing-masing sebesar 4,33 MPa, 3,82 MPa dan 5,23 MPa. Semakin bertambahnya limbah plastik maka nilai kuat tekan semakin meningkat. Hal ini disebabkan karena adanya pengikatan antara polimer dengan agregat dalam campuran aspal yang baik dimana PET dalam campuran berada pada fase resin semi-kristal. Limbah plastik PET yang dikombinasikan dengan limbah plastik PP sebanyak 50% : 50% dapat digunakan sebagai bahan tambah dalam campuran AC-WC pada kadar plastik 3% dari berat total keseluruhan agregat.

Kata kunci : Kuat tekan, Karakteristik ketahanan, Campuran AC-WC, PET, PP



ABSTRACT

IRIANTO. On The Strength and Toughness Characteristics of AC-WC Mixture Containing PET and PP Waste Plastic Under Static Compression (supervised by **Abd. Rachman Djamaluddin, Mubassirang Pasra and Ardy Arsyad**).

Waste plastic polyethylene therephthalate (PET) and polypropylene (PP) is increasing due to development activities and changes in lifestyle, leading to widespread littering on the landscape. The study investigates the PET and PP waste plastic potential using an asphalt concrete modifier. This study aims to find the magnitude of the material's ability to absorb energy during plastic deformation (J/m^3) and find the level of plastic waste and the ratio of PET and PP plastic waste that can be applied in the field. The method used in this research is experimental in the laboratory. Making specimens in KAO conditions with a total weight of 1600 grams with variations in plastic waste 0%, 1.0%, 2.0% and 3.0% as well as PET: PP ratio (100: 0%, 0: 100% and 50: 50%). A monotone compressive strength test using horizontal and vertical LVDT was applied to evaluate the resistance of asphalt mixtures. The results showed that the compressive strength value of the AC-WC mixture with 1% plastic waste in the PET: PP ratio of 0: 100%, 100: 0% and 50: 50% were respectively 3.11 MPa, 1.83 MPa. and 2.31 MPa. At the level of 2% plastic waste each was 3.70 MPa, 2.45 MPa and 4.11 MPa. At the level of 3% plastic waste each was 4.33 MPa, 3.82 MPa and 5.23 MPa. The more plastic waste increases, the compressive strength value will increase. This is due to the binding between the polymer and the aggregate in a good asphalt mixture where the PET in the mixture is in the semi-crystalline resin phase. PET plastic waste combined with PP plastic waste as much as 50%: 50% can be used as an additive in the AC-WC mixture at a plastic content of 3% of the total weight of the aggregate.

Keywords : Compressive strength, Toughness characteristic, AC-WC mixture, PET, PP



DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iii
DAFTAR ISI	iii
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	xi
DAFTAR NOTASI	xvi
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	9
C. Tujuan Penelitian	9
D. Batasan Masalah	10
E. Manfaat Penelitian	11
F. Sistematika Penulisan	12
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal	14
B. Deskripsi Aspal Minyak	17
C. Asbuton Modifikasi	19
D. Bahan Tambah Dalam Campuran Beraspal	25
E. Respon Perkerasan Akibat Pembebanan	31

F. Pengujian Kuat Tekan (<i>Unconfined Compression Test</i>)	35
G. Kerangka Pikir Penelitian	46
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	
A. Lokasi Penelitian.....	49
B. Rancangan Penelitian	52
C. Pengujian Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus	60
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	
A. Karakteristik Gabungan Plastik PET (Polyethylene Therephthalate) dan PP (Polypropylene) dengan Metode XRD (X-Ray Diffraction).....	68
B. Karakteristik Fisik dan Kimia Agregat Kasar dan Halus	75
C. Karakteristik Fisik dan Kimia Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55).....	79
D. Penentuan Gradasi Campuran.....	82
E. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan	83
F. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC Berdasarkan Metode Marshall	85
G. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	99

H. Volumetrik Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	103
I. Hubungan Tegangan dan Regangan Akibat Beban Tekan Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	110
J. Kuat Tekan Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	120
K. Poisson Rasio, Elastisitas dan Toughness Index Akibat Beban Tekan Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	125
L. Karakteristik Senyawa Kimia Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	132
M. Karakteristik Fisik dan Senyawa Kimia Asbuton Modifikasi Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	147
N. Capaian Kinerja Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	153
O. Analisis Pengaruh Variabel Terhadap Nilai Kuat Tekan Campuran Aspal (Uji t dan Uji F)	155
P. Temuan Empirik	160
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan	162
B. Saran	163
DAFTAR PUSTAKA	164

DAFTAR TABEL

Nomor		Halaman
1.	Persyaratan Aspal Dimodifikasi dengan Aspal Alam	20
2.	Perbedaan Plastik Jenis PP dan PET	29
3.	Jenis-Jenis Plastik yang Termasuk Kategori Termoplastik	30
4.	Angka Poisson Material Perkerasan Jalan	42
5.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat	54
6.	Metode Pengujian Karakteristik Aspal Buton Modifikasi	55
7.	Gradasi Agregat Gabungan Laston	59
8.	Jumlah Benda Uji Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	59
9.	Jumlah Benda Uji (Dalam Kondisi KAO) Kombinasi Limbah Plastik PET dan PP	60
10.	Hasil Pengujian XRD Limbah Plastik PET dan PP	73
11.	Hasil Pengujian XRD Gabungan Limbah Plastik PET dan PP dengan dan Tanpa Pemanasan	74
12.	Karakteristik Agregat Kasar.....	76
13.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	77
14.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Abu Batu)	77
15.	Karakteristik Kimia Filler Abu Batu (Hasil Uji XRF)	78
16.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi	79
17.	Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi (Hasil Uji XRF)	80

18.	Komposisi Material Dalam Berat untuk 1200 gram Benda Uji Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	84
19.	Hasil Pengujian Karakteristik Campuran AC-WC Untuk Seluruh Parameter	86
20.	Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran Aspal Panas Menggunakan Asbuton Modifikasi.....	98
21.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1600 gram Benda Uji dengan Penambahan Limbah Plastik (KAO 6,25%) PET : PP (100 : 0%)	100
22.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1600 gram Benda Uji dengan Penambahan Limbah Plastik (KAO 6,25%) PET : PP (0 : 100%)	101
23.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1600 gram Benda Uji dengan Penambahan Limbah Plastik (KAO 6,25%) PET : PP (50 : 50%)	102
24.	Volumetrik Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET dan Limbah Plastik PP	103
25.	Kuat Tekan Campuran AC-WC yang Menggunakan Limbah Plastik PET dan PP Sebagai Bahan Tambah	121
26.	Poisson Rasio, Modulus Elastisitas dan Toughness Index	126
27.	Rekapitulasi Senyawa Dominan Campuran AC-WC dengan Menggunakan Limbah Plastik PET dan PP	133
28.	Rekapitulasi Daerah Amorf dan Daerah Kristal 1% Plastik.....	141

29.	Rekapitulasi Daerah Amorf dan Daerah Kristal 2% Plastik.....	144
30.	Rekapitulasi Daerah Amorf dan Daerah Kristal 3% Plastik.....	145
31.	Karakteristik Fisik Asbuton Modifikasi Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	148
32.	Capaian Kinerja Campuran AC-WC dengan Menggunakan Limbah Plastik PET dan PP	154
33.	Hasil Uji t (Uji Parsial) SPSS	156
34.	Hasil Komparasi Penelitian Terdahulu.....	158

DAFTAR GAMBAR

Nomor	Halaman
1.	Alur Proses Pembuatan Asbuton Modifikasi Blend 55 Secara Pabrikasi 21
2.	Permukaan Tipis Polyethylene 27
3.	Kinerja Perkerasan Lentur 31
4.	Sistem Perkerasan Dua Lapis 33
5.	Distribusi Tegangan dan Tekanan 33
6.	Penjabaran Tegangan-Tegangan 34
7.	Sketsa Pengujian Kuat Tekan 37
8.	Tegangan yang Terjadi Pada Lapisan Perkerasan 39
9.	Sketsa Pengujian Poisson Ratio 43
10.	Diagram Tegangan-Regangan 45
11.	Hubungan Nilai CS dan Strain 46
12.	Kerangka Pikir Penelitian 48
13.	Bagan Alir Penelitian 51
14.	Alat Pengujian Marshall 62
15.	Alat UTM (<i>Universal Testing Machine</i>) 63
16.	(a) LVST 10 cm, (b) LVDT 5 cm, (c) LVDT 2,5 cm 64
17.	Data Logger 65
18.	Pengujian Kuat Tekan 66
19.	Difraktogram Polimer Kristalin 67

20.	Skema Penelitian Penggabungan Plastik PET dan PP.....	69
21.	Hasil Pengujian XRF Limbah Plastik PET	70
22.	Hasil Pengujian XRF Limbah Plastik PP	71
23.	Hasil Pengujian XRD Limbah Plastik PET dan PP	72
24.	Hubungan Sudut Phase dengan Intensitas Asbuton Modifikasi	81
25.	Gradasi Agregat Gabungan Campuran AC-WC	82
26.	Hubungan Antara Nilai Stabilitas dan Kadar Asbuton Modifikasi	88
27.	Hubungan Antara Nilai Flow dan Kadar Asbuton Modifikasi.....	90
28.	Hubungan Antara Nilai Marshall Quetiont (MQ) dan Kadar Asbuton Modifikasi	92
29.	Hubungan Antara Nilai Rongga Udara (VIM) dan Kadar Asbuton Modifikasi	94
30.	Hubungan Antara Nilai Rongga Antar Agregat (VMA) dan Kadar Asbuton Modifikasi	95
31.	Hubungan Antara Nilai Rongga Terisi Aspal (VFB) dan Kadar Asbuton Modifikasi	97
32.	Nilai VIM dengan Penambahan Limbah Plastik PET dan PP ...	104
33.	Nilai VMA dengan Penambahan Limbah Plastik PET dan PP ..	106
34.	Nilai VFB dengan Penambahan Limbah Plastik PET dan PP ...	108
35.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji Tanpa Limbah Plastik	111
36.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 1% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	112

37.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 1% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	112
38.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 1% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	114
39.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 2% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	115
40.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 2% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	115
41.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 2% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	117
42.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 3% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	118
43.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 2% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	118
44.	Hubungan σ dan ϵ Benda Uji 2% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	120
45.	Hubungan Antara Kadar Limbah Plastik dengan Nilai Kuat Tekan	124
46.	Hubungan Sudut 2θ dengan Intensitas dengan Kadar 1% Plastik	135
47.	Hubungan Sudut 2θ dengan Intensitas dengan Kadar 2% Plastik	136

48.	Hubungan Sudut 2θ dengan Intensitas dengan Kadar 3% Plastik	138
49.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 1% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	139
50.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 1% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	140
51.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 1% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	140
52.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 2% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	142
53.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 2% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	142
54.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 2% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	143
55.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 3% Plastik (PET : PP = 100 : 0%)	144
56.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 3% Plastik (PET : PP = 0 : 100%)	144
57.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Pada Kadar 3% Plastik (PET : PP = 50 : 50%)	145
58.	Hubungan Sudut 2θ dengan Intensitas Asbuton Modifikasi Transformasi Limbah Plastik PET dan PP.....	151

59.	Daerah Amorf dan Daerah Kristal Asbuton Modifikasi Transformasi Limbah Plastik PET dan PP	152
-----	--	-----

DAFTAR NOTASI

σ	= Tegangan campuran aspal
ϵ	= Regangan (mm)
d	= Diameter benda uji (cm)
P_{max}	= Beban maksimum (kN)
t	= Ketebalan benda uji (mm)
°C	= Derajat celcius
%	= Persen
π	= PI radian
cm	= Centimeter
mm	= Milimeter
Pen	= Penetrasi
BGA	= <i>Buton Granular Asphalt</i>
ITS	= <i>Indirect Tensile Strength (MPa)</i>
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
VIM	= <i>Void in Mix</i>
VMA	= <i>Void Mineral in Agregat</i>
ASTM	= <i>American Society for Testing Materials</i>
SNI	= Standar Nasional Indonesia
KAO	= Kadar Aspal Optimum
AASHTO	= <i>American Association of State Highway and Transportation Officials</i>
PET	= Polyethylene Therephtalate
PP	= Polyprophylene

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada pembangunan prasarana transportasi jalan raya di Indonesia saat ini untuk perkerasan masih didominasi oleh penggunaan aspal. Jenis aspal yang paling banyak digunakan untuk perkerasan jalan raya adalah aspal yang berasal dari destilasi minyak bumi, yang kemudian dikenal dengan sebutan aspal minyak.

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.

Suatu lapis perkerasan jalan diharapkan mampu memenuhi sifat stabilitas, yaitu kemampuan perkerasan aspal menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk yang tetap. Namun kenyataannya, pada masa pelayanannya, perkerasan jalan sering mengalami kerusakan atau tidak mencapai umur layanan jalan. Di Jalan Lintas Timur Sumatera terjadi

penurunan dalam pelayanan usia jalan sebesar 25,94% (Sentosa, 2012), jalan nasional di Aceh terjadi penurunan umur layan sebesar 4,3 tahun dari umur rencana 10 tahun (Syafriana, 2015), di Jalan Pantura Jawa hanya memiliki umur jalan selama 1,5 hingga 2 tahun dari seharusnya 10 tahun (Antara News, 2018). Selain itu, menurut data Informasi Statistik PU dan Perumahan Rakyat (2015) jalan di Indonesia dalam kondisi baik hanya sebesar 62%, sedangkan kondisi jalan yang lain dalam keadaan rusak ringan ataupun rusak berat.

Salah satu penyebab kerusakan atau tidak mencapainya umur layanan jalan tersebut adalah bertambahnya tingkat kepadatan lalu lintas. Menurut Suparyanto dalam Latifa (2011), pengulangan beban lalu lintas sebagai akibat dari kepadatan lalu lintas menyebabkan terjadinya akumulasi deformasi permanen pada campuran beton aspal sehingga mengalami penurunan kinerja jalan. Untuk mengatasi masalah tersebut, salah satu caranya adalah dengan memanfaatkan bahan tambah (*additive*) ke dalam campuran.

Saat ini pemakaian bahan tambah kedalam campuran beton aspal telah banyak digunakan baik di dalam maupun luar negeri, utamanya penggunaan material sisa/limbah yang banyak menjadi pemasalahan lingkungan, seperti limbah plastik. Plastik merupakan jenis polimer yang tidak dapat terurai sendiri, yang membutuhkan waktu ratusan bahkan ribuan tahun untuk terurai kembali ke bumi. Limbah plastik telah menjadi sesuatu hal yang menakutkan di setiap belahan bumi. Tidak saja di

negara-negara berkembang tetapi juga di negara-negara maju seperti Amerika, Inggris, dan Jepang. Menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), penggunaan material plastik di negara-negara Eropa Barat mencapai 60kg/orang/tahun, di Amerika Serikat mencapai 80kg/orang/tahun, dan di Inggris memproduksi sedikitnya 3 juta ton sampah plastik setiap tahun. Terdapat 57 persen limbah yang ditemukan di pantai berupa limbah plastik dan sebanyak 46 ribu limbah plastik mengapung di setiap mil persegi samudera bahkan kedalaman limbah plastik di samudera pasifik sudah mencapai hampir 100 meter.

Menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan Indonesia masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil limbah plastik kelaut setelah Tiongkok. Kategori limbah plastik yang terbesar berasal dari kemasan seperti botol minuman dan kantong plastik. Limbah plastik ini termasuk jenis LDPE (*Low Density Polyethylene*), di mana plastik yang tergolong jenis ini bersifat *thermoplast*, dapat dicetak berulang-ulang (mudah didaur ulang), dan memiliki densitas antara 0,910 – 0,940 gr/cm³. Selain itu, jenis plastik ini bersifat sangat fleksibel, mempunyai daya proteksi yang baik terhadap uap air, namun kurang baik terhadap gas lainnya seperti oksigen (Billmeyer, 1984).

Sampai saat ini belum ada pengelolaan khusus limbah plastik di tingkat kota. Namun, pemulung memiliki peran yang sangat penting dalam mata rantai daur ulang limbah plastik yang dilakukan secara informal.

Selain itu, ilmuwan juga terus dipicu untuk bisa mencari alternatif lain bahan pengganti plastik konvensional ataupun penggunaan limbah plastik dalam dunia konstruksi khususnya konstruksi jalan. Berbagai penelitian baik di dalam maupun luar negeri yang meneliti pemanfaatan limbah plastik dalam campuran aspal telah dilakukan.

Sojobi *et al.*, 2016 melakukan penelitian tentang efek dari daur ulang botol plastik (PET) yang digunakan pada aspal beton dalam perkerasan lentur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dari penambahan 0, 5, 10, dan 20% kadar plastik terhadap kadar aspal optimum, maka diperoleh sebesar 16,7% kadar plastik optimum. Karakteristik Marshall juga memperlihatkan peningkatan yang baik sehingga sampah botol plastik (PET) dianjurkan digunakan dalam campuran aspal beton yang juga menimbang dari keuntungan ekonomi serta lingkungan.

Soltani *et al.*, 2015 mengevaluasi efek dari diterapkannya tegangan dan temperatur pada umur kelelahan dari suatu campuran aspal modifikasi *Polyethylene Terephthalate* (PET) menggunakan *response surface methodology* (RSM). Hasil penelitian menunjukkan bahwa umur kelelahan dipengaruhi dari parameter yang dipilih. Variasi temperatur sangat berpengaruh pada umur kelelahan dibandingkan variasi tegangan dan kadar plastik (0 – 1% dari berat agregat).

Moghaddam *et al.*, 2015 mengkarakterisasi sifat dari campuran *stone mastic asphalt* (SMA) yang mengandung limbah PET yang termasuk tipe dari polimer. Diperoleh Kadar aspal optimum diperoleh

pada angka 5,88% dengan penambahan 0,18% PET.

Prasad *et al.*, 2015 meringkas beberapa hasil penelitian penambahan limbah plastik PET ke dalam campuran beton aspal dari pengujian data primer dengan berbagai teknik pencampuran. Penggunaan limbah plastik pada konstruksi jalan dapat menyelesaikan permasalahan lingkungan, meningkatkan umur layanan jalan. Salah satu teknik yang baik dalam pencampuran plastik ke dalam campuran beton aspal, yaitu dengan cara mencampur plastik hingga bisa menyelimuti agregat. Ketika menggunakan metode pencampuran kering maka dapat menghemat penggunaan aspal sebesar 10%. Ketika menggunakan metode pencampuran basah maka plastik dihancurkan hingga menjadi bubuk dan plastik dicampur ke dalam aspal. Penggunaan parutan plastik lebih direkomendasikan karena membuat campuran aspal lebih tahan lama. Dengan menambahkan plastik ke bitumen aspal maka akan menahan campuran beton aspal ketika suhu meningkat.

Soyal, 2015 mengembangkan teknik penggunaan limbah plastik pada konstruksi jalan (perkerasan lentur). Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah plastik ke dalam campuran maka akan meningkatkan sifat pengikatan dari aspal, stabilitas, kepadatan, dan lebih tahan dari air. Stabilitas menurun ketika ditambahkan lebih kadar plastik lebih 4%. Penambahan plastik juga akan menyebabkan campuran lebih tahan kepada keretakan dan pembebanan berulang di jalan.

Ahmadinia *et al.*, 2012 menyelidiki evaluasi kinerja terhadap botol

plastik PET sebagai bahan tambah pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA). Kadar plastik optimum berada pada rentang 4-6 % terhadap berat aspal. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penambahan limbah PET ke dalam campuran mempunyai efek positif yang signifikan pada karakteristik SMA dengan meningkatnya ketahanan campuran terhadap deformasi permanen (alur), meningkatnya kekakuan dalam campuran.

Moghaddam *et al.*, 2012 menyelidiki efek dari penambahan limbah PET pada karakteristik kekakuan dan kelelahan campuran SMA. Hasil penelitiannya menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah botol plastik dalam jumlah sedikit akan meningkatkan modulus kekakuan serta dapat meningkatkan umur kelelahan campuran beton aspal.

Ahmadinia *et al.*, 2012 menentukan efek dari penggabungan limbah botol plastik PET pada campuran SMA. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan penambahan limbah PET ke dalam campuran memberikan efek positif yang signifikan dari karakteristik SMA. Dilihat dari peningkatan nilai MQ maka dengan penambahan PET ke dalam campuran akan meningkatkan kekakuan campuran. Dengan penambahan VIM, maka akan meningkatkan kepadatan campuran. Kadar limbah PET yang optimum diperoleh 6% dari berat aspal. Selain itu hasil pengkajian juga telah dilakukan dengan penambahan limbah plastik menjadikan campuran beraspal lebih kuat dan mempunyai durabilitas yang tinggi (A. Maal, dkk., 2017).

Dengan menyadari bahwa suhu atau temperatur sangat

mempengaruhi kualitas campuran beraspal panas, maka sangat penting untuk memperhatikan dan menjaga seluruh proses hingga dapat menghasilkan konstruksi perkerasan jalan sesuai yang diharapkan. Nilai modulus elastisitas lapisan akan menurun dengan meningkatnya temperatur. Kecenderungan ini disebabkan oleh sifat visco-elastic dari material aspal yang kemudian mempengaruhi karakteristik dari lapisan beraspal (Kosasih & Siegfried, 2006).

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).

Selain dari pengujian empirik yang digunakan untuk mengevaluasi campuran beraspal, dapat juga digunakan pengujian yang bersifat

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

Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran AC-WC berupa pengujian kuat tekan yang menggunakan limbah plastik (PET dan PP) yang di kombinasikan sebagai bahan tambah, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul **“Karakteristik Kekuatan dan Ketahanan Campuran AC-WC yang Mengandung Limbah Plastik PET dan PP Dibawah Beban Tekan Statis”**.

B. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang, yang mendasari penelitian ini adalah mendorong penggunaan limbah plastik sebagai bahan tambah untuk mengurangi limbah plastik yang ada di Indonesia, dimana dari tahun ke tahun jumlahnya semakin meningkat. Dari permasalahan tersebut, maka dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana nilai kuat tekan campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yang mengandung limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.
2. Bagaimana kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi.
3. Bagaimana kadar limbah plastik dan perbandingan limbah plastik PET dan PP yang dapat diaplikasikan di lapangan.

C. Tujuan Penelitian

Terkait dengan latar belakang dan rumusan permasalahan diatas, maka dalam penelitian ini perlu dilakukan suatu studi dan analisis yang bertujuan untuk :

1. Menganalisis nilai kuat tekan campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yang mengandung limbah plastik jenis PET dan PP yang di kombinasikan.

2. Menemukan besaran kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi (J/m^3).
3. Menemukan kadar limbah plastik dan perbandingan limbah plastik PET dan PP yang dapat diaplikasikan di lapangan.

D. Batasan Masalah

Berdasarkan rumusan masalah yang ada, maka ruang lingkup pada penelitian ini dibatasi pada hal-hal yaitu :

1. Penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Penelitian ini menggunakan uji beban monotonik (beban statis) pada benda uji berskala selinder dalam pengujian kuat tekan.
3. Bahan tambah yang digunakan adalah limbah plastik jenis PET dan limbah plastik jenis PP.
4. Penelitian ini tidak membahas tegangan yang diakibatkan oleh perubahan suhu dan pemuaian.

E. Manfaat Penelitian

Seiring dengan tujuan yang ingin dicapai, maka manfaat yang diharapkan dari penelitian ini mencakup dalam dua aspek yaitu :

1. Hasil penelitian yang ingin dicapai merupakan upaya akademik berdasarkan standar dan kaidah ilmiah. Oleh karena itu secara akademis penelitian ini diharapkan bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan dan dapat dijadikan acuan (referensi) atau

landasan teoritis, khususnya yang terkait dengan pemanfaatan limbah plastik dan bidang perancangan perkerasan jalan, khususnya jenis perkerasan AC-WC.

2. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi acuan bagi penerapan teknis pelaksanaan perkerasan jalan, dengan tetap berpegang pada kaidah dan referensi yang ada, terutama dalam pemanfaatan limbah plastik dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan campuran laston lapis aus.
3. Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu yang telah dikemukakan di atas maka diharapkan diperoleh kebaruan (novelty) dengan pemanfaatan limbah plastik ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja mekanik campuran aspal dan menjadi salah satu solusi dari permasalahan limbah plastik. Pemanfaatan limbah plastik (PET dan PP) yang merupakan bahan polimer diharapkan dapat menyatu dengan bahan pengikat (Asbuton Modifikasi). Penyatuan bahan polimer (PET dan PP) sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal dengan bahan pengikat Asbuton Modifikasi dapat dilakukan dengan serangkaian rekayasa laboratorium seperti pengujian karakterisasi senyawa dominan menggunakan metode XRD dan pengujian kuat tekan sebagai karakteristik mekanik campuran beraspal.

F. Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan disusun agar tetap terarah pada tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini. Sistematika penulisan yang dituliskan dalam penelitian ini adalah :

BAB I PENDAHULUAN

Dalam bab ini, berisi tentang latar belakang masalah penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian serta batasan penelitian serta sistematika penulisan. Bab ini menjelaskan permasalahan yang diamati, menjelaskan tujuan dan pentingnya hasil penelitian bagi pengembangan ilmu perkerasan jalan, ruang lingkup sebagai batasan dalam penulisan, serta sistematika dan organisasi tentang pengenalan isi per bab dalam disertasi.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam bab ini, memberikan gambaran tentang teori agregat, teori aspal Buton dan potensi-potensi Asbuton yang ada, teori aspal (bitumen), aspal minyak, informasi tentang campuran beraspal panas dan respon perkerasan akibat pembebanan serta informasi mengenai penelitian-penelitian terdahulu tentang campuran beraspal panas menggunakan Asbuton serta kerangka pikir penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Dalam bab ini, dijelaskan metode yang digunakan dalam penelitian ini, pengujian karakteristik yang dilakukan pada agregat dan limbah plastik, bagan alir penelitian, pembuatan benda uji dan rencana jumlah

benda uji, pengujian-pengujian yang dilakukan pada hasil campuran aspal panas dengan Asbuton modifikasi berupa uji Marshall (stabilitas, flow, marshall *quetiont* dan parameter lainnya) dan kuat tekan bebas (*unconfined compressive strength*).

BAB III HASIL DAN PEMBAHASAN

Menyajikan data hasil penelitian membahas tentang karakteristik campuran AC-WC yang mengandung limbah plastik dan Asbuton modifikasi, terhadap pengujian kuat tekan, toughness index dan karakteristik senyawa kimia yang dihasilkan dari masing-masing variasi campuran AC-WC dengan menggunakan kombinasi limbah plastik PET dan limbah plastik PP. Pembahasan yang dilakukan didasarkan pada hasil studi penelitian-penelitian terdahulu.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Menyajikan kesimpulan hasil analisis data penelitian dan saran sebagai hasil penelitian yang telah dilakukan sehubungan dengan tujuan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal

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

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional pada tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang rusak meliputi jalan negara sekitar 12% (3.224 km), jalan provinsi sekitar 34% (12.636 km), sementara jalan kabupaten yang rusak mencapai 47% (113.244 km) (Direktorat Jenderal Perhubungan Darat, 2005).

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

Selain masalah kerusakan struktur jalan, masalah limbah plastik juga muncul. Kedua masalah ini merupakan suatu tantangan bagi peneliti untuk melakukan penelitian yang bersifat aplikatif agar masalah tersebut dapat terselesaikan dengan baik. Oleh karena itu, penggunaan limbah plastik dapat dijadikan bahan tambah dalam campuran beraspal, khususnya pada campuran AC-WC.

Penggunaan bahan tambah dalam campuran beton aspal menjadi suatu pilihan. Ada banyak hal ketika diputuskan menggunakan bahan tambah dalam campuran aspal, salah satunya untuk meningkatkan kinerja campuran terutama dalam hal kinerja campuran beraspal dan hal ketahanan beton aspal menahan pembebanan berulang di jalan. Adapun dalam penelitian ini menggunakan limbah plastik (polimer mutu rendah) sebagai bahan tambah.

Menurut Suroso (2009), penambahan limbah plastik ke dalam campuran aspal telah banyak dilakukan baik di dalam maupun luar negeri dan telah dibuktikan dapat meningkatkan mutu campuran beraspal. Moghaddam, *et al.*, (2013) menyatakan bahwa terjadi peningkatan stabilitas dari campuran aspal

dengan menambahkan botol plastik sebesar 0-1% dari berat agregat ke dalam campuran. Penambahan limbah botol plastik tersebut meningkatkan ketahanan lelah campuran dibandingkan dengan campuran aspal biasa. Arianti, et al. (2015) memperoleh hasil penelitian bahwa seiring dengan meningkatnya kadar botol plastik dalam campuran aspal maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Kadar botol plastik yang terbaik untuk karakteristik *Marshall* adalah 2%. Israil, et al. (2012) memperoleh hasil bahwa penambahan serpih sampah plastik ke dalam campuran beton aspal AC-WC dapat meningkatkan stabilitas campuran, nilai *Marshall Quotient* (MQ), VFB (*Void Filled with Bitumen*), serta menurunkan nilai *flow*, VIM (*Void in Mix*), VMA (*Void in Mineral Agregat*).

Plastik adalah suatu polimer (material sintetik buatan manusia) yang mudah dibentuk, dicetak, mempunyai sifat unik dan luar biasa. (Mujiarto, 2005). Plastik merupakan material yang baru secara luas dikembangkan dan digunakan sejak abad ke-20 yang berkembang secara luar biasa penggunaannya dari hanya beberapa ratus ton pada tahun 1930-an, menjadi 150 juta ton/tahun pada tahun 1990-an dan 220 juta ton/tahun pada tahun 2005 (Wikipedia, 2016 a).

Selain itu, pada tanggal 5 Agustus 2017 Kementerian PUPR telah mengeluarkan surat edaran nomor SP.BIRKOM/VIII/2017/383 tentang inovasi teknologi dukung percepatan pembangunan infrastruktur PUPR. Salah satu isi dari surat edaran tersebut adalah penggunaan limbah plastik

sebagai bahan tambah dalam campuran beraspal. Belum lama ini, Kementerian PUPR juga telah menggelar uji coba aspal plastik sepanjang 700 meter yang bertempat di Universitas Udayana, Bali. Pemanfaatan limbah plastik sebagai aspal tersebut merupakan salah satu solusi bagi permasalahan sampah plastik dan berkontribusi pada isu lingkungan, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

Selain dari uji coba campuran beraspal yang menggunakan limbah plastik di Bali telah digunakan pula di Tahun 2018 di Provinsi Sulawesi Selatan yaitu di jalan Bandara lama Sultan Hasanuddin di Maros. Tahun ini, di Provinsi Sulawesi Selatan digunakan pula limbah plastik PP sebagai bahan tambah pada campuran AC-WC yang diterapkan di Jalan Poros Bukumba-Bira melalui dana APBN.

B. Deskripsi Aspal Minyak

1. Aspal Minyak (Bitumen)

Aspal atau bitumen merupakan material yang berwarna hitam kecoklatan yang bersifat viskoelastis (setelah fase elastis) sehingga akan melunak dan mencair bila mendapat cukup pemanasan sesuai dengan suhu pemanasan aspal dan sebaliknya akan mengeras kembali bila tidak mendapat cukup pemanasan (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Buku 1, Petunjuk Umum).

a. Sumber aspal (bitumen)

1). Aspal (bitumen) hasil destilasi

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

2). Aspal (bitumen) alam

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

dalam celah-celah batuan yang berbentuk kapur dan batuan pasir yang ada di daerah tersebut.

3). Aspal (bitumen) modifikasi

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

C. Asbuton Modifikasi

Kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1,2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton, sehingga kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Suaryana, 2008). Aspal yang dimodifikasi sebagai campuran aspal panas haruslah jenis Asbuton, dan elastomeric latex atau sintesis dan memenuhi ketentuan spesifikasi 2010 Bina Marga revisi 3. Aspal modifikasi memiliki kelebihan dalam mengatasi deformasi plastis pada suhu/temperatur rendah. Beberapa contoh Asbuton modifikasi yang ada digunakan adalah Retona dan BNA blend. Tabel 1 memperlihatkan persyaratan aspal yang dimodifikasi dengan aspal alam.

Tabel 1. Persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal alam (Buku 1, Dirjen Bina Marga, 2006: Pemanfaatan Asbuton)

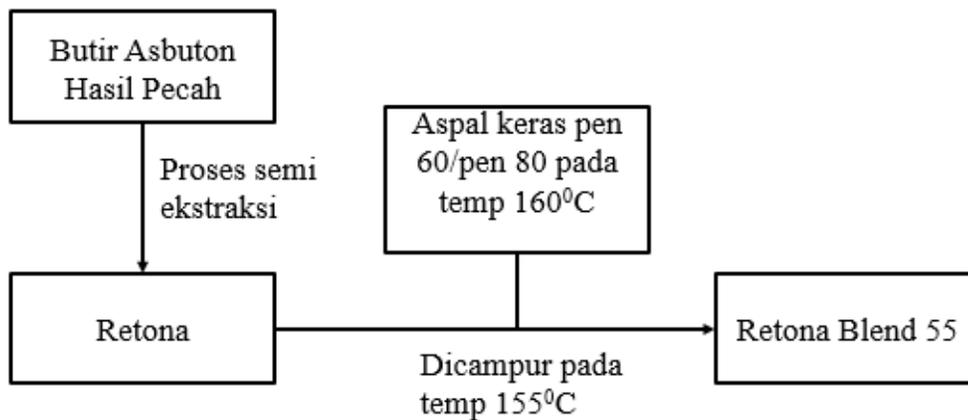
Jenis pemeriksaan	Persyaratan
Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1mm)	40-55
Titik Lembek	Min. 55
Titik Nyala	Min. 225
Daktilitas (25°C)	Min. 50
Berat Jenis (25°C)	Min. 1.0
Kelarutan Dalam <i>Tricholor Etyhylene</i> ; %Berat	Min. 90
Penurunan Berat (dengan TFOT); % Berat	Maks. 2
Penetrasi Setelah Kehilangan 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 dengan atau tanpa tambahan aspal minyak lagi untuk dipompa ke dalam *pugmill* yang berisi agregat (Soehartono, 2015).

Asbuton Tipe Retona Blend 55 merupakan aspal alam Buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu menggunakan alat dengan spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10%. Pada penelitian ini menggunakan jenis aspal alam mutu tinggi (*Retona Blend 55*) yang didapat

dari PT. Olah Bumi Mandiri-Jakarta. Retona merupakan gabungan antara Asbuton butir yang telah diekstraksi sebagian dengan aspal keras pen 60 atau pen 80 yang pembuatannya dilakukan secara fabrikasi dengan proses seperti diperlihatkan pada Gambar 1. Retona blend 55 merupakan suatu produk Asbuton yang telah mengalami proses semi ekstraksi dan dicampur dengan aspal keras pen 60 atau 80 dan dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal panas (*hot mix*).



Gambar 1. 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 leleh. 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*). Asbuton hasil olahan semi ekstraksi yaitu telah dipisahkan antara bitumen dan mineral dari aspal Buton secara pabrikasi. 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 yaitu :

1. Adhesifitas Tinggi/Ketahanan Terhadap Air

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

2. Stiffness Modulus Tinggi

Uji DSR (*Dynamic Shear Rheometer*) menunjukkan bahwa modulus Aspal 1 kPa dicapai pada suhu 72°C. Hal ini menunjukkan bahwa dalam klasifikasi PG Grading BNA BLEND masuk pada kategori Aspal PG-70, dua grade di atas Aspal Minyak Pen 60/70 pada umumnya. Konfirmasi tingginya modulus Aspal BNA Blend juga ditunjukkan oleh hasil uji wheel tracking yang jauh lebih tinggi dibandingkan aspal minyak. Dengan stabilitas dinamis yang

tinggi tersebut BNA Blend cocok diaplikasikan pada jalan-jalan berlalu lintas padat dan berat.

3. Softening Point Tinggi

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

4. Tahan retak

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

5. *Workable*

Proses aplikasi BNA Blend sejak pencampuran dan pematatannya semudah aplikasi Aspal Minyak.

6. Ekonomis & Long Life

Dengan memiliki beberapa keunggulan di atas menjadikan BNA BLEND sebagai produk yang ekonomis karena memiliki ketahanan terhadap kerusakan yang lebih tinggi dibandingkan dengan aspal minyak dan Asbuton lain. Oleh karena itu, BNA Blend dimungkinkan untuk dimanfaatkan sebagai bahan pengikat dalam campuran beraspal.

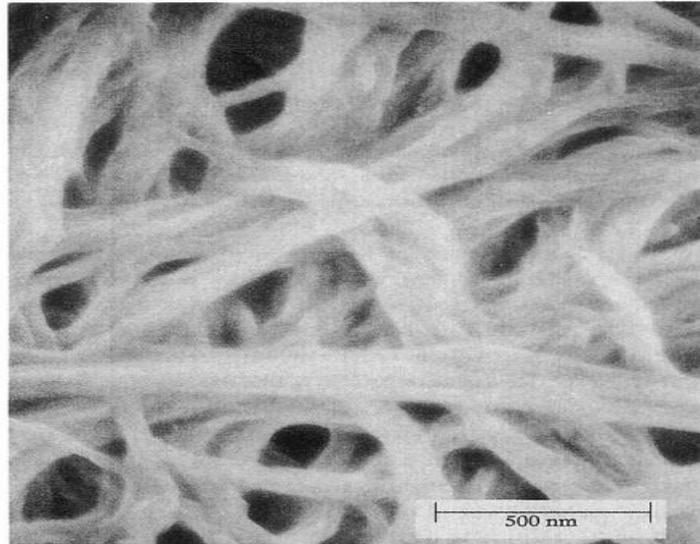
D. Bahan Tambah Dalam Campuran Beraspal

Menurut Syarief, *et.al.* dalam Nurminah (2002), plastik dibagi atas dua jenis berdasarkan sifat fisiknya, yaitu :

- (a) *Thermoplast*, merupakan jenis plastik yang bisa didaur-ulang atau dicetak lagi dengan proses pemanasan ulang. Polimer termoplastik memiliki sifat-sifat khusus yaitu jika dipanaskan akan melunak, jika didinginkan akan mengeras, mudah untuk diregangkan, fleksibel, titik leleh rendah, dapat dibentuk ulang atau di daur ulang, dan mudah larut dalam pelarut yang sesuai dengan kecocokan jenis plastik ini. Contoh plastik yang termasuk dalam jenis termoplastik adalah sebagai berikut :
- (1) **Polyethylene (PE)**, yang terdiri dari PET (*Polyethylene Terephthalate*) dengan berat jenis yaitu sebesar 1,34 -1,39; HDPE (*High Density Polyethylene*) dengan berat jenis yaitu sebesar 0,96-0,97; dan LDPE (*Low Density Polyethylene*).
 - (2) **Polyvinilklorida (PVC)** dengan berat jenis 1,37 –1,39.
 - (3) **Polipropena (PP)**.
 - (4) **Polistirena (PS)** dengan berat jenis 1,04 -1,09.
 - (5) **Polycarbonate (Other)** dengan berat jenis 1,2.
- (b) *Thermosetting*, merupakan jenis plastik yang tidak bisa didaur-ulang atau dicetak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekul yang ada pada jenis plastik ini. Sifat polimer termosetting yaitu

keras dan kaku (tidak fleksibel) sehingga jika dipanaskan jenis plastik ini akan mengeras, tidak dapat dibentuk ulang atau sukar didaur ulang, tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, dan mempunyai ikatan silang antar rantai molekul yang ada pada jenis plastik ini. Contoh plastik dengan jenis *thermosetting* adalah terdiri dari asbak, *fitting* lampu listrik, *steker* listrik, peralatan fotografi, dan radio. Oleh karena itu, jenis plastik ini harus diberikan perlakuan yang khusus pada saat ingin di daur ulang dan dimanfaatkan kembali.

Botol plastik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan *Low Density Polyethylene* (LDPE) yang merupakan salah satu dari jenis *polyethylene*, yaitu polimer yang terdiri dari rantai panjang monomer etilena (IUPAC : etena). Struktur molekul etena yang terbentuk pada struktur C_2H_4 . Dua kelompok CH_2 bersatu dengan ikatan ganda yang terjadi sehingga menjadikan struktur yang terjadi semakin kompleks. Polietilena dibentuk melalui proses polimerisasi dari etena. Polietilena umumnya bisa dilarutkan pada temperatur yang cukup tinggi dalam senyawa hidrokarbon aromatik (Wikipedia, 2016 b). Gambar 2 memperlihatkan permukaan tipis *polyethylene* hasil pengujian SEM (*Scanning Electron Machine*) yang dikutip dari hasil penelitian yang telah dilakukan oleh Israil, dkk., 2012.



Gambar 2. Permukaan tipis *polyethylene* (Israil, 2012)

Plastik jenis LDPE merupakan plastik tipe cokelat yang dibuat dari minyak bumi. Sifat mekanis jenis plastik LDPE adalah kuat, agak tembus cahaya, mempunyai sifat fleksibilitas yang tinggi, dan permukaan agak berlemak. Pada suhu 60⁰C sangat resisten terhadap senyawa kimia. Selain itu, plastik jenis ini mudah diproses, mudah larut dalam campuran, daya proteksi terhadap uap air tergolong baik, serta memiliki berat jenis 0,91–0,94 gr/cm³. LDPE termasuk jenis polietilen dengan kerapatan rendah yang diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas pada suhu tinggi (200⁰C) dan tekanan yang tinggi, serta mempunyai titik leleh 115⁰ C (Sunarya, 2011). Adapun yang termasuk plastik jenis LDPE, yaitu botol plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik, dll.

b. Plastik dan campuran aspal

Menurut Suroso (2009), ada dua teknik (metode) pencampuran plastik ke dalam campuran aspal, yaitu :

- a. Cara basah, (*wet process*), yaitu suatu cara pencampuran dimana plastik dimasukkan ke dalam aspal panas dan diaduk dengan kecepatan tinggi sampai homogen. Cara ini membutuhkan tambahan dana cukup besar antara lain bahan bakar, *mixer* kecepatan tinggi sehingga aspal modifikasi yang dihasilkan harganya cukup besar bedanya dibandingkan dengan aspal konvensional.
- b. Cara kering (*dry process*), yaitu suatu cara dimana plastik dimasukkan ke dalam agregat yang dipanaskan pada temperatur campuran, kemudian aspal panas ditambahkan. Cara ini bisa lebih mudah dibandingkan cara basah, hanya dengan memasukkan plastik ke dalam agregat panas, tanpa membutuhkan peralatan lain untuk mencampur (*mixer*). Namun, untuk cara ini harus diperhatikan kehomogenan dan keseragaman kadar plastik yang dimasukkan atau dicampurkan.

Dalam penelitian ini menggunakan cara kering untuk menambahkan plastik ke dalam campuran beton aspal. Dari segi ekonomi, cara kering lebih murah karena waktu pencampuran lebih cepat, tidak membutuhkan peralatan lain untuk mencampur, lebih mudah ditangani dari pada cara basah (Suroso, 2009), dapat meningkatkan sifat pengikatan agregat pada campuran,

mengurangi degradasi di jalan, serta mengurangi penggunaan kadar aspal pada campuran (Mir, 2015). Adapun, persentase plastik yang ditambahkan dalam campuran tidak boleh melebihi 17% (Dallas dalam Suroso, 2009) karena akan membuat karakteristiknya jauh dari disyaratkan. Selain itu, menurut Moghaddam, et.al. (2013) kepadatan dan kekakuan campuran akan meningkat jika hanya ditambahkan sedikit persentase plastik (0,2-1% dari berat agregat). Semakin besar kepadatan suatu campuran, maka akan semakin banyak jumlah siklus pembebanan yang dapat ditahan oleh beton aspal (Widodo dan Setyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran. Tabel 2 memperlihatkan perbedaan plastik jenis PP dan PET. Tabel 3 memperlihatkan jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik.

Tabel 2. Perbedaan plastik jenis PP dan PET (Wikipedia, 2018)

Perbedaan	Plastik PP	Plastik PET
Kimia	$(C_3H_6)_x$	$C_{10}H_8O_4$
Karakteristik	Lembut dan terasa berilin, lebih ringan dalam kualitas dan memiliki transparansi tertentu	Stabilitas kimia yang tinggi, property higienis yang baik dan ketahanan panas yang tinggi
Bahan Dasar	Polymer	Polyester
Titik lebur	$160^{\circ}C$	$260^{\circ}C$
Densitas	$0,855 \text{ g/cm}^3$	$1,4 \text{ g/cm}^3$

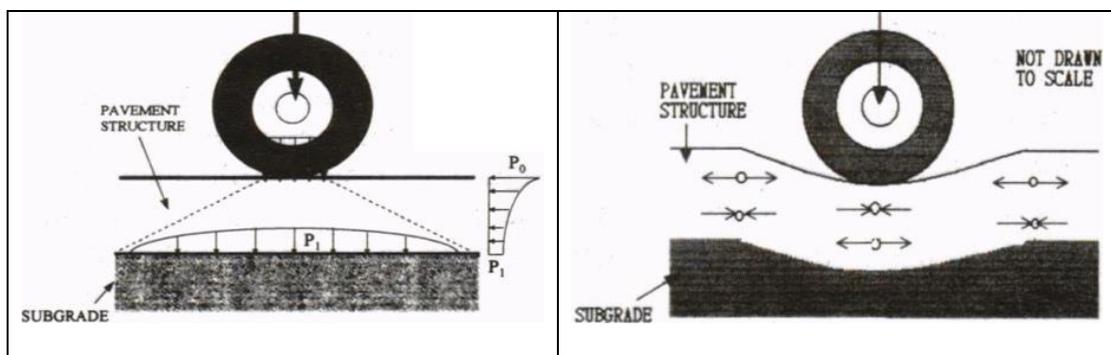
Tabel 3. Jenis-jenis plastik yang termasuk kategori termoplastik (Syarif, *et.al.* dalam Nurminah (2002))

Simbol Daur Ulang	Jenis Plastik	Sifat-sifat	Aplikasi kemasan
	Polietilen Tereftalat (PET, PETE)	Bening, kuat, tangguh non permeabel (gas dan uap air)	Soft drink, botol air-salad keju kacang
	High Density Polietilen	Kaku, kuat, tangguh, tahan lembab,	Susu, jus buah, kantong belanja
	Polivinil Klorida (PVC)	Tangguh, kuat, mudah dicampur	Botol jus, pipa air bungkus plastik
	Low Density Polietilen (LDPE)	Mudah diproses, kuat tangguh, fleksibel, mudah disegel, tahan lembab	Kantong makanan beku, botol remas (kecap, saus, madu), bungkus plastik
	Polipropilen (PP)	Kuat, tangguh, tahan panas, minyak bahan kimia, tahan lembab	Peralatan dapur, peralatan microwave, wadah yoghurt, piring dan mangkok sekali pakai
	Polistiren (PS)	Mudah dibentuk dan diproses	Karton telur, styrofoam, mangkuk sekali pakai
	Plastik lain (Polikarbonat atau ABS)	Tergantung dari jenis polimernya	Botol minuman, botol susu bayi, barang-barang elektronik

E. 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 dan potongan melintang yang ditunjukkan dalam gambar Rencana.

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

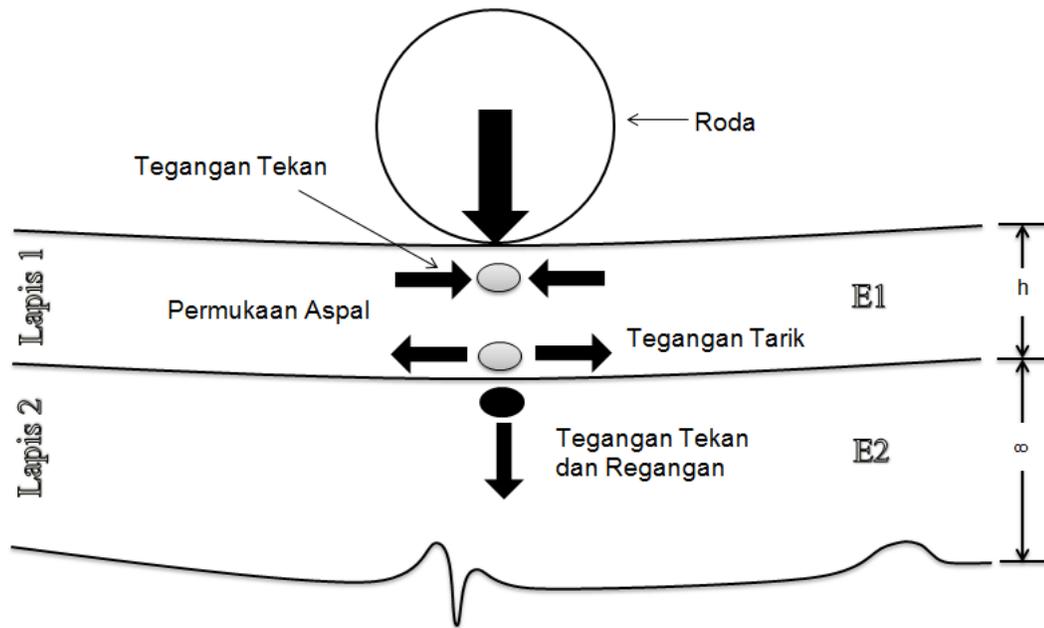


Gambar 3. Kinerja perkerasan lentur

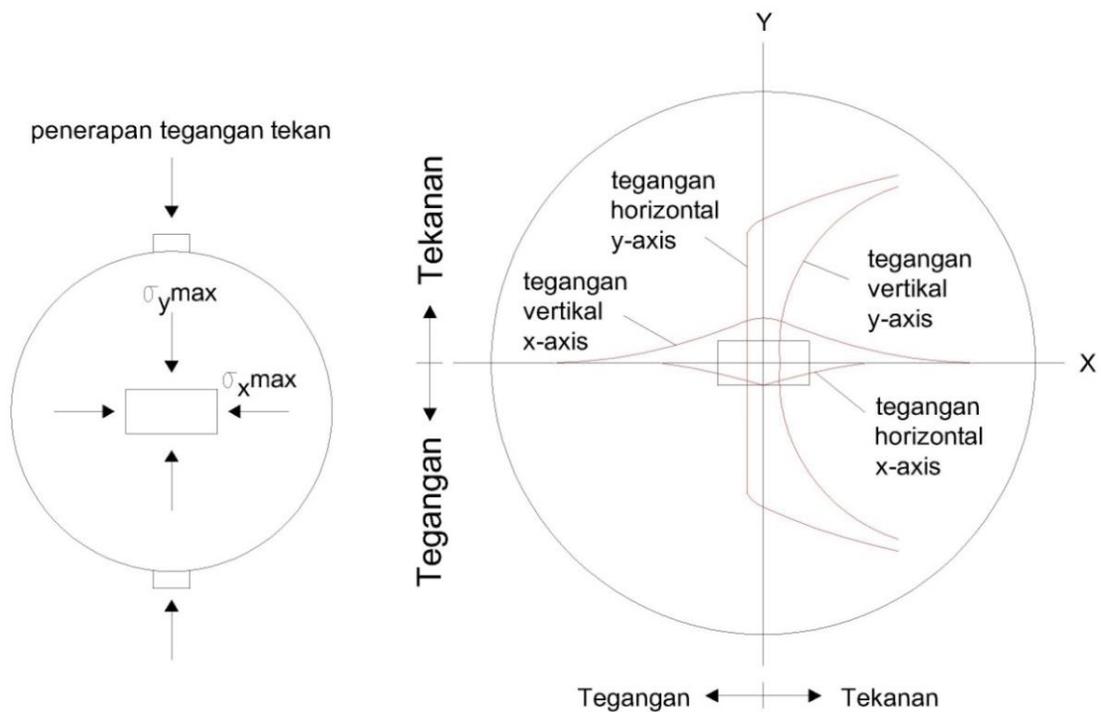
Analisis didasarkan pada pendekatan desain mekanistik (Croney *et al*, 1998 dan Huang HY, 1993), dan elastis sistem perkerasan dua lapisan linear seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4. Semua lapisan yang terletak di bawah permukaan aspal (*top-layer*) yang secara teoritis ditandai dengan satu nilai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

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

Gambar 5 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. Selain itu, adanya penyederhanaan model dengan asumsi kondisi lalu lintas sebagai pembebanan statis dan karakterisasi pada kondisi linier-elastis isotropik dari bahan itu sendiri. Dalam Gambar 4, Q adalah beban ban dengan satuan kN, p adalah tekanan ban dalam kPa, h adalah ketebalan lapisan aspal permukaan dalam mm dan E_1 serta E_2 adalah modulus elastisitas dalam MPa. Gambar 6 memperlihatkan distribusi tegangan dan tekanan yang dapat terjadi pada lapis perkerasan jalan.

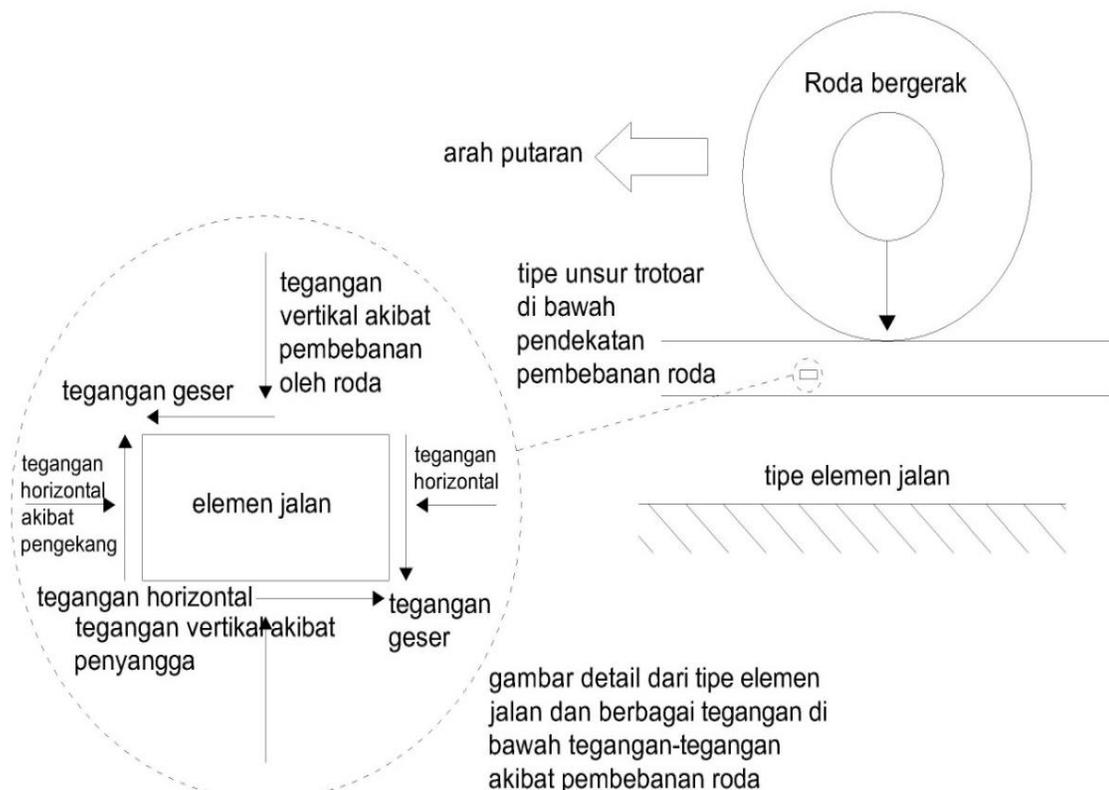


Gambar 4. Sistem perkerasan dua lapis (Walubita, 2000)



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

Berdasarkan Gambar 6 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. Penjabaran tegangan-tegangan (*The Shell Bitumen Handbook: Stephen B., 2015*)

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

F. Pengujian Kuat Tekan (*Unconfined Compression Test*)

Kuat tekan (CS) adalah suatu metode untuk mengetahui nilai beban yang dapat diterima dari suatu campuran perkerasan tanpa mengalami kegagalan. Pada konstruksi perkerasan fleksibel kuat tekan merupakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban yang ada secara vertikal. Parameter-parameter hubungan kurva tegangan-regangan merupakan karakteristik dasar dari suatu benda akibat beban jangka pendek. Dalam menentukan hubungan tegangan - regangan campuran aspal beton akibat beban tekan dalam waktu jangka pendek digunakan uji kuat tekan.

Pengujian kuat tekan (*Compressive Strength*) bertujuan untuk membuat simulasi proses pembebanan akibat aktivitas lalu lintas yang melewati lapis perkerasan jalan, seperti beban akibat roda kendaraan. Nilai kuat tekan perlu

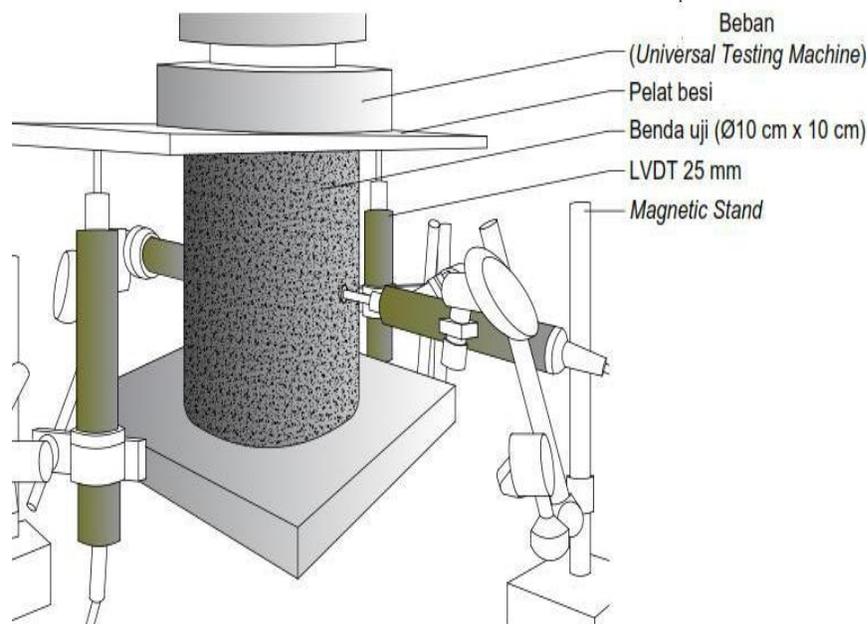
diketahui untuk mendapatkan beban maksimum yang dapat diterima oleh suatu lapis perkerasan tanpa mengalami keruntuhan/kegagalan pada lapis perkerasan. Kuat tekan menyatakan kemampuan lapisan perkerasan untuk menahan beban secara vertikal dan monotonik. *Output* atau keluaran dari pengujian kuat tekan yaitu hubungan antara nilai tegangan dan regangan yang terjadi pada lapis perkerasan.

Starodubsky dkk, (1994) melakukan penelitian yang bertujuan untuk menginvestigasi model keruntuhan benda uji aspal beton, mempelajari perilaku aspal beton di bawah beban sebagai penurunan kekuatan material, menjelaskan kurva tegangan–regangan aspal dibawah batas elastis pada daerah yang menanjak. Penelitian tersebut menggunakan benda uji dengan ukuran diameter 100 mm dan 150 mm dan dipadatkan dengan tekan pada berbagai variasi tekanan statik yang diberikan yaitu sebesar 6, 12, 18, 24, 36 MPa atau dengan getaran, kandungan bitumen adalah sebesar 4, 5, dan 6%. Agregat yang digunakan adalah agregat basal dan batu kapur (*lime stone/dolomite*).

Perkerasan tidak dirancang dalam kondisi runtuh, tapi dalam kondisi dimana regangan yang terjadi masih kecil (zona elastis). Oleh karena itu, dalam perancangan perkerasan dibutuhkan untuk mengetahui sifat-sifat elastis material perkerasan dan seberapa tingkat tegangan yang masih dapat ditahan oleh perkerasan tanpa menyebabkan retak atau deformasi yang berlebihan pada perkerasan jalan (Hary, 2015).

Gaus (2015) meneliti tentang karakteristik campuran AC-BC yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA). Variasi kandungan BGA yang digunakan yaitu 0%, 5% dan 8%. Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa campuran dengan kandungan BGA 5% memiliki nilai kuat tekan paling besar di antara ketiga variasi campuran yaitu 4,45 MPa, sedangkan pada campuran dengan kandungan BGA 0% diperoleh 3,53 MPa dan sebesar 3,88 MPa pada campuran dengan kandungan BGA 8%.

Gambar 7 menunjukkan sketsa proses pengujian kuat tekan pada campuran beraspal dengan menggunakan alat *Universal Testing Machine* dan *LVDT Displacement Transducer* yang dihubungkan ke *Data Logger* untuk mendapatkan pembacaan lendutan yang terjadi.



Gambar 7. Sketsa pengujian kuat tekan

Kurva yang dihasilkan oleh aspal beton dapat memperlihatkan pola yang umum yang terlihat pada beton dan batuan. Analisa menunjukkan bahwa kurva tegangan–regangan dapat dibagi dalam lima bagian yang spesifik. (Peng dkk, 2006) menggunakan pengujian kuat tekan pada benda uji berdiameter 100 mm dan tinggi 100 mm yang diambil dari inti bor pada benda uji aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*).

Widajat dkk, (2009) mengatakan untuk mengevaluasi kinerja campuran aspal busa digunakan uji *compressive strength* dengan menggunakan benda uji selinder yang didapatkan dari hasil *core drill* perkerasan *fleksibel*.

ASTM mengeluarkan pedoman dalam pengujian *compressive strength* dengan kode D1074-09 (*Standart test method for compressive strength of bituminous mixtures*).

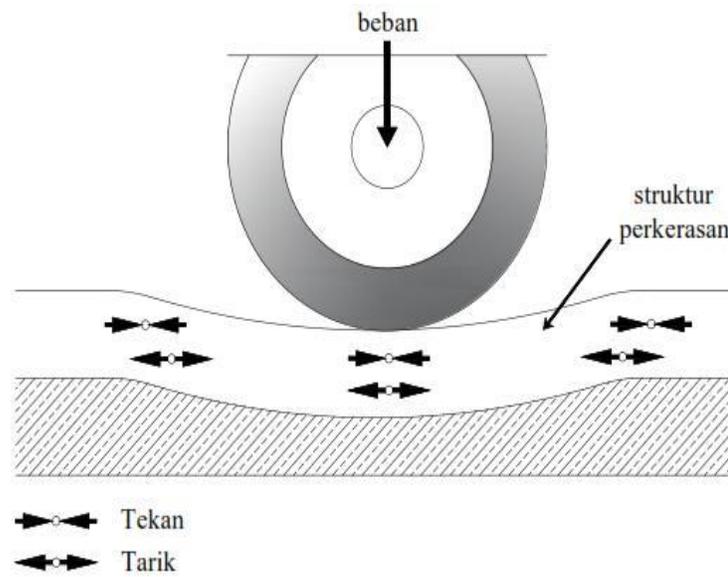
1. Tegangan

Proses pembebanan yang dilakukan secara terus menerus pada suatu material akan menghasilkan tegangan dan implikasinya menghasilkan regangan. Tegangan merupakan intensitas beban reaksi pada setiap titik dalam material yang dikenakan oleh beban layanan atau beban rencana, umur layan dari perkerasan jalan, kondisi perakitan, fabrikasi, dan perubahan termal atau perubahan suhu yang terjadi pada material (Jastrzabski, 1987).

Tegangan (*stress*) menyatakan besarnya beban maksimum yang dapat diterima terhadap luas penampang suatu benda, atau dapat dikatakan

gaya yang bekerja sebanding dengan panjang benda dan berbanding terbalik dengan luas penampangnya.

Pada lapisan perkerasan, beban lalu lintas yang ada melewati lapisan perkerasan dapat menyebabkan tegangan tekan, yaitu pada lapisan bagian atas, serta tegangan tarik pada lapisan bagian bawah seperti yang ditampilkan pada Gambar 8.



Gambar 8. Tegangan yang terjadi pada lapisan perkerasan (*Highway Materials, Soils and Concretes* (Atkins, 2003))

Tegangan dinyatakan dalam persamaan 1.

$$\sigma = \frac{F}{A} \dots \dots \dots (1)$$

Dimana :

σ = Tegangan (MPa)

$F = \text{Gaya (N)}$

$A = \text{Luas penampang (mm}^2\text{)}$

2. Regangan

Regangan menyatakan deformasi relatif akibat adanya tegangan (tarik atau tekan) (Walubita, 2000). Nilai regangan diperoleh dari hasil perbandingan antara besarnya perubahan dimensi (ΔL) yang terjadi akibat pembebanan terhadap dimensi mula-mula (L_0), atau dituliskan dengan persamaan 2.

$$\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \dots\dots\dots(2)$$

dimana :

ε = Regangan (mm)

ΔL = Perubahan panjang (mm)

L_0 = Panjang mula-mula (mm)

3. Elastisitas

Berdasarkan hukum *Hooke*, rasio nilai tegangan terhadap nilai regangan merupakan karakteristik tetap dari sebuah material, dan nilai keseimbangan ini disebut modulus elastisitas (Jastrzabski, 1987). Modulus Elastisitas atau Modulus Young merupakan perbandingan konstan antara tegangan dan regangan aksial yang terjadi pada suatu material dalam deformasi yang elastis, atau nilai modulus elastisitas dapat dinyatakan dalam persamaan 3.

$$E = \frac{\sigma}{\varepsilon} \dots\dots\dots(3)$$

Dimana :

E = Elastisitas (MPa)

σ = Tegangan (MPa)

ε = Regangan

Pengujian kuat tekan merupakan salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk mengetahui tegangan-regangan dalam campuran aspal. Parameter kurva tegangan-regangan merupakan karakteristik utama dalam campuran aspal.

Modulus elastisitas merupakan ukuran kekakuan suatu material, sehingga semakin tinggi nilai modulus elastisitas bahan, maka semakin sedikit perubahan bentuk yang terjadi apabila diberi gaya. Jadi, semakin besar nilai modulus ini maka semakin kecil regangan elastis yang terjadi atau semakin kaku. Modulus elastisitas menggambarkan ukuran kemampuan suatu bahan untuk kembali ke posisi semula setelah mengalami deformasi atau perubahan bentuk.

4. *Poisson Ratio*

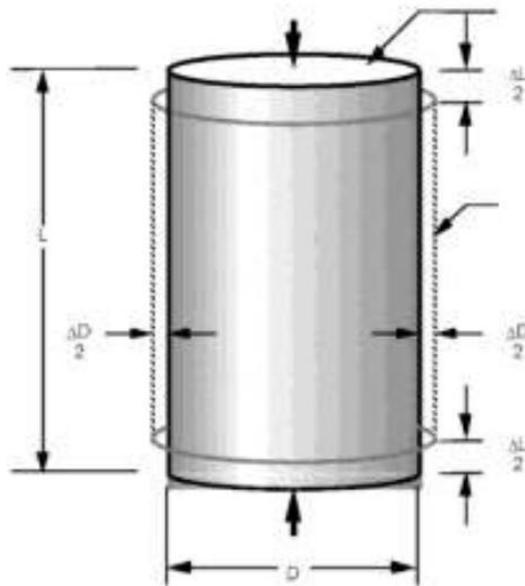
Salah satu parameter penting yang digunakan dalam analisis respon beban pada sistem perkerasan jalan adalah *poisson ratio*. *Poisson ratio* dapat digambarkan sebagai perbandingan antara regangan horizontal terhadap regangan vertikal dari suatu bahan yang dibebani dengan beban

monotonik secara terus menerus hingga mencapai beban ultimate. *Poisson ratio* bervariasi yaitu berada diantara 0 - 0,5. Angka poisson material perkerasan jalan yang berbeda-beda (Huang,1993) dapat ditunjukkan pada Tabel 4. Nilai poisson rasio dapat terjadi pada daerah elastis dan daerah viscoelastis dari suatu material dimana daerah elastis merupakan daerah yang menunjukkan garis lurus pada hubungan tegangan dan regangan.

Tabel 4. Angka poisson material perkerasan jalan (Huang, 1993)

Material	Kisaran	Tipikal
Hot mix asphalt (HMA)	0,30 – 0,40	0,35
Portland cement concrete (PCC)	0,15 – 0,20	0,15
Untreated granular materials	0,30 – 0,40	0,35
Cement-treated granular materials	0,10 – 0,20	0,15
Cement-treated fine-grained soils	0,15 – 0,35	0,25
Lime-stablized materials	0,10 – 0,35	0,20
Lime-flyash mixtures	0,10 – 0,15	0,15
Loose sand or silty sand	0,20 – 0,40	0,30
Dense sand	0,30 – 0,45	0,35
Fine-grained soils	0,30 – 0,50	0,40
Saturated soft clays	0,40 – 0,50	0,45

Menurut Taherkhani dkk, (2008) *Poisson ratio* adalah merupakan parameter utama dalam analisis elastik campuran aspal dan juga digunakan dalam analisis *viscoelastic* dan *elasto-visco-plastic*. Dalam analisis viscoelastis merupakan daerah yang dapat terjadi setelah material mengalami fase elastis. Sketsa pengujian poisson ratio dapat ditunjukkan pada Gambar 9.



Gambar 9. Sketsa pengujian *poisson ratio* (Huang, 1993)

5. *Toughness*

Toughness adalah kemampuan suatu material dalam menyerap energi selama proses deformasi plastis. Dalam pengujian tarik statis, energi ini diukur dari area yang berada di bagian bawah kurva tegangan – regangan,

yang mewakili pekerjaan yang diperlukan untuk mematahkan benda uji. Sifat spesifik ini disebut dengan modulus toughness, yang merupakan jumlah maksimum energi volume satuan bahan dapat menyerap tanpa patah. Jika kurva tegangan – regangan tidak tersedia, modulus toughness (T) dapat ditentukan dengan mengalikan rata – rata tegangan yield dan tegangan Ultimate dari regangan yang gagal (Jastrzabski, 1987). Gambar 10 memperlihatkan diagram hubungan tegangan dan regangan menurut Jastrzabski, 1987.

$$T = \frac{\sigma_y + \sigma_u}{2} \times \epsilon_f \dots\dots\dots(4)$$

$$T = \frac{2}{3} \sigma_u \times \epsilon_f \dots\dots\dots(5)$$

Dimana :

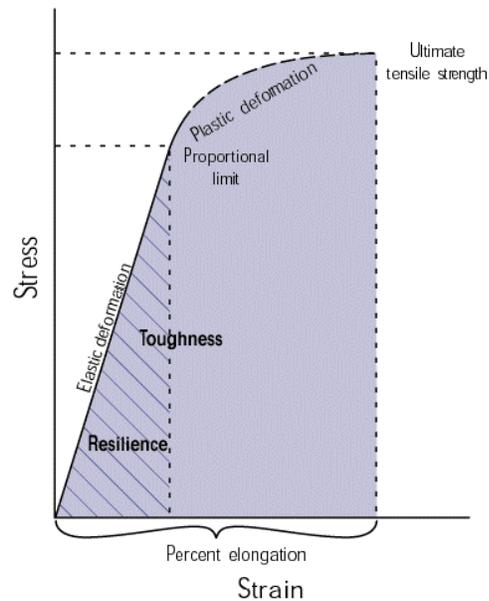
T = Toughness (MPa/mm)

σ_y = Tegangan yield (MPa)

σ_u = Tegangan ultimate (MPa)

ϵ_f = Regangan putus (mm/mm)

Untuk bahan yang memiliki kurva tegangan – regangan dengan bentuk parabola seperti besi cor dan beton, modulus toughness ditentukan dengan mengalikan dua per tiga dari kekuatan maksimal dari unit regangan saat putus (Jastrzabski, 1987).



Gambar 10. Diagram tegangan-regangan (Jastrzabski, 1987)

6. *Toughness Index*

Toughness Index merupakan parameter yang menggambarkan karakteristik ketangguhan yaitu kemampuan material untuk menyerap energi dan deformasi tanpa mengalami keruntuhan pada suatu campuran di daerah pasca tegangan *ultimate*, dihitung dari kurva tegangan-regangan (Modarres, 2013). Gambar 11 memperlihatkan hubungan antara nilai ITS dengan strain. Nilai toughness indeks dapat dihitung dengan persamaan 6.

$$TI = \frac{A\varepsilon - A_p}{\varepsilon - \varepsilon_p} \dots\dots\dots(6)$$

Dimana:

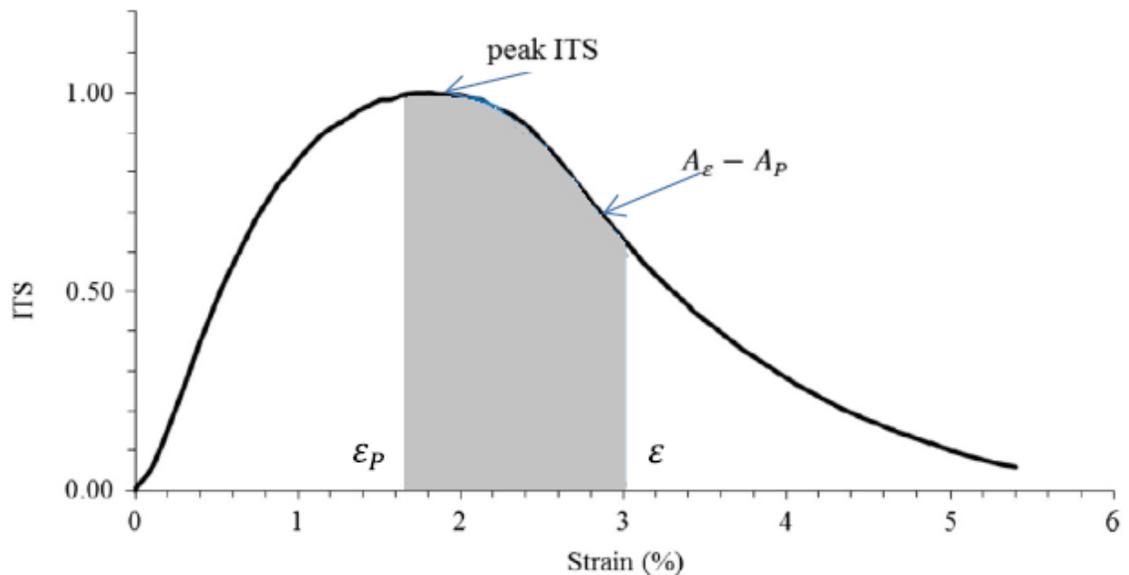
TI = Toughness Indeks

$A\varepsilon$ = Luasan kurva sampai regangan putus

A_p = Luasan kurva sampai regangan ultimate

ϵ = Regangan putus (mm/mm)

ϵ_p = Regangan ultimate (mm/mm)

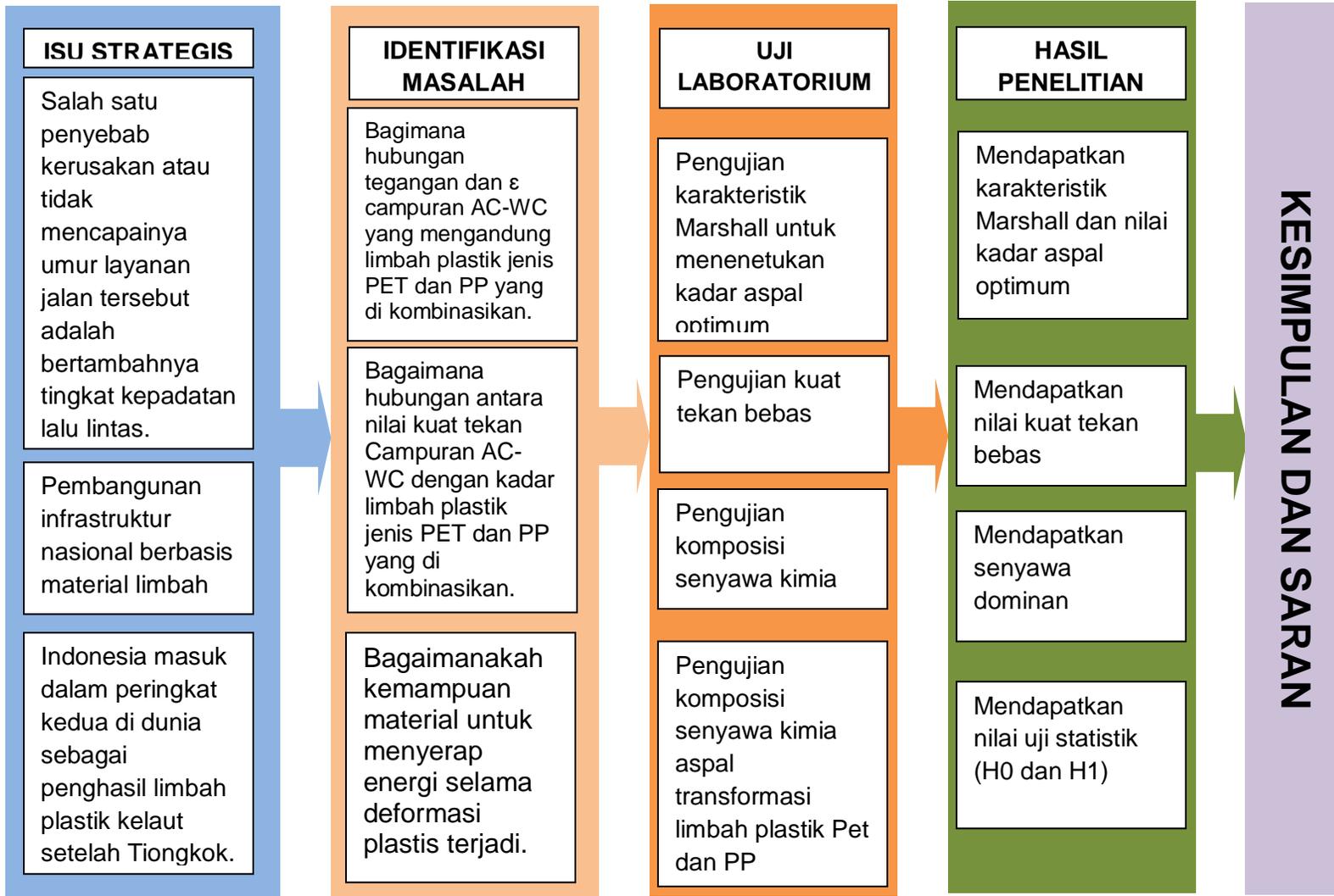


Gambar 11. Hubungan nilai CS dan strain (Modarres, 2013)

G. Kerangka Pikir Penelitian

Dalam upaya mendorong percepatan pembangunan infrastruktur daerah saat ini, Kementerian PUPR melalui direktorat jenderal bina konstruksi telah mencanangkan pemanfaatan material-material buangan dan material-material lokal. Pemanfaatan limbah plastik yang mana Indonesia saat ini berada pada urutan kedua di dunia sebagai pembuang limbah plastik ke laut setelah Tiongkok. Limbah plastik juga merupakan limbah yang tidak dapat terurai sendiri di alam, jadi membutuhkan penelitian yang aplikatif

untuk mengurangi jumlahnya. Oleh karena itu, penelitian ini mencoba melakukan eksperimental di laboratorium dengan menggunakan penggunaan material buangan seperti limbah plastik yang mana dalam penelitian ini akan membandingkan dua jenis limbah plastik yaitu PET dan PP yang di kombinasikan. Campuran yang dibuat merupakan campuran AC-WC dengan pengujian kuat tekan. Gambar 12 memperlihatkan kerangka pikir penelitian.



Gambar 12. Kerangka pikir penelitian