

TESIS

STUDI KEKUATAN TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG ASPAL BUTON DAN MENGUNAKAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH

INDIRECT TENSILE STRENGTH STUDY OF AC-WC MIXTURE CONTAINING BUTON ASPHALT AND USING PLASTIC WASTE AS ADDITIONAL MATERIAL

ROBERT ALEXANDER MANIAGASI

P2304216005



**PROGRAM STUDI MAGISTER TEKNIK SIPIL
DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2020**



Optimization Software:
www.balesio.com

TESIS

STUDI KEKUATAN TARIK TIDAK LANGSUNG CAMPURAN AC-WC YANG MENGANDUNG ASPAL BUTON DAN MENGGUNAKAN LIMBAH PLASTIK SEBAGAI BAHAN TAMBAH

Disusun dan diajukan oleh
ROBERT ALEXANDER MANIAGASI
Nomor Pokok P2304216005

Telah dipertahankan di depan Panitia Ujian Tesis
Pada tanggal 01 September 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


Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT
Ketua Program Studi
S2 Teknik Sipil


Prof. Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT
Dekan Fakultas Teknik
Universitas Hasanuddin



PERNYATAAN KEASLIAN TESIS/DISERTASI

Yang bertanda tangan di bawah ini

Nama : ROBERT ALEXANDER MANIAGASI

Nomor mahasiswa : P2304216005

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, 05 November 2020

Yang menyatakan



Robert Alexander Maniagasi



KATA PENGANTAR

Puji Tuhan kami panjatkan kehadiran Tuhan yang maha kuasa yang atas izinnya sehingga penelitian dan penulisan ini yakni ***“Studi Kekuatan Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC Yang Mengandung Aspal Buton Dan Menggunakan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah”*** dapat terselesaikan. Dalam melaksanakan penelitian ini upaya dan perjuangan keras kami lakukan dalam menyelesaikannya.

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

Penghargaan yang setinggi tingginya kepada ; Rektor Universitas Hasanuddin (**Prof. Dr. Dwia Aries Tina Pulubuhu, MA**), bapak **Prof. Dr. Ir. Jamaluddin Jompa, M.Sc** (Dekan Sekolah Pascasarjana Universitas Hasanuddin), bapak **Prof. Dr. Ir. H. Muh. Arsyad Thaha, MT**. (Dekan

Teknik Universitas Hasanuddin), Ketua Jurusan Sipil Fakultas Universitas Hasanuddin (bapak **Prof. Dr. M. Wihardi Tjaronge, Eng**), bapak **Dr. Eng. Ir. Hj. Rita Irmawaty, ST., MT**. (Ketua



Program Studi S2 Teknik Sipil Universitas Hasanuddin) dan bapak/ibu dosen Pascasarjana Universitas Hasanuddin yang telah mengarahkan dan membimbing dalam proses perkuliahan. Bapak/ibu staf Pascasarjana Unhas dan staf Prodi S2 Teknik Sipil yang sangat membantu dalam proses administrasi, kami sampaikan banyak terima kasih.

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

Makassar, November 2020

Robert Alexander Maniagasi



ABSTRAK

ROBERT ALEXANDER MANIAGASI. Studi Kekuatan Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC Yang Mengandung Aspal Buton Dan Menggunakan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah (dibimbing oleh **H. M. Wihardi Tjaronge** dan **H. Mubassirang Pasra**).

Kebutuhan aspal secara nasional di Indonesia tidak dapat dipenuhi oleh produksi aspal minyak dalam negeri, sehingga setengah dari jumlah tersebut masih harus diimpor. Salah satu alternatif untuk mengurangi impor aspal minyak adalah memanfaatkan sumber daya mineral alam yang terdapat di Pulau Buton yaitu Asbuton. Di Indonesia, menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan masuk dalam peringkat kedua di dunia sebagai penghasil limbah plastik kelaut setelah Tiongkok. Dalam konteks keempat isu tersebut, penelitian ini bertujuan menganalisis kinerja campuran aspal porus yang menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat dan limbah plastik jenis PET sebagai bahan tambah. Penelitian ini berbasis penelitian eksperimental di laboratorium, dimana jenis gradasi campuran AC-WC yang digunakan adalah gradasi Spesifikasi Umur 2018, Indonesia . Di buat benda uji AC-WC dengan kadar aspal optimum 6,25% berdasarkan pengujian karakteristik Marshall dengan penambahan kadar limbah plastik sebesar 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% dari berat total agregat. Hasil penelitian ini memperlihatkan bahwa peningkatan kinerja campuran AC-WC baik dengan penambahan limbah plastik PET menunjukkan bahwa limbah plastik jenis PET dapat menyatu sebagai bahan polimer dengan bitumen aspal minyak serta bitumen ekstraksi Asbuton yang terdapat dalam Aspal Buton Modifikasi sehingga dapat menambah kekuatan ikatan bahan-bahan pengikat.

Kata kunci : AC-WC, Aspal Buton Modifikasi, Limbah plastik, Kuat tarik tidak langsung




ABSTRACT

ROBERT ALEXANDER MANIAGASI. Study of Indirect Tensile Strength AC-WC Mixture Containing Buton Asphalt and Using Plastic Waste as Additive (supervised by **H. M. Wihardi Tjaronge** and **H. Mubassirang Pasra**).

The increase in national asphalt demand in Indonesia cannot be met by domestic asphalt production, so that half of that amount must still be imported. One alternative to reduce the import of asphalt is to utilize natural mineral resources found on Buton Island, namely Asbuton. In Indonesia, according to the Indonesia Solid Waste Association (2013), the type of plastic waste is ranked second at 5.4 million tons per year and ranks second in the world as a producer of marine plastic waste after China. In the context of these four issues, this study aims to analyze the performance of porous asphalt mixtures that use modified Asbuton as a binder and waste PET type plastic as added material. This research is based on experimental research in the laboratory, where the type of porous asphalt mixture gradation used is Specified by Indonesia requirement, 2018. The optimum bitumen content obtained was 6.25% based on the testing of Marshall characteristics with the addition of plastic waste content of 0,0%, 0.5%, 1.0%, 1.5%, 2.0% and 2.5% of total aggregate weight were used to prepared AC-WC mixture. The results of this study showed that the increase in the performance of AC-WC mixtures due to the addition of plastic waste indicates that PET type plastic waste can be fused as polymeric with bituminous petroleum and extraction bitumen Asbuton so that it increased the bonding strength of binding materials.

Keywords : AC-WC, Modified Buton asphalt, Plastic waste, Indirect tensile strength




DAFTAR ISI

	Halaman
KATA PENGANTAR	i
ABSTRAK	iii
ABSTRACT	iv
DAFTAR ISI	v
DAFTAR TABEL	viii
DAFTAR GAMBAR	x
DAFTAR NOTASI	xii
BAB I PENDAHULUAN	
A. Latar Belakang	1
B. Rumusan Masalah	8
C. Tujuan Penelitian	9
D. Batasan Masalah	10
E. Manfaat Penelitian	10
F. Sistematika Penulisan	11
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
A. Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal dan Nilai Strategis Aspal Alam Buton	13
B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Buton	17
C. Bahan Tambah Dalam Campuran Beraspal	28
D. Asbuton Modifikasi (Retona)	32



E. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (<i>Indirect Tensile Strength</i>).....	35
F. Pengujian Stabilitas Marshall.....	37
G. Studi Empirik Penelitian Terdahulu.....	42

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian	48
B. Rancangan Penelitian	50
C. Pengujian Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC).	57
D. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji	61

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Material.....	62
B. Penentuan Gradasi Campuran.....	72
C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan	74
D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC Tanpa Menggunakan Limbah Plastik PET	75
E. Rancangan Komposisi Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET Pada Kadar Aspal Optimum.....	86
F. Hubungan Tegangan-Regangan Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephthalate).....	87



G. Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC dengan Penambahan Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephtalate)	94
H. Poisson Rasio, Elastisitas dan Toughness Index Akibat Beban Tarik Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephtalate)	96
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	
A. Kesimpulan.....	105
B. Saran	105
DAFTAR PUSTAKA	106



DAFTAR TABEL

Nomor	Halaman
1. Perkiraan Deposit Asbuton	23
2. Tipikal Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	23
3. Sifat-Sifat Fisik Bitumen Asbuton	24
4. Sifat-Sifat Kimia Bitumen Asbuton.....	25
5. Komposisi Kimia Mineral Asbuton	26
6. Jenis Pengujian Dan Persyaratan Asbuton Butir	27
7. Persyaratan Aspal Dimodifikasi Dengan Aspal Alam.....	35
8. Metode Pengujian Karakteristik Agregat	52
9. Metode Pengujian Karakteristik Asbuton Modifikasi	53
10. Gradasi Agregat Gabungan Laston.....	57
11. Jumlah Benda Uji Untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)	61
12. Jumlah Benda Uji (Dalam Kondisi KAO)	62
13. Karakteristik Sifat Fisik Agregat Kasar	63
14. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu	64
15. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Filler (Abu Batu)	64
16. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Asbuton Modifikasi	65
17. Karakteristik Kimia Filler Abu Batu	67
Karakteristik Kimia Asbuton Modifikasi	68



19.	Komposisi Material dalam Berat untuk 1200 gram Benda Uji Tanpa Limbah Plastik.....	75
20.	Hasil Pengujian Karakteristik Marshall Untuk Seluruh Parameter	76
21.	Analisis Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Menggunakan Asbuton Modifikasi Tanpa Limbah Plastik	85
22.	Komposisi Material dalam Berat untuk 1200 gram Benda Uji dengan Penambahan Limbah Plastik PET Pada Kadar Aspal Optimum 6,25%	87
23.	Rekapitulasi Nilai Kuar Tarik, Regangan Vertikal dan Horizontal	94
24.	Nilai Poisson Rasio, Modulus Elastisitas dan Toughness Index Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik.....	98



DAFTAR GAMBAR

Nomor		Halaman
1.	Lokasi Deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara	21
2.	Permukaan Tipis Polyethylene	30
3.	Alur Proses Pembuatan Asbuton Modifikasi Blend 55 Secara Fabrikasi	33
4.	Diagram Pembebanan Uji ITS	36
5.	Bagan Alir Penelitian	49
6.	Alat Uji Marshall	59
7.	Pengujian Indirect Tensile Strength	60
8.	Permukaan Tipis Polyethylene	66
9.	Hasil Uji XRF Limbah Plastik Jenis PET	69
10.	Hubungan Sudut Phase dengan Intensitas Asbuton Modifikasi	70
11.	Hubungan Sudut Phase dengan Intensitas Limbah Plastik	71
12.	Gradasi Agregat Gabungan	73
13.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Stabilitas Tanpa Limbah Plastik	77
14.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Flow Tanpa Limbah Plastik	79
15.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai Marshall Quetiont Tanpa Limbah Plastik	80
	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai IM Tanpa Limbah Plastik	82



17.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VMA Tanpa Limbah Plastik	83
18.	Hubungan Kandungan Kadar Asbuton Modifikasi Terhadap Nilai VFB Tanpa Limbah Plastik	84
19.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Tanpa Limbah Plastik.....	88
20.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Dengan Limbah Plastik 0,5%	89
21.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Dengan Limbah Plastik 1,0%	90
22.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Dengan Limbah Plastik 1,5%	91
23.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Dengan Limbah Plastik 2,0%	92
24.	Hubungan $\sigma - \epsilon$ Benda Uji Dengan Limbah Plastik 2,5%	93
25.	Hubungan Kadar Limbah Plastik PET Dengan Nilai Kuat Tarik Tidak Langsung.....	96
26.	Hubungan Kadar Limbah Plastik Dengan Poisson Rasio	100
27.	Hubungan Kadar Limbah Plastik Dengan Modulus Elastisitas..	102
28.	Hubungan Kadar Limbah Plastik Dengan Toughness Index.....	104



DAFTAR NOTASI

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



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



BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Pada pembangunan sarana 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.

Indonesia memiliki aspal alam dikenal dengan nama Asbuton, dinamakan demikian karena lokasi aspal berada di pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Kadar bitumen dalam Asbuton bervariasi dari 10-40%, bahkan pada beberapa lokasi dijumpai dengan kadar bitumen 90% yang dapat dijumpai pada daerah Kabungka dan Lawele. Asbuton memiliki deposit cukup besar sekitar 600 juta ton (Affandi, 2006). Deposit Asbuton diperkirakan setara dengan 24 juta aspal minyak (Suryana, 2003; Tjaronge & Irmawaty, 2012).

Pemerintah terus mendorong penggunaan Asbuton untuk dipergunakan pada konstruksi perkerasan jalan raya. Pada tahun 2006, melalui Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Nomor 35/PRT/M/2006

Peningkatan Pemanfaatan Aspal Buton untuk Pemeliharaan dan
gunan Jalan meyakinkan bahwa setelah melalui uji coba
n dan laboratorium, pemanfaatan Asbuton dalam pemeliharaan



dan pembangunan jalan cukup layak secara teknis dan ekonomi, dapat meningkatkan kekuatan dan ketahanan jalan.

Beberapa ahli perkerasan jalan telah melakukan penelitian pemanfaatan Asbuton jenis Lawele tipe 20/25 sebagai bahan substitusi aspal penetrasi 60/70 (Affandi dkk., 2006; Hermadi dkk., 2006; Suaryana dkk., 2008). Salah satu jenis perkerasan jalan raya yang sedang dikembangkan sebagai lapis aus (*wearing course*) adalah Aspal Porus (*Porous Asphalt*). Campuran perkerasan aspal ini menggunakan gradasi terbuka (*open graded*) yang didominasi oleh agregat kasar sebanyak 70%-85% dan agregat halus sebanyak 30%-15% (Tjaronge dkk., 2013) untuk mendapatkan pori yang cukup tinggi sehingga diperoleh tingkat permeabilitas campuran yang tinggi, dimana permeabilitas difungsikan untuk *subsurface drain* (Ali dkk., 2013).

Aspal beton (AC) atau lapis aspal beton (laston) salah satu jenis perkerasan fleksibel yang banyak diterapkan di Indonesia. Laston yang dikenal di Indonesia terdiri dari *asphalt concrete wearing course* (AC WC), *asphalt concrete binder course* (AC BC), dan *asphalt concrete base* (AC base). Campuran aspal AC BC merupakan lapis pengikat dengan gradasi yang lebih kasar dari AC WC tetapi lebih halus daripada AC base. Laston biasanya digunakan pada daerah yang mengalami deformasi tinggi seperti daerah pegunungan, gerbang tol atau pada daerah dekat lampu lalu lintas

arah 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, 2008). 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.

at ini pemakaian bahan tambah kedalam campuran beton aspal 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% 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.

Di Indonesia, menurut *Indonesia Solid Waste Association* (2013), jenis limbah plastik menduduki peringkat kedua sebesar 5,4 juta ton per tahun dan 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*), dimana plastik yang tergolong jenis ini bersifat *thermoplast*, dapat dicetak

berulang (mudah didaur ulang), dan memiliki densitas antara 0,910 – 0,930 g/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.

Di Afrika, Sojobi *et al* (2016) meneliti tentang efek daur ulang botol plastik (PET) pada beton aspal dan diperoleh bahwa karakteristik *Marshall* meningkat seiring penambahan PET. Di India, Rajput dan Yadav (2016) menyelidiki penggunaan limbah plastik dalam proporsi yang berbeda pada campuran aspal dan diperoleh bahwa stabilitas *Marshall* berada dalam keadaan maksimum ketika 12% limbah plastik ditambahkan kedalam campuran. Di Portugal, Fernandes *et al* (2015) mengembangkan suatu inovasi bitumen penggunaan limbah plastik dan oli motor yang hasilnya bahwa penambahan limbah plastik meningkatkan beberapa karakteristik penting campuran aspal. Di Argentina, Angelone *et al* (2015) menyelidiki suatu pendekatan ramah lingkungan terhadap pengaruh limbah plastik

campuran aspal yang menunjukkan bahwa penggunaan limbah dapat menaikkan karakteristik campuran. Di Mesir, Mohammed *et*



al (2014) mengevaluasi penambahan beberapa jenis polimer pada beton aspal dan dihasilkan bahwa penambahan polimer dalam keadaan optimum meningkatkan viskositas kinematik, stabilitas, *indirect tensile strength* dan menurunkan nilai penetrasi. Di Arab Saudi, Musa & Haron (2014) juga meneliti tentang limbah plastik jenis LDPE dan memperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan karakteristik campuran aspal ketika ditambahkan limbah plastik LDPE dimana peningkatan signifikan terjadi pada stabilitas. Di Malaysia juga telah dilakukan penelitian oleh Soltani *et al* (2015) yang diperoleh hasil bahwa salah satu variabel yang mempengaruhi umur kelelahan dari campuran aspal adalah penggunaan plastik.

Di Indonesia, Arianti dkk (2015) menyelidiki kadar aspal optimum (KAO) serta karakteristiknya pada campuran aspal beton dengan atau tanpa menggunakan limbah plastik PET. Hasil penelitian ini menunjukkan seiring dengan meningkatnya kadar PET maka akan meningkatkan stabilitas, VMA, VFA, *flow*, dan MQ, serta menurunkan VIM. Israil dkk (2012) meneliti pengaruh penambahan serpihan plastik terhadap karakteristik campuran aspal beton dan diperoleh hasil bahwa terjadi peningkatan pada karakteristik *Marshall* terutama stabilitas dan juga penelitian dilakukan oleh Amiruddin dkk (2012) yang memperoleh hasil bahwa dengan penambahan polimer kedalam campuran aspal akan

atkan nilai stabilitas yang mengindikasikan bahwa *interlocking* regat semakin baik.



Hal yang harus diperhatikan dalam perencanaan perkerasan jalan adalah keawetan (*durability*). Sebagaimana diketahui bahwa aspal peka terhadap temperatur, karena aspal bersifat termoplastis, berarti akan menjadi keras atau kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah (Erwin, 2012). Mutu suatu campuran aspal dalam pelaksanaan konstruksi sebagai bahan perkerasan jalan dilapangan dipengaruhi beberapa faktor, salah satunya adalah faktor temperatur.

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 DJ & Siegfried, 2006).

Hasil pengkajian menunjukan penambahan bitumen Asbuton bisa menjadikan aspal lebih keras, lebih tahan terhadap temperature tinggi yang ditunjukan dengan nilai titik lembeknya yang meningkat serta menjadi lebih kuat terhadap perubahan temperature (Affandi, 2006).

Selain itu hasil pengkajian juga telah dilakukan dengan penambahan

plastik menjadikan campuran beraspal lebih kuat dan mempunyai as yang tinggi (Maal dkk., 2017).



Berdasarkan berbagai penelitian terdahulu yang telah dikemukakan di atas maka dapat dikatakan bahwa dengan pemanfaatan limbah plastik ke dalam campuran aspal akan menaikkan kinerja campuran khususnya menaikkan stabilitas dan menjadi salah satu solusi dari permasalahan limbah plastik. Selain itu, dengan menggunakan Asbuton sebagai bahan pengikat dan limbah plastik sebagai bahan tambah akan dilihat bagaimana kinerja yang terjadi akibat perpaduan antara limbah plastik dan Asbuton. Dari uraian-uraian diatas, penulis memandang perlu melakukan penelitian lebih lanjut tentang kinerja campuran laston lapis aus (AC-WC) yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah dan Asbuton sebagai bahan pengikat, sehingga penulis membuat penelitian ini dengan judul “**Studi Kekuatan Tarik Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC Yang Mengandung Aspal Buton dan Menggunakan Limbah Plastik Sebagai Bahan Tambah**”.

B. Rumusan Masalah

Sesuai dengan latar belakang, yang mendasari penelitian ini adalah mendorong penggunaan Asbuton pada perkerasan jalan raya untuk meningkatkan penggunaan aspal alam Indonesia, serta untuk memanfaatkan limbah plastik yang ada di Indonesia, dimana dari tahun ke tahun jumlahnya semakin meningkat. Selain itu juga, mengingat bahwa kerusakan yang terjadi pada campuran beraspal adalah disebabkan oleh menurunnya mutu perkerasan jalan akibat beban lalu lintas yang terus meningkat.



Senyawa parafine merupakan salah satu senyawa kimia aspal yang sangat peka terhadap suhu dimana setiap kenaikan suhu akan mempengaruhi ikatan antar molekul molekul senyawa parafin sehingga struktur parafine dapat berubah dan akan dengan mudah berikatan dengan unsur lain dalam usaha penstabilan struktur karbonnya sehingga akan mempengaruhi nilai kohesi dan kestabilan keseluruhan ikatan molekul penyusun dari aspal. Dapat pula diketahui bahwa terdapat hubungan spesifik antara sifat fisik (malten) dan kimia dari aspal itu sendiri (senyawa parafin) dimana parafin dan maltene tersebut sangat peka oleh suhu dalam hubungannya terhadap nilai durabilitas dari suatu campuran.

Dari permasalahan tersebut, maka dapat dirumuskan yaitu :

1. Bagaimana kinerja campuran laston lapis aus (AC-WC) berupa pengujian kuat tarik tidak langsung dengan perekat Asbuton hasil ekstraksi dan limbah plastik sebagai bahan tambah.
2. Bagaimana pengaruh komposisi bitumen terhadap kinerja campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan bahan perekat Asbuton hasil ekstraksi dan limbah plastik sebagai bahan tambah.

C. Tujuan Penelitian

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

n untuk :



1. Menganalisis kinerja campuran laston lapis aus (AC-WC) berupa pengujian kuat tarik tidak langsung dengan perekat Asbuton hasil ekstraksi dan limbah plastik sebagai bahan tambah.
2. Menganalisis hubungan komposisi bitumen terhadap kinerja campuran laston lapis aus (AC-WC) dengan bahan perekat Asbuton hasil ekstraksi dan limbah plastik sebagai bahan tambah.

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 pada benda uji berskala silinder yang dilakukan dalam bentuk eksperimental murni di laboratorium.
3. 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 :



k akademis

si penelitian yang ingin dicapai merupakan upaya akademik
rkan 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 Asbuton dan bidang perancangan perkerasan jalan, khususnya jenis perkerasan AC-WC.

2. Aspek praktis

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 Asbuton, pemanfaatan limbah plastik dan pelaksanaan pekerjaan konstruksi perkerasan campuran laston lapis aus (AC-WC).

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

penulisan, serta sistematika dan organisasi tentang pengenalan isi 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), Asbuton modifikasi (Retona Blend 55), 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 aspal alam Buton, 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 tarik tidak langsung (*indirect tensile strength*).



BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

A. Isu Penggunaan Limbah Plastik Pada Campuran Beraspal dan Nilai Strategis Aspal Alam Buton

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

Di Indonesia, kedua jenis perkerasan ini telah digunakan pada hampir seluruh proyek-proyek jalan nasional, provinsi dan kabupaten. Masalah yang dihadapi Direktorat Jenderal Bina Marga Indonesia adalah kerusakan dini pada konstruksi-konstruksi jalan. Baik yang terjadi pada perkerasan lentur maupun perkerasan kaku. Hampir 40 % jaringan jalan yang ada di Indonesia mengalami kerusakan ringan hingga kerusakan berat. Jaringan jalan nasional

tahun 2002 mencapai 330.495 km. Secara keseluruhan jalan yang 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 laston lapis aus (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 khususnya dapat

meningkatkan kekuatan tarik tidak langsung. Adapun dalam penelitian ini digunakan 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 leleh campuran dibandingkan dengan campuran aspal biasa. Arianti dkk (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 dkk (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 sintetis 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

naannya 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, dengan kebutuhan limbah plastik sebanyak 2,5 hingga 5 ton untuk setiap 1 kilometer jalan dengan lebar 7 meter.

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

Muncul pemikiran penggunaan aspal Buton Indonesia secara maksimal

saat ini diperkuat oleh surat edaran Direktorat Jenderal Bina Marga mewajibkan seluruh paket-paket proyek *hot-mix* agar menggunakan



Asbuton butir sebagai bahan substitusi dalam campuran *hot-mix*. Namun setelah diterapkan, substitusi ini hanya efektif penggunaannya pada penggunaan 8% terhadap campuran. Sehingga hanya kurang lebih 2,5 % bitumennya yang mampu mensubstitusi aspal minyak.

Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia yaitu di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk butiran yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya Asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang *porous* (Dept. PU, 2006). Diperkirakan deposit Asbuton sekitar 60.991.554,38 ton atau setara dengan 24.352.833,07 barel minyak (Suryana, 2003 ; Tjaronge & Irmawaty, 2013).

B. Deskripsi Aspal Minyak dan Aspal Buton

1. Aspal Minyak (Bitumen)

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

(bitumen), aspal dibedakan menjadi aspal hasil destilasi, aspal alam dan aspal modifikasi.



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

, Venezuela dan aspal (bitumen) yang berbentuk batu secara terdapat di daerah Kentucky dan di daerah Pulau Buton Provinsi



Sulawesi Tenggara-Indonesia. Aspal (bitumen) dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan yang berbentuk kapur dan batuan pasir yang ada di daerah tersebut.

3). Aspal (bitumen) modifikasi

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

2. Aspal Buton (Asbuton)

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

Kebutuhan aspal bangsa Indonesia diproyeksi mencapai angka 1.2 juta ton pertahun, hanya mampu disediakan oleh PT. Pertamina 600 ribu ton,

dan kekurangannya adalah separuhnya yaitu sebesar 600 ribu ton (Sugeng, 2008).



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

Namun demikian, sesuai dengan Renstra Departemen Pekerjaan Umum 2005-2009, Asbuton dipatok sebanyak 556.000 ton untuk digunakan pada pemeliharaan jalan nasional. Disamping itu, sekitar 550.000 km jalan-jalan provinsi, kabupaten, dan kota serta jalan lainnya berpeluang untuk menerapkan Asbuton dalam lapisan aspalnya.

Gambar 1 memperlihatkan deposit Aspal Buton (Asbuton) yang terletak di Pulau Buton, Provinsi Sulawesi Tenggara-Indonesia. Deposit Asbuton ini tersebar di beberapa kecamatan di Pulau Buton diantaranya Enreke sebesar ton, Lawele sebesar 210 juta ton, Siantopina dan Ulala sebesar 220 Kabungka sebesar 60 juta ton dan Banabungi.





Gambar 1. Lokasi deposit Asbuton di Pulau Buton Sulawesi Tenggara

Eksplorasi besar-besaran yang telah dilakukan oleh Alberta Research Council di daerah Lawele (Supriyadi S., Alberta Research Council, 1989 dalam buku 1, pemanfaatan Asbuton Dirjen Bina Marga, 2006) pada sejumlah 132 titik pengeboran diperoleh hasil dengan ekspektasi bahwa ketebalan Asbuton yang terdapat di daerah Lawele berkisar antara 9 meter sampai 45 meter atau ketebalan rata-rata yang ada yaitu sebesar 29,88 meter dengan tebal tanah penutup pada daerah Lawele tersebut yang berkisar antara 0 meter sampai 17 meter atau rata-rata tebal tanah penutup yaitu sebesar 3,47 meter dengan luas daerah pengaruh Asbuton daerah Pulau Buton secara keseluruhan khususnya pada daerah sebesar 1.527.343,5 m².



Kurniadji, 1993 dan banyak peneliti-peneliti lainnya telah meneliti mengenai Asbuton yang dimuat dalam jurnal Puslitbang Jalan dan Jembatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006. Permasalahan Asbuton memang sangat kompleks dan menantang banyak peneliti untuk melakukan penelitian tentang pemanfaatan Asbuton ini mengingat Asbuton sangat melimpah dengan deposit penambangan sekitar 300 juta tahun.

Beberapa peneliti telah menyepakati bahwa Asbuton memiliki kinerja yang baik dan mampu mensubstitusi penggunaan aspal minyak serta mampu meningkatkan kinerja campuran beraspal seperti campuran laston lapis aus, laston lapis antara, lataston lapis aus, lataston lapis antara, aspal porus dan bahkan dapat digunakan sebagai bahan penstabilisasi tanah lunak. Tabel 1 memperlihatkan perkiraan deposit Aspal Buton (Asbuton) dari 7 lokasi di pulau Buton diantaranya Batuawu, Mompenga, Langunturu, Kabukubuku, Wangkaburu, Siantopina dan Ulala serta Tabel 2 dan Tabel 3 masing-masing memperlihatkan tipikal sifat-sifat fisik bitumen Aspal Buton (Asbuton) diantaranya penetrasi, titik lembek, titik nyala, kadar aspal, penurunan berat, kelarutan dalam C_2HCl_3 , daktilitas dan viskositas yang dikeluarkan oleh Alberta Research Council, (1989) dalam Suaryana, 2008 dan sifat-sifat fisik bitumen Asbuton yang dikeluarkan oleh Puslitbang Jalan dan Jembatan

Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006. Sifat-sifat fisik bitumen Asbuton



yang telah disebutkan diharapkan dapat meningkatkan kinerja campuran beraspal.

Tabel 1. Perkiraan deposit Asbuton (Kurniadji,1993)

No.	Lokasi	Luas (m ²)	Tebal (m)	Kadar Aspal (%)	Deposit (Juta Ton)
1	Batuawu	550.000	76,1	20 – 40	60,69
2	Mempenga	280.000	72	20 – 30	29,232
3	Langunturu	420.000	61	20 – 25	37,149
4	Kabukubuku	570.000	50	20 – 35	41,325
5	Wangkaburu	460.000	62,8	20 – 35	41,888
6	Siantopina	5.000.000	25	Belum	181,25
7	Ulala	1.500.000	21,65	Belum	47,089

Tabel 2. Tipikal sifat-sifat fisik bitumen Asbuton (Suaryana, 2008)

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

Terlihat perbedaan yang sangat menonjol yang terjadi pada sifat-sifat

bitumen Asbuton antara Asbuton padat dari Kabungka dan Asbuton dari Lawele setelah dilakukan beberapa jenis pengujian yaitu pada



pengujian kadar aspal, pengujian penetrasi pada 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm, pengujian titik lembek, pengujian daktilitas, pengujian kelarutan dalam C_2HCl_3 , pengujian titik nyala baik sebelum TFOT maupun setelah TFOT dan pengujian berat jenis.

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

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton padat dari Lawele
Kadar Aspal, %	20	30,08
Penetrasi, 25°C, 100 gr, 5 detik, 0.1 mm	4	36
Titik Lembek, °C	101	59
Daktilitas, 25°C, 5 cm/menit, cm	<140	>140
Kelarutan dalam C_2HCl_3 , %	-	99,6
Titik Nyala, °C	-	198
Berat Jenis	1.046	1,037
Penurunan Berat (TFOT), 163°C, 5 jam	-	0,31
Penetrasi Setelah TFOT, % asli	-	94
Titik Lembek setelah TFOT, °C	-	62
Daktilitas setelah TFOT, cm	-	>140

Tabel 4 memperlihatkan perbandingan sifat-sifat kimia bitumen Aspal (Asbuton) antara Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton dari daerah Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian



Pekerjaan Umum tahun 2006, dimana parameter yang paling menonjol adalah parameter maltene dan kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari daerah Kabungka parameter maltene sebesar 1,5 sedangkan pada Asbuton padat dari daerah Lawele sebesar 2,06 serta kandungan asphaltene pada Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton padat dari daerah Lawele masing-masing sebesar 39,45% dan 46,92%.

Mengingat asphaltene dan maltene merupakan senyawa utama penyusun dari aspal sehingga hal ini merupakan suatu hal yang sangat penting dalam susunan senyawa pada aspal khususnya aspal Buton. Tabel 5 menunjukkan perbandingan komposisi kimia mineral Asbuton antara Asbuton padat dari daerah Kabungka dan Asbuton padat dari daerah Lawele yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian Pekerjaan Umum tahun 2006,

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

Jenis Pengujian	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
Nitrogen (N), %	29,04	30,08
Acidafins (A1), %	9,33	6,6
Acidafins (A2), %	12,98	8,43
Parafin (P), %	11,23	8,86
Parameter Maltene	1,5	2,06
Asbuton/Parafin, N/P	2,41	3,28
Kandungan Asphaltene, %	39,45	46,92



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

Senyawa	Hasil Pengujian	
	Asbuton padat dari Kabungka	Asbuton Padat dari Lawele
CaCO_3	86,66	72,9
MgCO_3	1,43	1,28
CaS	1,11	1,94
H_2O	0,36	0,52
SiO_2	0,99	2,94
Al_2O_3	5,64	17,06
$\text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$	1,52	2,31
Residu	0,96	1,05

Komposisi kimia mineral yang paling menonjol perbedaannya antara Asbuton padat dari daerah Kabungka dan dari daerah Lawele adalah pada senyawa Al_2O_3 masing-masing sebesar 5.64 dan 17.06. Tabel 6 memperlihatkan jenis-jenis pengujian dan persyaratan Asbuton butir berbagai tipe seperti tipe 5/20, 15/20, 15/25 dan 20/25 yang dikeluarkan oleh Pusjatan Kementerian PU tahun 2006. Berdasarkan Tabel 6 terlihat bahwa sifat-sifat Asbuton butir telah diatur dengan jelas mengenai persyaratan-persyaratan yang harus dipenuhi seperti kadar bitumen Asbuton, ukuran butir yang lolos ayakan no. 4, lolos ayakan no. 8 dan lolos ayakan no. 18, kadar air dan komposisi Asbuton pada 25°C. Selain itu, pengujian Asbuton didasarkan pada Standar Nasional Indonesia (SNI).



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

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

Keterangan :

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



C. Bahan Tambah Dalam Campuran Beraspal

Menurut Syarieff dkk 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 :

- (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 tak lagi. Pemanasan ulang akan menyebabkan kerusakan molekul-molekul yang ada pada jenis plastik ini. Sifat polimer thermosetting yaitu

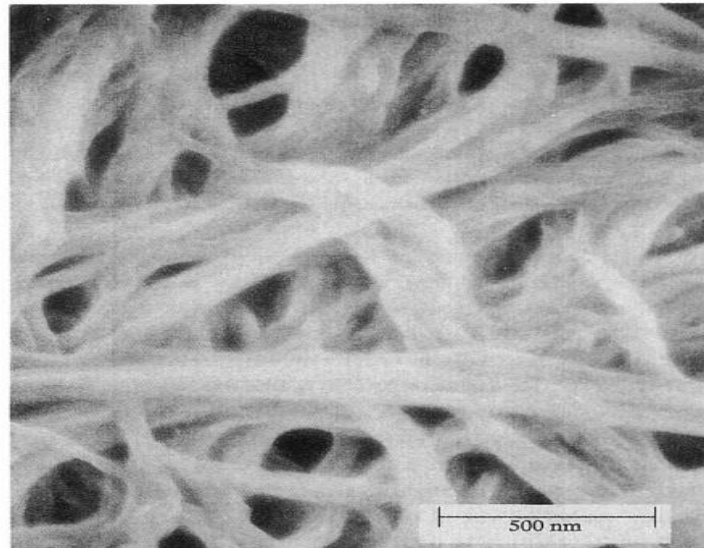


keras dan kaku (tidak fleksibel) sehingga jika dipanaskan jenis plastik ini akan mengeras, tidak dapat dibentuk ulang atau sukar didaur ulang, tidak dapat larut dalam pelarut apapun, jika dipanaskan akan meleleh, tahan terhadap asam basa, dan mempunyai ikatan silang antar rantai molekul yang ada pada jenis plasti 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 *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 adalah $-(CH_2-CH_2)_n$. 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

ng *Electron Machine*) yang dikutip dari hasil penelitian yang telah n oleh Israil dkk., 2012.





Gambar 2. Permukaan tipis *polyethylene* (Israil dkk., 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 60°C 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 $0,91\text{--}0,94\text{ gr/cm}^3$. LDPE termasuk jenis polietilen dengan kerapatan rendah yang diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas pada suhu tinggi (200°C) dan tekanan yang tinggi, serta mempunyai titik leleh 115°C (Sunarya, 2011).

Adapun yang termasuk plastik jenis LDPE, yaitu botol plastik, mainan, bahan

ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik,

lain.



a. 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 Setiyaningsih, 2013). Hal tersebut dapat meningkatkan umur kelelahan campuran.

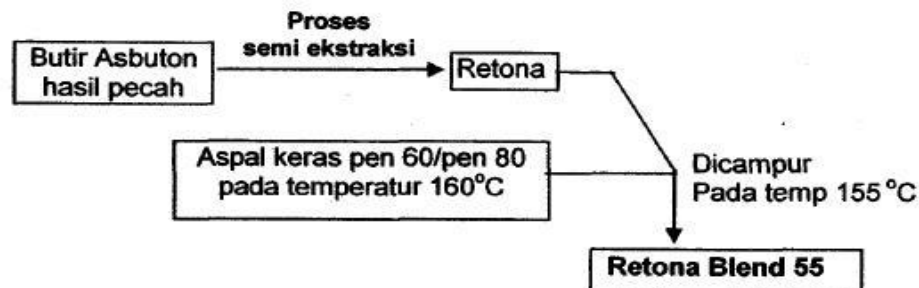
D. Asbuton Modifikasi (Retona)

Refinery Buton Asphalt (Retona) adalah Asbuton dari daerah Kabungka atau Asbuton dari daerah 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 (Suroso, 2015). Aspal Buton dengan tipe Retona Blend 55 merupakan campuran Buton dengan aspal minyak yang diolah menjadi satu



menggunakan alat dengan spesifikasi berupa bitumen minimal 90% dan mineral maksimal 10% dan diharapkan memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga.

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 dengan penetrasi 60 atau penetrasi 80 yang pembuatannya dilakukan secara fabrikasi dengan proses seperti diperlihatkan pada bagan alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Alur proses pembuatan Asbuton modifikasi *Blend 55* secara fabrikasi

Penggunaan *Retona* ini diharapkan dapat mengatasi kelemahan aspal penetrasi 60/70 tersebut khususnya dalam titik lembek. Asbuton modifikasi

Asbuton modifikasi dilakukan melalui proses penyulingan dan ekstraksi Asbuton yang kemudian digabungkan dengan aspal keras melalui proses fabrikasi. Proses tidak mengeluarkan semua Asbuton dari Asbuton, tetapi hanya mempertahankan *Refinery Buton Asphalt*

(Retona). Asbuton modifikasi tersebut dieksplorasi oleh PT. Olah Bumi Mandiri yang diproduksi di Jakarta, Indonesia. 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 (aspal minyak) pada umumnya. *Retona Blend 55* adalah campuran antara aspal minyak penetrasi 60 atau penetrasi 80 dengan Asbuton hasil olahan semi ekstraksi (*refinery buton asphalt*) melalui proses fabrikasi.

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 mengandung nitrogen base sebesar 5,6 ($\pm 400\%$).
3. Usia pelayanan lebih lama (minimal 2 kali).
4. Material asing telah dihilangkan dalam proses pembuatannya yang dilakukan secara fabrikasi.
5. Stabilitas dinamis naik hingga 400% (rata-rata di atas 3000 lintasan/menit dari sebelumnya).

Gambar 7 memperlihatkan persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal



Tabel 7. Persyaratan aspal dimodifikasi dengan aspal alam

Jenis Pemeriksaan	Persyaratan
Penetrasi (25°C, 5 detik, 0.1mm)	40-55
Titik Lembek	Min. 55
Titik Nyala	Min. 225
Daktilitas (25°C)	Min. 50
Berat Jenis (25°C)	Min. 1.0
Kelarutan dalam <i>Tricholor Etyhylen</i> ; % berat	Min. 90
Penurunan Berat (dengan TFOT); % berat	Maks. 2
Penetrasi setelah kehilangan berat; % asli	Min. 55
Daktilitas setelah TFOT; % asli	Min. 50
Mineral lolos saringan no. 100; %	Min. 90

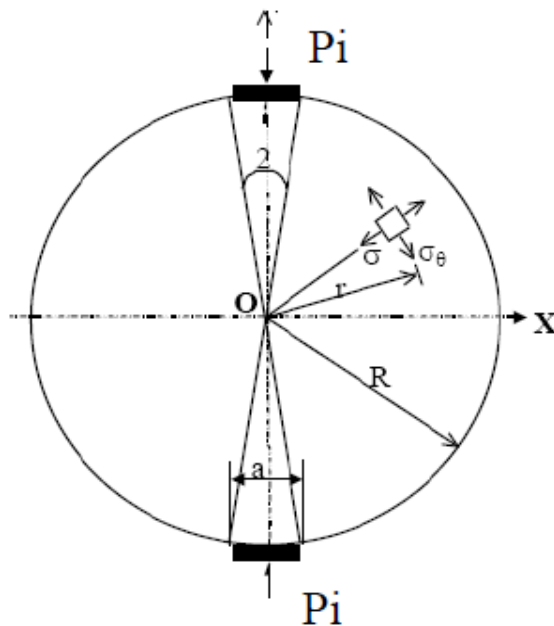
E. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength*)

ASTM telah mengeluarkan pedoman dalam melakukan pengujian ITS dengan kode ASTM D6931-12. Pengujian 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. Benda uji akan ditekan dengan

menakan beban strip yang diletakkan pada permukaan lingkaran benda uji. Sampai benda uji mengalami kegagalan (terbelah). Nilai kuat tarik tidak



langsung (ITS) merupakan fungsi dari beban, diameter dan ketebalan benda uji, untuk benda uji berbentuk lingkaran penuh seperti Gambar 4. Nilai ITS lingkaran penuh diperlihatkan dalam persamaan 1.



Gambar 4. Diagram pembebanan uji ITS

$$ITS = \frac{2P_{max}}{\pi t d} \quad (1)$$

Dimana :

ITS = Tegangan tarik dipusat benda uji (kN)

P_{max} = Beban maksimum (kN)

t = Ketebalan benda uji (mm)

d = Diameter benda uji (mm)



Nilai ITS untuk benda uji setengah lingkaran merupakan fungsi dari beban, diameter dan tebal benda yang ditulis dalam persamaan 2.

$$\sigma_h = \frac{4.8 P_{max}}{td} \quad (2)$$

Dimana :

σ_h = Tegangan tarik dipusat benda uji (MPa)

t = ketebalan sampel (mm)

d = diameter benda uji (mm)

F. Pengujian Stabilitas Marshall

Li *et al* (1999) telah melakukan pengujian campuran aspal dengan metode Marshall dimaksudkan untuk mengetahui karakteristik dari campuran aspal panas, dimaksudkan untuk mendapatkan stabilitas dan *flow* dibaca langsung dengan dial. Metode ini pertama kali diperkenalkan oleh *Bruce Marshall* dari *Misisipi State Highway Department* sekitar tahun 1940-an. Selain mendapatkan nilai stabilitas dan *flow* akan didapatkan pula nilai VIM, VMA, *density* campuran aspal dan marshall quotient. Dalam penelitian *elastic modulus* campuran aspal beton, design campuran aspal yang digunakan melibatkan metode Marshall.

Gul *et al* (2014) mengatakan bahwa karakteristik deformasi permanen

campuran aspal dapat dipelajari dengan menggunakan benda uji silinder
an yang dapat dibuat baik dari superpave atau perangkat pemadat



marshall, terlepas dari metode campuran aspal desain dan jenis agregat. Sedangkan Xiang *et al* (2008) mengatakan untuk mengevaluasi karakteristik retak pada campuran aspal digunakan metode Marshall dalam mendesain campuran aspal.

Kinerja campuran beraspal sangat ditentukan oleh nilai volumetrik campuran dalam keadaan padat yang terdiri dari : rongga udara dalam campuran (VIM), rongga di antara agregat (VMA), dan rongga terisi aspal (VFB).

a. Stabilitas (*Stability*)

Kemampuan menahan beban dengan deformasi yang kecil diperlihatkan dengan nilai stabilitas yang tinggi. Penelitian yang dilakukan oleh Affandi, (2006) menunjukkan bahwa dengan menggunakan asbuton murni pada campuran aspal dapat meningkatkan stabilitas campuran aspal. Sedangkan penelitian oleh Hermadi, (2006) mengatakan bahwa bertambahnya mineral Asbuton dalam campuran aspal memberi dampak pada rendahnya densiti campuran aspal sebab berat jenis mineral Asbuton yang lebih rendah.

Selain itu penelitian yang dilakukan oleh Affandi pada tahun 2006 memperlihatkan bahwa stabilitas campuran aspal AC WC yang mengandung

murni yaitu sebesar 1230 kg. Kurniadji, (2006) juga mengemukakan penggunaan Asbuton tipe 20/25 pada campuran aspal beton yaitu



menghasilkan stabilitas campuran yaitu sebesar 1310 kg. Terlihat bahwa Asbuton memiliki nilai stabilitas yang cukup tinggi.

2. Kelelehan (*Flow*)

Kelelehan (*Flow*) merupakan besarnya deformasi vertikal dinyatakan dalam millimeter (mm) yang terjadi pada benda uji padat dari campuran aspal hingga mencapai titik beban maksimum pada saat pengujian stabilitas marshall. Hal ini menunjukkan besarnya deformasi yang terjadi pada lapis perkerasan aspal akibat menahan beban yang berada di atasnya. Nilai flow sangat dipengaruhi oleh *viscositas* dan persentase aspal, gradasi agregat, jumlah dan temperatur pemadatan.

Telah dilakukan penelitian oleh Affandi dan Kurniadji (2006) yang mengatakan bahwa nilai flow campuran aspal AC WC yang murni menggunakan aspal buton murni sebesar 3,7 mm dan 3,3 mm pada campuran aspal beton menggunakan Asbuton butir tipe 20/25.

3. Void In The Mix (VIM)

Dikatakan oleh Hermadi dkk (2008) nilai VIM yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal lebih porous sehingga aspal kurang awet dan stabilitas rendah. Nilai VIM dipengaruhi oleh beberapa faktor diantaranya persentase agregat kasar, filler maupun persentase bitumen dalam

in. Bentuk fisik material juga sangat berpengaruh seperti kubikal atau



Pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Kurniadji, 2006, diketahui nilai VIM campuran aspal yang menggunakan asbuton butir tipe 20/25 sebesar 4,5%.

$$VIM (\%) = V - \left\{ \left(\frac{KA \times 100}{L} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \quad (3)$$

A_R = Kadar residu dalam campuran (%)

G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)

L = Berat benda uji setelah oven (gr)

K_A = Kadar air (%)

4. Void In Mineral Aggregate

Penelitian yang dilakukan oleh Tayfur *et al* (2007) dikatakan bahwa rongga diantara mineral agregat (VMA) merupakan parameter yang menentukan dalam campuran aspal, semakin kecil nilai VIM maka semakin kaku campuran campuran aspal.

Suaryana (2008) mengatakan bahwa nilai VMA sebesar 20.29% pada campuran aspal AC menggunakan asbuton type 5/20. Hermadi, 2008 mendapatkan nilai VMA 19,2% pada campuran aspal AC WC menggunakan Asbuton Lawele.

$$VMA (\%) = \left\{ \left(\frac{100 + AR + KA}{G} - \frac{100}{CS} \right) + \left(\frac{100 + AR + KA}{G} \right) \right\} \times 100 \quad (4)$$



A_R = Kadar residu dalam campuran (%)

C_S = Berat jenis semu

G = BJ Bulk - berat benda uji (gr)

K_A = Kadar air (%)

5. Marshall Quotient

Dikatakan oleh Ahmedzade *et al* (2008) bahwa *Marshall quotient* (MQ) adalah sebagai karakteristik harga modulus daya tekan atau kekakuan. Nilai MQ merupakan indikator bahwa campuran aspal tahan terhadap deformasi, nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal memiliki kekakuan yang tinggi.

Nilai MQ yang tinggi menunjukkan bahwa campuran aspal bersifat kaku, berarti campuran cukup padat dengan stabilitas yang tinggi. MQ yang rendah menunjukkan campuran aspal yang lembek dan kurang cukup stabilitasnya dengan suatu resiko yang memungkinkan terjadinya retak permukaan campuran aspal dan pergerakan horizontal pada arah perjalanan (Tayfur, 2007). Sehingga campuran aspal dengan *Marshall Quotient* yang tinggi lebih tahan terhadap retak akibat deformasi permanen.

Menurut Hermadi (2008), nilai *Marshall Quotient* campuran aspal AC

menggunakan asbuton Lawele sebesar 260 kg/mm. Menurut (Affandi,



2008), nilai *Marshall Quotient* campuran aspal yang menggunakan Asbuton murni sebesar 347 kg/mm.

$$MQ = \frac{S}{F} \quad (5)$$

Dimana :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

F = Nilai *flow* (mm)

G. Stui Empirik Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu dibutuhkan untuk mengetahui variabel-variabel penelitian yang akan dilaksanakan dengan variabel-variabel penelitian yang telah dilakukan oleh orang lain. Selain itu, penting juga untuk mengetahui hasil penelitian yang telah dilakukan oleh orang lain dan tentunya untuk membandingkan hasil penelitian yang dihasilkan nantinya.

1. Abdul Gaus, Tjaronge M.W, Nur Ali dan Rudy Djamaluddin (2015).

Compressive Strength of Asphalt Concrete Binder Course (AC-BC) Mixture Using Buton Granular Asphalt (BGA). Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan tegangan-regangan campuran aspal

yang menggunakan bahan pengganti Buton Granular Aspal (BGA) sebagai parsial untuk aspal minyak pada campuran AC-BC. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan BGA sebagai aspal minyak



pengganti sebagian dalam campuran AC-BC meningkatkan kuat tekan dan modulus elastisitas dibandingkan dengan campuran AC-BC tanpa BGA. Tidak ada perbedaan yang signifikan dalam rasio Poisson untuk semua campuran diamati.

2. Budiamin, Tjaronge M.W, Sumarni Hamid Aly dan Rudy Djamaluddin

(2015). *Stress-Strain of Hotmix Cold Laid Containing Buton Granular Asphat (BGA) with Modifier Oil Base and Modifier Water Base as Wearing Course.* Studi ini memberikan informasi mengenai pola tegangan-regangan dan kekuatan tekan hotmix dingin diletakkan mengandung BGA dan Modifier Oil Base dan Modifier Water Base di penyimpanan dan pemadatan waktu 4 jam, 3 hari dan 7 hari. Makalah ini menunjukkan bahwa campuran yang terbuat dari BGA dengan Modifier Oil Base dan Modifier Water Base dapat dipadatkan pada suhu 27 °C dan 50 °C.

3. Israil, M.W. Tjaronge, Nur Ali, Rudy Djamaluddin, (2016). *Experimental*

Study on Stability of Emulsion Asphalt Mixture Made With Extracted Bitumen of Buton Natural Rock Asphalt (EB-BRA). Tujuan penelitian untuk mempelajari stabilitas campuran aspal emulsi yang mengandung EB-BRA. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa penerapan aspal emulsi yang dibuat dengan EB-BRA dalam produksi beton aspal penggunaan

campuran yang memenuhi stabilitas yang tepat. Selanjutnya,



meningkatnya waktu pemeraman meningkatkan stabilitas dan penurunan flow dalam campuran aspal emulsi.

4. Kemas Ahmad Zamhari, Madi Hermadi dan Mohamed H. Ali, (2014).

Comparing the Performance of Granular and Extracted Binder from Buton Rock Asphalt. Penelitian ini membandingkan kinerja beton aspal dengan dua metode yang berbeda. Metode pertama memanaskan dan menghancurkan batu ke aspal granular, sedangkan metode kedua mengekstrak aspal dari batu untuk menghasilkan aspal BRA murni. Aspal minyak digunakan sebagai kontrol. Sifat reologi aspal BRA murni, campuran aspal minyak bumi, dan aspal BRA murni/i ditentukan. Sifat-sifat pengikat ini digunakan untuk mengukur kontribusi pengikat dalam melawan deformasi permanen dan kelelahan retak. Aspal biasa ditambahkan ke dalam campuran BRA granular untuk mencapai kadar aspal optimum. Ditemukan bahwa pengikat BRA menghasilkan campuran dengan modulus kekakuan dan tingkat deformasi permanen yang lebih baik, dibandingkan dengan campuran aspal minyak. Campuran dengan persentase yang lebih tinggi dari BRA granular menghasilkan kinerja yang lebih baik jika dibandingkan dengan campuran aspal BRA murni.

5. Meng Guo, Yiqiu Tan dan Shuiwen Zhou, (2015). *Multiscale Test*

Research on Interfacial Adhesion Property of Cold Mix Asphalt. Penelitian bertujuan untuk mempelajari sifat adhesi dan kohesi antara aspal



dingin dengan permukaan agregat berupa adanya aditif yaitu kapur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pada kondisi kering, adhesi antara kapur dan aspal adalah nilai maksimum sementara dalam kondisi basah menjadi minimum. Kegagalan adhesi terjadi dalam kondisi lembab sedangkan kegagalan kohesi terjadi dalam kondisi kering.

6. Mohamad Rizal, Tjaronge M. W., Nur Ali, Taslim Bahar, (2016).

Influence of Laboratory Short Term Aging on Tensile Strength of Porous Asphalt Mixture Containing Buton Granular Asphalt (BGA). Tujuan studi ini untuk mempelajari pengaruh penuaan jangka pendek pada penelitian laboratorium terhadap hubungan tegangan-regangan dari campuran beton aspal porus menggunakan Buton Granular asphalt (BGA) pengganti sebagian parsial untuk aspal minyak. Tes percobaan menunjukkan bahwa penerapan BGA sebagai aspal minyak pengganti sebagian dalam campuran aspal porus dapat meningkatkan kekuatan tarik dan modulus elastis dibandingkan dengan campuran aspal porus tanpa BGA.

7. Muhammad Karamia dan Hamid Nikraza, (2015).

Using Advanced Materials of Granular BRA Modifier Binder to Improve the Flexural Fatigue Performance of Asphalt Mixtures. Tujuan utama dari penelitian ini adalah untuk membandingkan kinerja kelelahan untuk campuran aspal

dimodifikasi dan BRA dimodifikasi, difokuskan pada analisis dengan menggunakan pendekatan rasio kekakuan fenomenologis dan



energi.aspal Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa butiran BRA pengubah pengikat adalah bermanfaat dalam peningkatan umur kelelahan campuran aspal. Hasil juga menunjukkan bahwa BRA yang dimodifikasi campuran aspal menunjukkan perilaku yang lebih elastis.

8. Peilong Li, Zhan Ding, Li Xia Mac, dan Zhen Gang Feng, (2016).

Analysis of Viscous Flow Properties of Asphalt in Aging Process. Tujuan penelitian untuk menganalisis pengaruh penuaan pada sifat flow aspal dari pandangan termodinamika dan reologi. Hasil penelitian menunjukkan karakteristik flow aspal berkaitan erat dengan perilaku suhu rendah dan struktur koloid. Perubahan struktur molekul aspal setelah penuaan menyebabkan peningkatan flow dan fleksibilitas, yang merupakan reaksi perubahan kinerja aspal.

9. Ruixia Li, Pravat Karki, Peiwen Hao, dan Amit Bhasin (2015).

Rheological and Low Temperature Properties of Asphalt Composites Containing Rock Asphalts. Penelitian dilakukan untuk mengevaluasi dampak potensial dari pada kinerja komposit aspal dari jenis aspal batuan. Hasil dari penelitian ini menunjukkan bahwa penambahan aspal batuan meningkatkan kekakuan dan sedikit mengurangi potensi fleksibilitas pada suhu rendah. Perbandingan sifat sebelum dan sesudah

aan jangka panjang juga mengungkapkan tingkat yang sedikit lebih



rendah dari penuaan untuk campuran dimodifikasi dengan aspal batuan dibandingkan dengan campuran aspal murni.

- 10. Yongjoo Kim dan Hosin David Lee (2011), *Performance Evaluation of Cold In-place Recycling Mixtures Using Emulsified Asphalt Based on Dynamic Modulus, Flow Number, Flow Time, and Raveling Loss*.** Mengevaluasi kinerja Campuran aspal dingin pada perkerasan daur ulang. Membandingkan kinerja campuran yang menggunakan aspal emulsi CSS-1h (kationik emulsi pengaturan lambat) dan HFMS-2P, dimaka kinerja aspal emulsi CSS-1h mempunyai kinerja lebih tinggi dibanding HFMS - 2P (dimodifikasi dengan polimer).



BAB III

METODE PENELITIAN

A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Riset Eco Material Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Hasanuddin, Gowa, Sulawesi Selatan. Adapun waktu penelitian dilaksanakan pada Bulan Agustus 2018 sampai Bulan Oktober 2018.

a. Teknik Pengumpulan Data

Untuk memperoleh data sebagai bahan utama dalam penelitian ini, maka digunakan dua metode pengumpulan data yaitu :

1. Studi pustaka, untuk memperoleh data sekunder dengan membaca sejumlah buku, artikel-artikel ilmiah sebagai landasan teori dalam menuju kesempurnaan penelitian ini.
2. Pemeriksaan sampel dilakukan di laboratorium untuk mendapatkan data primer yang akan digunakan dalam menganalisa hasil dari penelitian yang dilaksanakan.

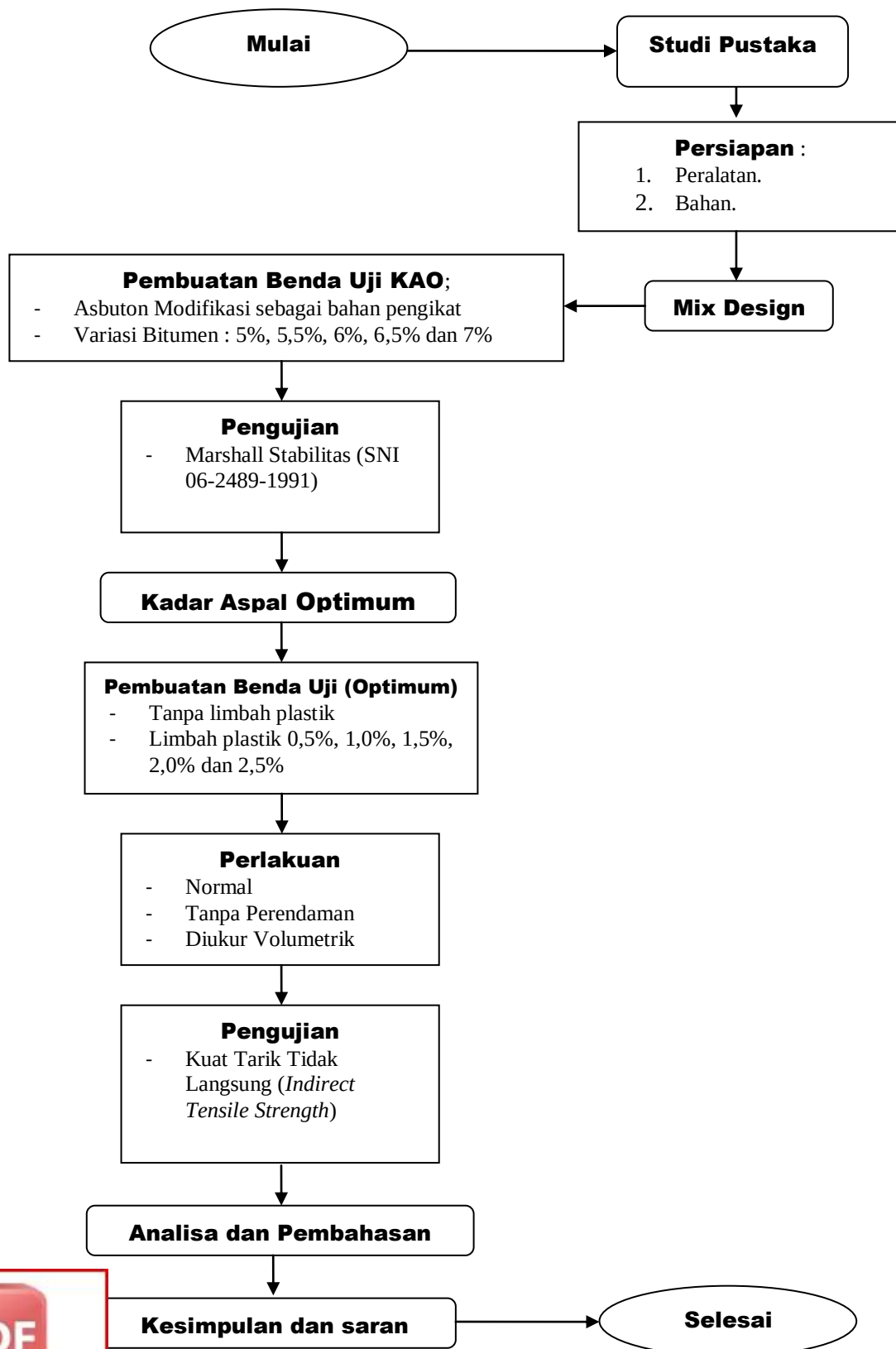
b. Bagan Alir Penelitian

Untuk memudahkan penelitian yang akan dilakukan, maka perlu direncanakan tahapan–tahapan yang akan menjadi pedoman dan arahan

penelitian ini, tahapan–tahapan proses tersebut ditunjukkan pada

5.





Gambar 5. Bagan alir Penelitian

c. Pengambilan Material Penelitian

Adapun bahan/material yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Material agregat kasar, agregat halus dan abu batu diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
2. Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 diperoleh dari salah satu produsen aspal minyak di Indonesia yaitu PT. Olah Manidiri Jakarta.
3. Parutan limbah plastik (lolos saringan no.4 dan tertahan di saringan no.50) diperoleh dari hasil parutan botol plastik jenis LDPE dengan alat pamarut mesin dan pengambilannya pada salah satu produsen pencacah plastik di Sulawesi Selatan.

B. Rancangan Penelitian

Persiapan penelitian yang dilakukan dengan studi pustaka, yaitu untuk mendapatkan gambaran tentang penelitian-penelitian penggunaan Asbuton yang sudah pernah dilakukan sebelumnya. Adapun penelitian ini menggunakan metode eksperimental di laboratorium diawali dengan melakukan persiapan peralatan dan material yang akan digunakan, dilanjutkan dengan penelitian karakteristik bahan berupa agregat dan aspal.



Langkah selanjutnya adalah pembuatan sampel (briket) untuk menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO). Dibat sampel perkerasan

aspal dengan bahan pengikat berupa Asbuton modifikasi atau Retona blend 55. Pembuatan sampel KAO dilakukan berdasarkan SNI 06-2489-1991 dengan kadar Asbuton modifikasi yang berbeda-beda yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5% dan 7,0% yang ditentukan berdasarkan perhitungan kadar aspal efektif.

Setelah nilai KAO didapatkan, langkah berikutnya adalah pembuatan sampel dengan kandungan limbah plastik yaitu 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% dan benda uji yang tidak mengandung limbah plastik. Selanjutnya sampel akan diberikan perlakuan normal yaitu tanpa perendaman dan tanpa proses penuaan tetapi dilakukan pengukuran karakteristik volumetrik yang terdiri dari VIM, VMA dan VFB.

Setelah benda uji dinyatakan siap, kemudian dilakukan pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (*Indirect Tensile Strength*) untuk mengetahui karakteristiknya. Metode yang digunakan adalah penelitian di laboratorium, dengan mengacu pada :

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI).
- b. American Association for Testing and Material (ASTM).
- c. American Association of State Highway and Transportation Officials (AASHTO).
- d. Strategic Highway Research Program (SHRP-A-383).

Periksaan Karakteristik Material

emeriksaan karakteristik material yang dilakukan berupa pemeriksaan fisik agregat yang terdiri dari agregat kasar dan agregat halus,



karakteristik Asbuton modifikasi atau Retona Blend 55 dan karakteristik parutan limbah plastik sebagai bahan tambah.

1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Agregat yang akan diuji berupa agregat kasar berupa batu pecah dan agregat halus berupa abu batu dan *filler* yang pengambilan materialnya berasal dari sungai Bili – Bili kecamatan Parangloe Kabupaten Gowa Provinsi Sulawesi Selatan. Adapun pengujian dan metode pengujian yang digunakan dalam penelitian ini dapat ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Metode pengujian karakteristik agregat

Pengujian	Metode Pengujian	
	Agregat Kasar	Agregat Halus
Analisa Saringan	SNI 03-1968-1990	
Berat jenis dan penyerapan	SNI 03-1969-2008	SNI 03-1970-2008
Kadar lumpur	SNI 03-4142-1996	
Keausan agregat kasar dengan mesin Los Angeles	SNI 2417-2008	
Indeks Kepipihan	SNI 03-4137-1996	
<i>Sand Equivalent</i>	SNI 03-4428-1997	

2. Karakteristik Asbuton Modifikasi (Retona Blend 55)

Pengujian aspal diperlukan untuk mengetahui karakteristik aspal dan karakteristik bitumen yang digunakan. Pengujian meliputi : penetrasi,



titik lembek, titik nyala, titik bakar, dan berat jenis aspal. Pemeriksaan dan metode pengujian yang dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 9.

Tabel 9. Metode pengujian karakteristik Asbuton modifikasi

Pengujian	Metode Pengujian
Penetrasi aspal	SNI 06-2456-1991
Titik lembek	SNI 06-2434-1991
Daktalitas	SNI 06-2432-1991
Titik nyala	SNI 06-2433-1991
Berat jenis	SNI 06-2441-1991

3. Mix Design Campuran Laston Lapis Aus (AC WC)

Setelah material diuji dan memenuhi spesifikasi untuk campuran AC-WC (*Asphalt Concrete-Wearing Course*), maka dibuat komposisi campuran untuk pembuatan benda uji yang bertujuan untuk menentukan proporsi agregat dan mencari variasi kadar aspal yang digunakan. Besar proporsi masing-masing agregat yaitu agregat kasar, abu batu dan *filler* ditentukan menurut gradasi Laston Lapis Aus (AC-WC) spesifikasi campuran beraspal Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 Revisi 3. Dari masing-masing agregat kemudian digabung dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan presentase gabungan yang sesuai dengan

asi yang disyaratkan.

regat yang digunakan yaitu agregat kasar berupa batu pecah yang



berukuran 1-2 cm dan batu pecah yang berukuran 0,5-1 cm, serta menggunakan agregat halus yang tertahan saringan nomor 200 atau abu batu dan lolos saringan nomor 200 yaitu *filler*.

Mix design yang dihasilkan digunakan untuk membuat benda uji Marshall. Benda uji Marshall dibuat untuk mencari KAO sebelum dilakukan pengujian lanjutan. Gradasi laston lapis Aus berdasarkan ketentuan spesifikasi 2010 revisi 3 diperlihatkan pada Tabel 10. Untuk perencanaan campuran laston dengan jenis AC-WC (*Asphalt Concrete – Wearing Course*), dilakukan dengan langkah-langkah sesuai dengan spesifikasi 2010 revisi 3 yaitu :

a. Memperoleh gradasi gabungan

Melakukan pemilihan gradasi agregat campuran berdasarkan jenis dan fungsi campuran yang akan digunakan, serta lakukan penggabungan beberapa fraksi agregat dengan salah satu cara (cara analitis atau grafis, dan cara penggabungan beberapa fraksi agregat).

b. Memperkirakan kadar aspal efektif perkiraan

Kadar aspal nominal yang diperkirakan adalah kadar aspal dari aspal minyak penetrasi 60/70 berdasarkan karakteristik agregat yang digunakan. Kadar aspal efektif adalah kadar aspal total dikurangi dengan kadar aspal yang diserap agregat. Perkiraan awal kadar aspal efektif untuk campuran percobaan dapat ditentukan dengan persamaan :

$$0,05 AK + 0,1AH + 0,5F) \times 0,7 \quad (6)$$

pengertian :



- 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

Nilai penyerapan air pada agregat digunakan untuk memperoleh perkiraan jumlah aspal yang diperlukan akan diserap oleh agregat dalam campuran nominal. Penyerapan aspal diperkirakan 50% dari penyerapan air. Kadar aspal yang diserap harus ditambahkan pada kadar aspal efektif yang dihitung dengan persamaan diatas dan jumlahnya adalah kadar aspal nominal dalam campuran. Dengan kadar aspal nominal ini kadar Asbuton modifikasi nominal untuk campuran harus ditetapkan berdasarkan kadar aspal minyak penetrasi 60/70 yang digunakan.

c. Menentukan kadar aspal optimum

Kadar aspal optimum merupakan kadar aspal minyak ditambah kadar bitumen Asbuton butir. Penentuan kadar aspal optimum adalah memvariasikan kadar aspal campuran rencana diatas dan dibawah perkiraan kadar aspal nominal 1% dan 2%. Cara pengujian Marshall dilakukan, yaitu :

1. Benda uji berupa briket campuran aspal direndam dalam bak perendam (*water bath*) selama 30 – 40 menit dengan suhu tetap 60°C ($\pm 1^\circ\text{C}$).

da uji dikeluarkan dari bak perendam dan letakkan ke dalam men bawah kepala penekan (waktu yang diperlukan dari saat



diangkatnya benda uji dari bak perendaman atau oven sampai tercapainya beban maksimum tidak boleh melebihi 30 detik).

3. Memasang segmen atas di atas benda uji, dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
4. Memasang arloji pengukur alir (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
5. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda ujinya dinaikkan sehingga menyentuh alas cincin penguji.
6. Mengatur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
7. Pembebanan dilakukan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai atau pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stability*) yang dicapai.
8. Mencatat nilai alir (*flow*) yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur alir pada saat pembebanan maksimum tercapai (SNI 06-2489-1991).
9. Seluruh pengujian-pengujian yang dilakukan untuk memperoleh nilai kadar aspal optimum terdapat dalam aturan SNI 06-2489-1991.
10. Seluruh jenis pengujian yang dilakukan untuk penentuan kadar aspal optimum terdiri dari karakteristik stabilitas yang terdiri dari nilai

ilitas dan nilai flow dan karakteristik volumetrik yang terdiri dari VMA dan VFB.



Tabel 10. Gradasi agregat gabungan laston (Spesifikasi 2010, rev. 3)

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos terhadap Total Agregat dalam Campuran								
	Latasir (SS)		Lataston (HRS)				Laston (AC)		
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang ³		Gradasi Semi Senjang ²		WC	BC	Base
			WC	Base	WC	Base			
37,5									100
25								100	90 - 100
19	100	100	100	100	100	100	100	90 - 100	76 - 90
12,5			90 - 100	90 - 100	87 - 100	90 - 100	90 - 100	75 - 90	60 - 78
9,5	90 - 100		75 - 85	65 - 90	55 - 88	55 - 70	77 - 90	66 - 82	52 - 71
4,75							53 - 69	46 - 64	35 - 54
2,36		75 - 100	50 - 72 ³	35 - 55 ³	50 - 62	32 - 44	33 - 53	30 - 49	23 - 41
1,18							21 - 40	18 - 38	13 - 30
0,600			35 - 60	15 - 35	20 - 45	15 - 35	14 - 30	12 - 28	10 - 22
0,300					15 - 35	5 - 35	9 - 22	7 - 20	6 - 15
0,150							6 - 15	5 - 13	4 - 10
0,075	10 - 15	8 - 13	6 - 10	2 - 9	6 - 10	4 - 8	4 - 9	4 - 8	3 - 7

Catatan :

1. Untuk HRS-WC dan HRS-Base yang benar-benar senjang, paling sedikit 80% agregat lolos ayakan No.8 (2,36 mm) harus lolos ayakan No.30 (0,600 mm). Lihat Tabel 6.3.2.4 sebagai contoh batas-batas “Bahan Bergradasi Senjang” di mana bahan yang lolos No. 8 (2,36 mm) dan tertahan pada ayakan No.30 (0,600 mm).
2. Untuk semua jenis campuran, rujuk Tabel 1. (b) untuk ukuran agregat nominal maksimum pada tumpukan bahan pemasok dingin.

Kadar limbah plastik yang digunakan yaitu senilai 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% dari berat total agregat yang digunakan. Adapun kadar bitumen dalam campuran yaitu didapatkan dari proporsi agregat gabungan dan kadar bitumen yang digunakan berdasarkan dari berat total campuran, sesuai persyaratan ketentuan campuran laston lapis aus spesifikasi 2010 revisi 3.

C. Pengujian Karakteristik Campuran Laston Lapis Aus (AC-WC)

Pengujian karakteristik campuran laston lapis aus dilakukan dengan

di antaranya, pengujian kuat tarik tidak langsung (*Indirect Tensile*).



1. Pengujian Stabilitas Marshall

Salah satu metode untuk menghasilkan *design* yang baik adalah *Marshall Test*. Dikembangkan oleh Bruce Marshall dari Mississippi State Highway Department sekitar tahun 1940-an dibuat standard dalam ASTM D 1559-89, dengan membuat beberapa benda uji dengan kadar aspal yang berbeda kemudian di test *stability* dan *flow*.

Metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall mengacu pada SNI 06-2489-1991 tentang metode pengujian campuran aspal dengan alat marshall. Pengujian ini dilakukan untuk mengukur stabilitas dan *flow* (kelelahan plastis) sehingga dapat menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban yang ada. Stabilitas menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban. Stabilitas terdiri dari stabilitas kering dan stabilitas basah. Stabilitas kering merupakan ukuran ketahanan benda uji dalam menerima beban dalam kondisi kering udara. Sementara stabilitas basah merupakan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban dalam kondisi jenuh. Parameter marshall yang lain selain stabilitas, *flow* dan marshall quotient adalah VIM (*Voids in Mix*), VMA (*Voids in Mineral Aggregate*) dan VFB (*Voids Filled Bitument*).

Pengujian Stabilitas Marshall (SNI-06-2489-1991) merupakan salahsatu cara untuk mengetahui karaktersitik benda uji campuran aspal.

pengujian Stabilitas Marshall didapat beberapa nilai karakteristik



- a. Rongga didalam campuran (Void in MIX. VIM),
- b. Stabilitas
- c. Kelelehan (*Flow*)
- d. Hasil bagi Marshall (*Marshall Quetiont*)

Stabilitas merupakan kemampuan suatu campuran aspal untuk menerima beban sampai terjadi kelelehan plastis yang dinyatakan dalam kilogram atau pound. *Flow* (Kelelehan) adalah perubahan bentuk plastis suatu campuran aspal yang terjadi akibat beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01". Gambar 6 memperlihatkan alat pengujian Marshall.



Gambar 6. Alat uji Marshall

2. Pengujian Kuat Tarik Tidak Langsung (ITS)

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kemampuan benda uji aspal dalam menerima gaya tarik. Pengujian dilaksanakan



dengan cara melakukan pembebanan secara terus menerus dengan laju yang konstan sampai mencapai beban yang maksimum dimana benda uji mengalami retak dan tidak dapat lagi menerima beban yang ada. Kuat tarik tidak langsung adalah tegangan tarik maksimum yang diterima benda uji dihitung dari pembebanan maksimum hingga benda uji terbelah menjadi dua bagian. Pengujian pada campuran aspal berdasarkan pada ASTM D6931-12. Benda uji dibuat pada mould diameter 101.6 mm dipadatkan pada kedua sisinya masing-masing sebanyak 75 tumbukan.

Indirect Tensile Strength adalah tegangan tarik maksimum dihitung dari besarnya pembebanan maksimum, benda uji mengalami putus atau terbelah menjadi dua bagian. *LVDT* arah horizontal digunakan untuk mengukur perpanjangan arah horizontal digunakan sebanyak dua buah dan *LVDT* arah vertikal digunakan untuk mengukur perpendekan arah vertikal sebanyak dua buah. Gambar 7 memperlihatkan ilustrasi pengujian *Indirect Tensile Strength*.



Gambar 7. Pengujian *indirect tensile strength*

D. Jumlah dan Perlakuan Benda Uji

Jumlah benda uji dalam mencari kadar aspal optimum seperti yang terlihat pada Tabel 11 dimana jumlah benda uji ini mengacu pada standar yang ada yaitu spesifikasi 2010 revisi 3 dengan jumlah benda uji yang dibutuhkan yaitu sebanyak 25 buah. Tabel 12 memperlihatkan matriks jumlah benda uji dalam kondisi KAO yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah, dimana pengujian yang dilakukan adalah pengujian kuat tarik tidak langsung (ITS, *Indirect Tensile Strength*) dengan perlakuan yang diberikan yaitu normal dengan maksud tanpa perendaman dan tanpa proses penuaan tetapi tetap mengukur parameter volumetrik dari benda uji yaitu VIM, VMA dan VFB. Jumlah benda uji yaitu sebanyak 30 buah.

Tabel 11. Jumlah benda uji penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kadar aspal (%)	Jumlah benda uji (buah)	Standar/metode
4,5	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Metode Marshall
5,0	5	
5,5	5	
6,0	5	
6,5	5	
Jumlah	25	

Tabel 12. Jumlah benda uji (dalam kondisi KAO)

Pengujian	Kadar plastik (%)						Jumlah (buah)
	0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5	
ITS	5	5	5	5	5	5	30



BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pengujian Karakteristik Material

Pengujian yang dilaksanakan meliputi pengujian karakteristik fisik agregat kasar, abu batu dan filler abu batu, pengujian karakteristik kimia dilaksanakan untuk menganalisa komposisi kimia abu batu, limbah plastik yang digunakan dengan jenis PET (*Polyethylene Terephthalate*) dan bahan pengikat Asbuton modifikasi yang diperoleh dengan aspal Buton butir yang telah mengalami proses semi ekstraksi dan dinamakan Asbuton modifikasi (atau biasa dikenal dengan istilah Retona Blend 55).

Pengujian karakteristik kimia yang dilakukan yaitu berupa pengujian XRF (*X-Ray Fluorence*) dan pengujian XRD (*X-Ray Diffraction*) yang bertujuan untuk mengetahui kandungan kimia dari material yang diuji berupa unsur-unsur dan senyawa-senyawa kimia yang menyusun material yang digunakan baik pada Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55, agregat halus berupa abu batu maupun limbah plastik yang digunakan sebagai bahan tambah. Pengujian karakteristik kimia ini diharapkan dapat diketahui senyawa-senyawa kimia yang dapat berikatan sehingga dapat mendukung peningkatan kinerja dari campuran beraspal.

Agregat kasar, agregat halus berupa abu batu dan filler dan limbah yang digunakan dalam penelitian ini diperoleh dari berbagai yang pengambilannya terletak di Provinsi Sulawesi Selatan.



1. Karakteristik fisik agregat

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kelayakan agregat yang digunakan dalam penelitian ini, mengingat agregat merupakan komponen dengan jumlah terbesar pada suatu campuran beraspal khususnya campuran AC-WC. Agregat kasar, halus dan filler yang digunakan adalah agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm), agregat yang lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200 (0,075 mm) dan agregat yang lolos saringan No. 200. Tabel 13 sampai dengan Tabel 15 menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar, abu batu dan *filler* dari abu batu yang telah dilakukan.

Tabel 13. Karakteristik sifat fisik agregat kasar

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan air				
	Batu pecah 5 – 10 mm	2,07	-	3,0	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	2,08	-	3,0	%
2	Berat Jenis				
	Batu pecah 0,5 - 1 cm				
	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,67	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
	Batu Pecah 1 - 2 cm				
	Berat Jenis Bulk	2,62	2,5	-	-
	Berat Jenis SSD	2,68	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,77	2,5	-	-
3	Indeks Kepipihan				
	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	20,10	-	25	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	9,38	-	25	%
	Keausan Agregat				
	Batu Pecah 0,5 - 1 cm	25,72	-	40	%
	Batu Pecah 1 - 2 cm	24,36	-	40	%



Tabel 14. Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu

No.	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,79	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,45	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,52	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,63	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	89,66	50	-	%

Tabel 15. Hasil pemeriksaan karakteristik *filler* (abu batu)

No.	Pemeriksaan	Hasil Uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan Air	2,28	-	3,0	%
	Berat Jenis Bulk	2,60	2,5	-	-
2	Berat Jenis SSD	2,65	2,5	-	-
	Berat Jenis Semu	2,76	2,5	-	-
3	Sand Equivalent	69,57	50	-	%

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah), abu batu, serta *filler* abu batu yang ditampilkan terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi umum tahun 2010 Bina Marga untuk bahan jalan yang disyaratkan.

2. Karakteristik fisik bahan pengikat (Retona Blend 55)

Asbuton modifikasi merupakan bahan pengikat yang digunakan

penelitian ini, Pemeriksaan karakteristik aspal dilakukan untuk mengetahui sifat-sifat fisik aspal yang berkaitan dengan kinerja dari aspal



itu sendiri. Tabel 16 memperlihatkan hasil pengujian Asbuton modifikasi yang telah dilakukan.

Tabel 16. Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi

No	Pengujian	Hasil	Spesifikasi	
			Min	Max
1	Penetrasi sebelum kehilangan berat (mm)	78,6	60	79
2	Titik Lembek (°C)	52	48	58
3	Daktalitas pada 25°C, 5cm/menit (cm)	114	100	-
4	Titik nyala (°C)	280	200	-
5	Berat jenis	1,12	1	-
6	Penurunan berat (%)	0,3	-	0,8
7	Penetrasi Setelah Kehilangan Berat (mm)	86	54	-

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan Lab, Perkerasan Jalan UNHAS

Hasil pemeriksaan karakteristik Asbuton modifikasi yang ditampilkan pada Tabel 16 menunjukkan bahwa aspal yang digunakan pada penelitian ini telah memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010 Revisi 3, seksi 6 tentang perkerasan beraspal.

3. Karakteristik fisik bahan tambah (limbah plastik)

Botol plastik yang akan digunakan pada penelitian ini adalah jenis

polyethylene Terephthalate) yang merupakan salah satu dari jenis polyene, yaitu polimer yang terdiri dari rantai panjang



monomer etilena (IUPAC : etena). Struktur molekul etena C_2H_4 adalah $--CH_2--CH_2--_n$. Dua grup CH_2 bersatu dengan ikatan ganda, Polietilena dibentuk melalui proses polimerisasi dari etena. Polietilena umumnya bisa dilarutkan pada temperatur yang tinggi dalam hidrokarbon aromatik (Wikipedia, 2016 b), Gambar 8 memperlihatkan permukaan tipis *polyethylene*.



Gambar 8. Permukaan tipis *polyethylene*

Plastik jenis PET merupakan plastik tipe cokelat yang dibuat dari minyak bumi. Sifat mekanis jenis plastik PET adalah kuat, agak tembus cahaya, mempunyai sifat fleksibilitas yang tinggi dan permukaan agak berlemak. Pada suhu $60^{\circ}C$ 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 $0,91 - 0,94 \text{ gr/cm}^3$. PET termasuk jenis polietilen dengan kerapatan

yang diproduksi melalui polimerisasi radikal bebas pada suhu $200^{\circ}C$) dan tekanan yang tinggi, serta mempunyai titik leleh $115^{\circ}C$ (a, 2011). Adapun yang termasuk plastik jenis PET, yaitu botol



plastik, mainan, bahan cetakan, ember, drum, pipa saluran, isolasi kawat dan kabel, kantong plastik, dll.

4. Karakteristik kimia material

Hasil pengujian karakteristik kimia material yang dilakukan dengan pengujian XRF berupa karakteristik kimia *filler* abu batu, bahan pengikat Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 dan limbah plastik jenis PET masing-masing diperlihatkan pada Tabel 17, Tabel 18 dan Gambar 9, Gambar 10 dan Gambar 11 memperlihatkan hubungan sudut phase dan intensitas hasil pengujian XRD dari Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55 dan limbah plastik jenis PET.

Tabel 17. Karakteristik kimia *filler* abu batu (hasil uji XRF)

Senyawa	Kandungan (%)
SiO ₂	49,36
Al ₂ O ₃	34,19
Fe ₂ O ₃	5,85
CaO	5,96
TiO ₂	0,77
K ₂ O	2,99
P ₂ O ₅	0,27
BaO	0,22
SO ₃	0,18
MnO	0,11
Cr ₂ O ₃	0,02
ZnO	0,00
CuO	0,00

: Hasil pengujian Lab, Terapan dan Pengembangan Sains FMIPA



Komposisi kimia yang dikandung oleh filler dari abu batu sangat bervariasi dengan unsur mayor yang terdiri dari SiO_2 , Al_2O_3 , Fe_2O_3 , CaO , K_2O dan TiO_2 adalah masing-masing sebesar 49,365%, 34,195%, 5,859%, 5,965%, 2,997% dan 0,777%, Selain itu, terdapat juga unsur minor diantaranya P_2O_5 , BaO , SO_3 , MnO , Cr_2O_3 , ZnO dan CuO .

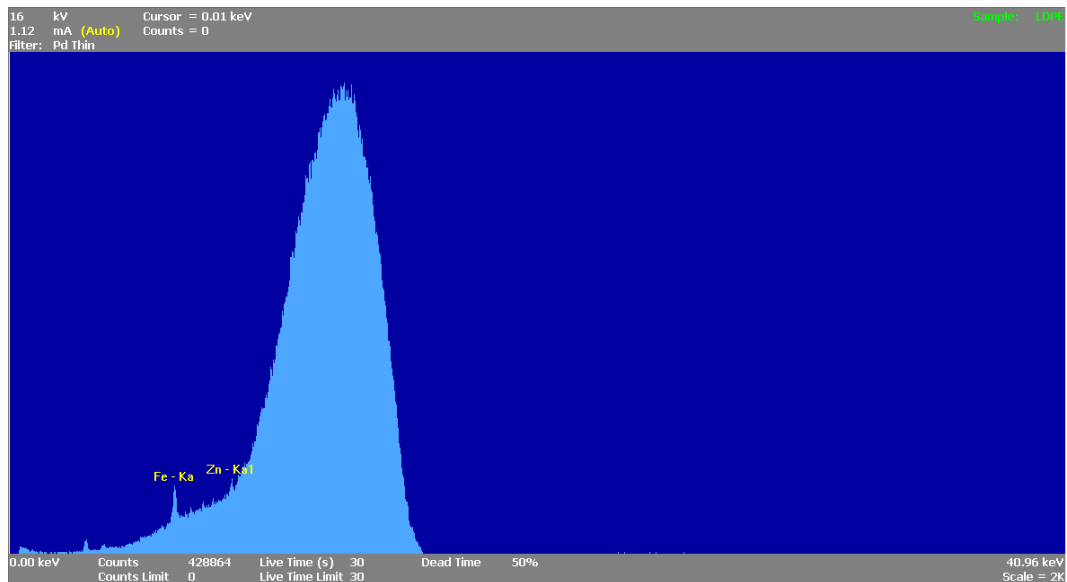
Tabel 18. Karakteristik kimia Asbuton modifikasi (hasil uji XRF)

Senyawa	Kandungan (%)
SO_3	69,137
CaO	22,174
SiO_2	4,281
Cl	1,778
Fe_2O_3	1,196
V_2O_5	1,049
K_2O	0,258
NiO	0,097
Cr_2O_3	0,030

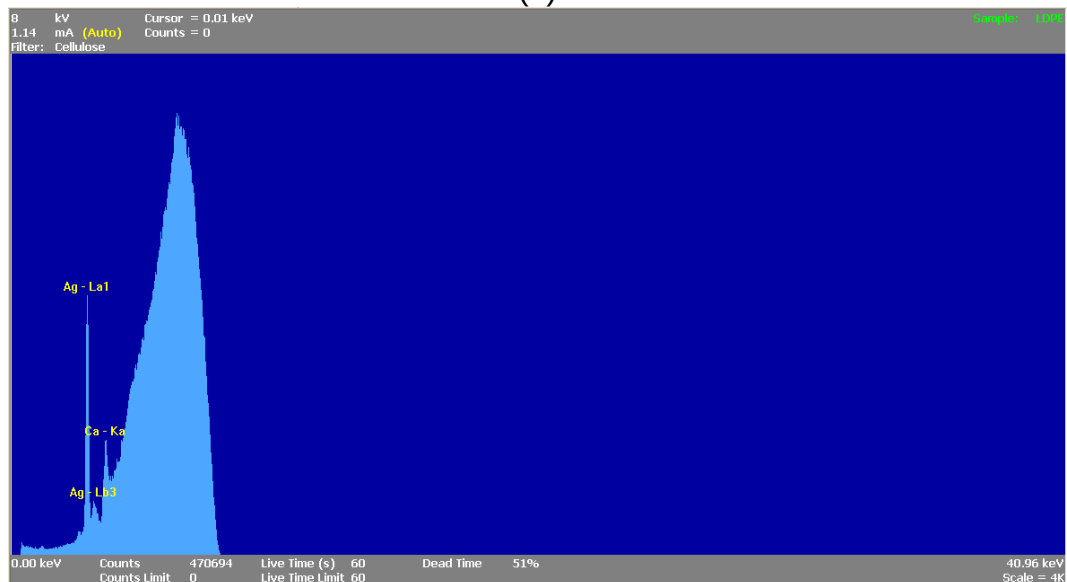
Sumber : Hasil pengujian Lab, Terapan dan Pengembangan Sains FMIPA

Aspal merupakan senyawa-senyawa kimia yang terdiri dari senyawa hidrokarbon, senyawa nitrogen dan sejumlah senyawa-senyawa kimia lainnya (*The Shell Bitumen Handbook*, 2015). Hasil uji menunjukkan bahwa kandungan unsur SO_3 yang merupakan unsur penyusun dari aspal mendominasi pada Asbuton modifikasi yaitu sebesar 69,137%, CaO sebesar 22,174% dan SiO_2 sebesar 4,281%, Selain itu, sejumlah unsur-unsur lainnya seperti Cl , Fe_2O_3 , V_2O_5 , K_2O , NiO , Cr_2O_3 yaitu masing-masing sebesar 1,778%, 1,196%, 1,049%, 0,258%, 0,097% dan 0,030%.





(1)



(2)

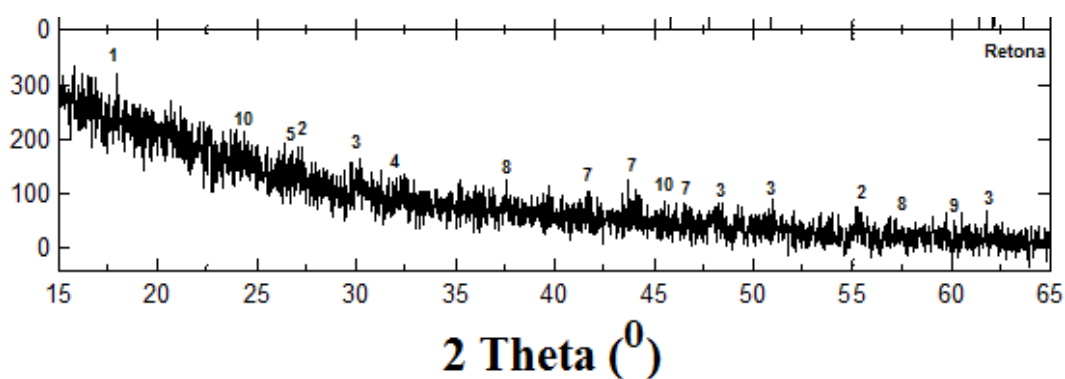
Gambar 9. Hasil uji XRF limbah plastik jenis PET

Berdasarkan Gambar 9 (1) hasil uji XRF menyatakan keberadaan unsur Fe dan Zn pada masukan arus 1,12 mA sedangkan pada Gambar 9 (2) menyatakan keberadaan Ag dan Ca pada masukan arus 1,14 mA.

Persentase dari unsur-unsur ini tidak dapat dihitung akibat energi yang dihasilkan terlalu rendah, energi yang terlalu rendah ini dapat



disebabkan oleh limbah plastik jenis PET kemungkinan sudah terlalu termodifikasi dari senyawa asal, jumlah dari unsur-unsur tersebut terlalu sedikit dan limbah plastik jenis PET ini telah didominasi oleh ikatan karbon, Oleh karena itu, dibutuhkan analisis yang lebih kompleks yaitu menggunakan metode XRD (*X-Ray Diffraction*).



Nomor	Nama	Rumus senyawa	Kandungan (%)
1		$C_{20}N_2O_2S$	31
2		$C_4H_7NO_3$	12,2
3	Wollastonite-2M	CaO_3Si	13,1
4	Barium titanate	BaO_3Ti	1
5	Quartz	SiO_2	3,6
6	Iron(III) oxide - α -Hematite	Fe_2O_3	3,1
7	Carbon	C	26
8	Calcium sulfate Anhydrite	CaO_4S	7
9	Lime	CaO	2,1
10		SO_3	0,9

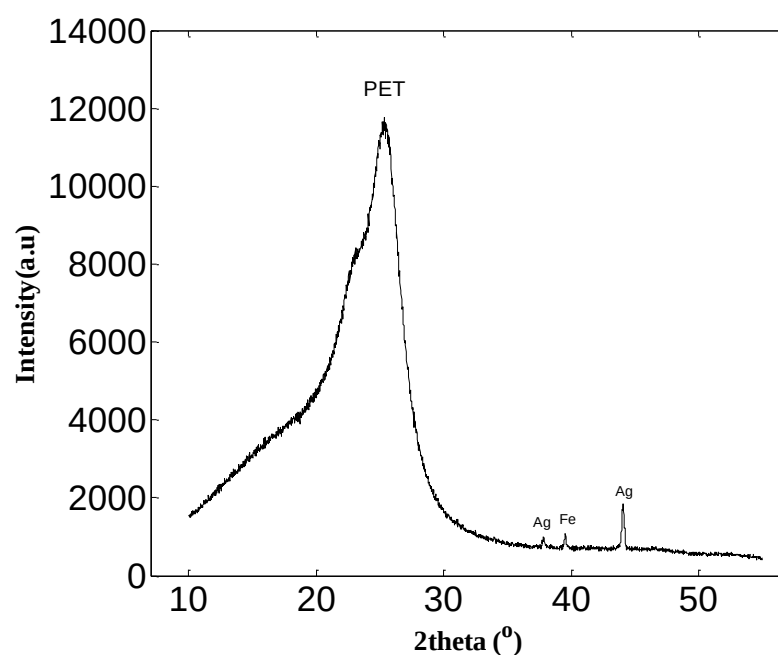
Gambar 10. Hubungan sudut phase dengan intensitas Asbuton modifikasi

Hasil pengujian XRD dari Asbuton modifikasi tipe Retona Blend 55

menunjukkan jumlah bitumen atau total dari material-material yang terdapat pada nomor 1 ($C_{20}N_2O_2S$), nomor 2 ($C_4H_7NO_3$) dan nomor 7 (C) masing-masing sebesar 31%, 12,2% dan 26% dengan total persentase



adalah sebesar 82,3%, Sedangkan mineral yang terkandung ditunjukkan pada nomor 4 (BaO_3Ti), 5 (SiO_2), 6 (Fe_2O_3), 8 (CaO_4S), 9 (CaO) dan 10 (SO_3) masing-masing sebesar 1%, 3,6%, 3,1%, 7%, 2,1% dan 0,9% dengan total persentase adalah sebesar 17,7%, Hal ini membuktikan bahwa Asbuton hasil semi ekstraksi berupa Retona Blend 55 secara umum terdiri dari 70% bitumen dan 30% mineral.



PET	75,7%
Ag	17,7%
Fe	6,5%

Gambar 11. Hubungan sudut phase dengan intensitas limbah plastik

Hasil pengujian XRD dari limbah plastik jenis PET ini, terlihat bahwa senyawa PET itu sendiri mendominasi yaitu sebesar 75,7% serta Ag dan Fe masing-masing sebesar 17,7% dan 6,5%.

eh karena itu, diharapkan dari unsur-unsur dan senyawa yang ang dalam material yang digunakan dalam penelitian ini seperti



pada abu batu, limbah plastik jenis PET dan Asbuton modifikasi dapat membentuk ikatan yang baik sehingga memberikan kontribusi positif dalam peningkatan kinerja dari campuran AC-WC berupa nilai stabilitas dan nilai kuat tarik tidak langsung dengan masih mempertimbangkan nilai volumetrik dari benda uji akibat beban lalu lintas yang semakin meningkat dari tahun ke tahun. Selain itu, campuran AC-WC yang dihasilkan dapat menjadi lapisan aus untuk menahan rutting/alur yang terjadi. Pengujian stabilitas dan kuat tarik tidak langsung dapat menggambarkan kondisi sesungguhnya dari beban lalu lintas yang ada di permukaan jalan.

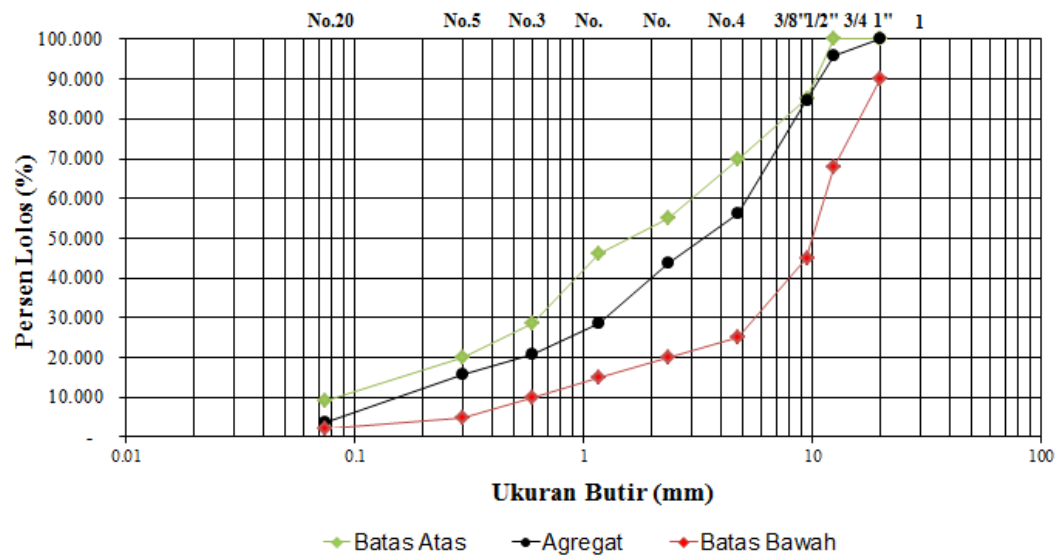
B. Penentuan Gradasi Campuran

Proporsi agregat gabungan didapatkan dari nilai perbandingan komposisi agregat rencana dikalikan dengan nilai persen lolos pada analisa saringan. Setelah itu, hasil yang diperoleh untuk semua komponen yaitu seluruh fraksi pada syarat gradasi campuran AC-WC memenuhi persyaratan berdasarkan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga tahun 2010 revisi 3 seksi 6 tentang campuran beraspal sebagai bahan campuran beton aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*).

Selanjutnya, proporsi agregat gabungan yang telah diperoleh tersebut disesuaikan dengan nilai interval spesifikasi. Setelah itu, agregat gabungan serta interval spesifikasi diplot ke dalam grafik untuk

mengetahui gradasi agregat gabungan yang ada, seperti yang ditunjukkan Gambar 12.





Gambar 12. Gradasi agregat gabungan

Pada Gambar 12 terlihat bahwa rancangan agregat gabungan atau gradasi agregat gabungan yang dibuat telah berada dalam interval spesifikasi standar sesuai dengan Spesifikasi Umum Pekerjaan Jalan oleh Bina Marga Tahun 2010 dan telah memenuhi persyaratan untuk lapis permukaan sehingga dapat diperoleh rancangan campuran atau *mix design* yang optimal.

Penentuan komposisi agregat, digunakan metode *by sieve* (dilakukan penimbangan berdasarkan ukuran saringan), Hasil ini didapatkan pada pengujian analisa saringan pada agregat kasar maupun agregat halus yang telah dilakukan sebelumnya. Metode penentuan proporsi agregat ini tidak dikelompokkan menurut fraksi agregat (agregat kasar, agregat halus dan *filler*) seperti pada metode *by portion*, melainkan ditentukan melalui

pengujian berdasarkan komposisi untuk masing-masing ukuran agregat yang digunakan dalam penelitian ini.

C. Rancangan dan Komposisi Campuran AC-WC Berdasarkan Kadar Aspal Perkiraan

Metode yang digunakan untuk rancangan campuran AC-WC adalah terlebih dahulu menetapkan gradasi agregat selanjutnya dihitung perkiraan kadar aspal dengan menggunakan rumus yaitu :

$$\begin{aligned} P_b &= 0,035 (\% \text{ CA}) + 0,045 (\% \text{ FA}) + 0,18 (\% \text{ Filler}) + \text{Konstanta} \\ &= 0,035 (53,95\%) + 0,045 (39,05\%) + 0,18 (7\%) + 0,7 \\ P_b &= 6,12\% \end{aligned}$$

Sehingga dari perkiraan kadar aspal tersebut maka digunakan variasi kadar aspal untuk campuran AC-WC ini, yaitu 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5%. Tabel 19 memperlihatkan komposisi campuran AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) tanpa menggunakan limbah plastik PET berdasarkan kadar aspal perkiraan yang diperoleh dari perhitungan dimana komposisi campuran dibuat berdasarkan gradasi agregat atau seluruh agregat yang tertahan pada masing-masing saringan. Selanjutnya limbah plastik PET digunakan sebagai bahan tambah pada masing-masing kadar aspal. Kadar limbah plastik yang digunakan yaitu 0,0%, 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5%. Oleh karena itu, dengan penambahan limbah plastik PET pada semua variasi kadar aspal dapat memberikan informasi mengenai kadar aspal optimum pada masing-masing kadar limbah plastik PET. Selain itu, dalam penelitian ini memberikan informasi mengenai kekuatan tarik tidak langsung dari AC-WC yang mengandung limbah plastik PET.



Tabel 19. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram benda uji tanpa limbah plastik

No	Uraian	Satuan	Kadar Asbuton Modifikasi (%)							
			5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5		
A	Berat Asbuton modifikasi	gr	60,00	66,00	72,00	78,00	84,00	90,00		
	Gradasi									
	Gabungan		Berat Agregat menurut ukuran saringan							
B	Agregat									
	Saringan	% Lolos	% Tertahan							
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-	-	
2	1/2"	96,00	4,00	gr	45,63	45,39	45,15	44,91	44,67	44,43
3	3/8"	86,93	9,07	gr	103,39	102,85	102,31	101,76	101,22	100,67
4	No. 4	63,90	23,03	gr	262,49	261,11	259,73	258,35	256,97	255,58
5	No. 8	43,56	20,34	gr	231,85	230,62	229,40	228,18	226,96	225,74
6	No. 16	28,62	14,94	gr	170,34	169,44	168,54	167,65	166,75	165,85
7	No. 30	20,76	7,87	gr	89,68	89,21	88,74	88,27	87,79	87,32
8	No. 50	15,60	5,16	gr	58,82	58,51	58,20	57,89	57,58	57,27
9	No. 100	10,79	4,80	gr	54,74	54,45	54,16	53,87	53,58	53,30
9	No. 200	8,43	2,37	gr	27,00	26,86	26,72	26,58	26,44	26,29
10	PAN	0,00	8,43	gr	96,05	95,55	95,04	94,54	94,03	93,53
	Jumlah		100,00	gr	1,140	1.134	1.128	1.122	1.116	1.100
C	Berat Benda Uji			gr	1,200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

D. Penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) Campuran AC-WC Tanpa Menggunakan Limbah Plastik PET

Pengujian dengan masing-masing variasi kandungan kadar Asbuton modifikasi menggunakan pemadat *Marshall* dengan jumlah tumbukan 75

untuk masing-masing bidang. Parameter yang didapatkan yaitu dan kelenturan atau kelelahan (*flow*) yang menunjukkan ukuran



ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban diperoleh dari hasil analisis terhadap pengujian *Marshall*. Selain itu, nilai volumetrik yang terdiri rongga diantara agregat (VMA), rongga terisi aspal (VFB), dan rongga dalam campuran (VIM) juga merupakan karakteristik *Marshall*.

Dari Tabel 20 menunjukkan bahwa tidak semua hasil pengujian masuk dalam spesifikasi karakteristik campuran AC-WC sesuai dengan Spesifikasi Umum Bina Marga tahun 2010. Dari Tabel 20 dibuat grafik karakteristik campuran AC-WC untuk semua parameter Marshall baik parameter stabilitas dan volumetrik untuk memperoleh kadar aspal optimum. Tabel 20 memperlihatkan hasil pengujian karakteristik Marshall, dimana rancangan kadar aspal yang memenuhi persyaratan campuran beraspal panas yakni pada kadar aspal 6,0% dan 6,5% baik terhadap nilai stabilitas maupun terhadap nilai volumetrik campuran.

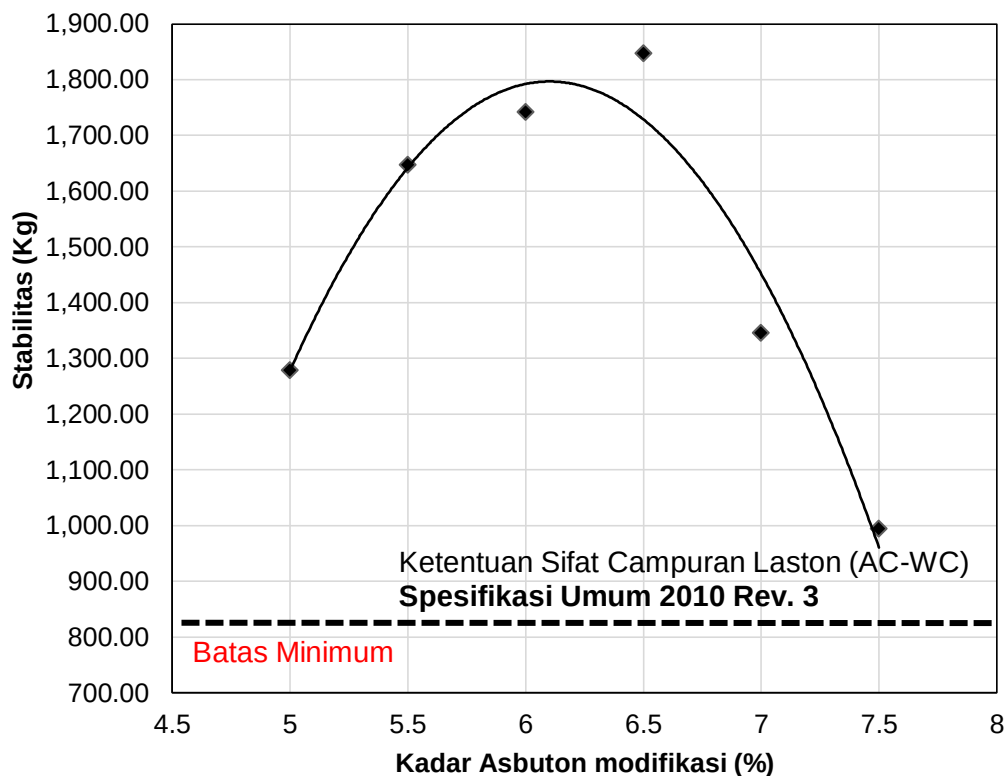
Tabel 20. Hasil pengujian karakteristik Marshall untuk seluruh parameter

No	Kadar						
	Asbuton modifikasi (%)	VMA (%)	VIM (%)	VFB (%)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	MQ (kg/mm)
1	5,00	26,71	9,03	66,44	1278,27	2,37	544,86
2	5,50	25,76	6,86	73,40	1647,00	2,48	674,01
3	6,00	24,27	3,95	83,72	1741,81	3,00	585,38
4	6,50	24,54	3,27	86,75	1847,16	3,72	516,85
5	7,00	24,02	1,54	93,59	1344,99	3,05	523,77
	7,50	24,35	0,92	96,29	993,82	3,48	362,33
	Spesifikasi	15% <	3-5%	65 % <	800 kg <	2- 4 mm	Min.250



1. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan nilai stabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 13. Hasil pengujian memperlihatkan ketika kandungan kadar aspal meningkat maka nilai stabilitas juga meningkat hingga mencapai suatu nilai optimum ketika kandungan kadar aspal berada pada kandungan kadar aspal optimum maka nilai stabilitas tertinggi terjadi pada campuran tersebut, dan ketika kandungan kadar aspal melewati kandungan kadar aspal optimum maka secara perlahan nilai stabilitas juga menurun.



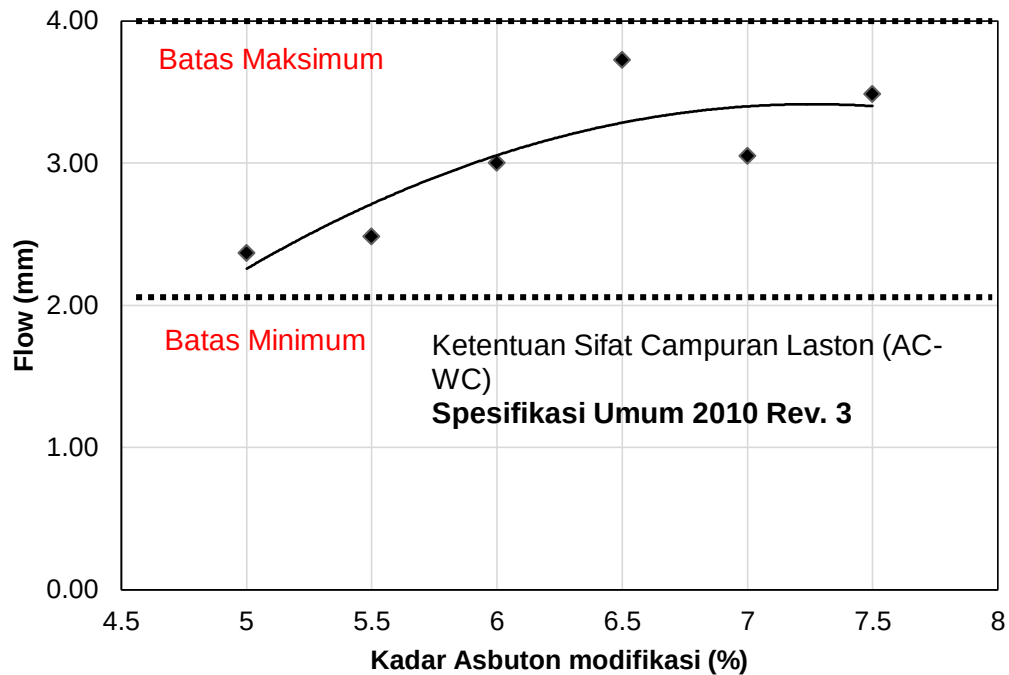
13. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai stabilitas tanpa limbah plastik

Nilai stabilitas yang diperoleh memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Spesifikasi 2010 Revisi 3, Bina Marga divisi 6 campuran beraspal, yaitu sebesar ≥ 800 kg. Nilai stabilitas terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 7,5%, dengan nilai stabilitas 993,82 kg dan nilai stabilitas tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 6,5% dengan nilai stabilitas 1847,16 kg. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,5% memiliki nilai stabilitas 1647 kg yang hampir sama dengan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai stabilitas 1741,81 kg dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dengan nilai stabilitas 1278,27 kg dan campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 7,0% memiliki nilai stabilitas terbesar yaitu sebesar 1344,99 kg. Dengan demikian, dapat kita ketahui bahwa kandungan kadar Asbuton modifikasi optimum berada diantara kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,0% dan 6,5%. Selain dari parameter stabilitas, parameter yang lainnya juga seperti *flow*, *Marshall quotient* (MQ), VIM, VMA dan VFB yang merupakan parameter volumetrik diketahui untuk mendapatkan Kadar Aspal Optimum (KAO) dalam penelitian ini.

2. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan *Flow*

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan *flow* ditunjukkan pada Gambar 14. Hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan *flow* didapatkan hubungan





Gambar 14. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai *flow* tanpa limbah plastik

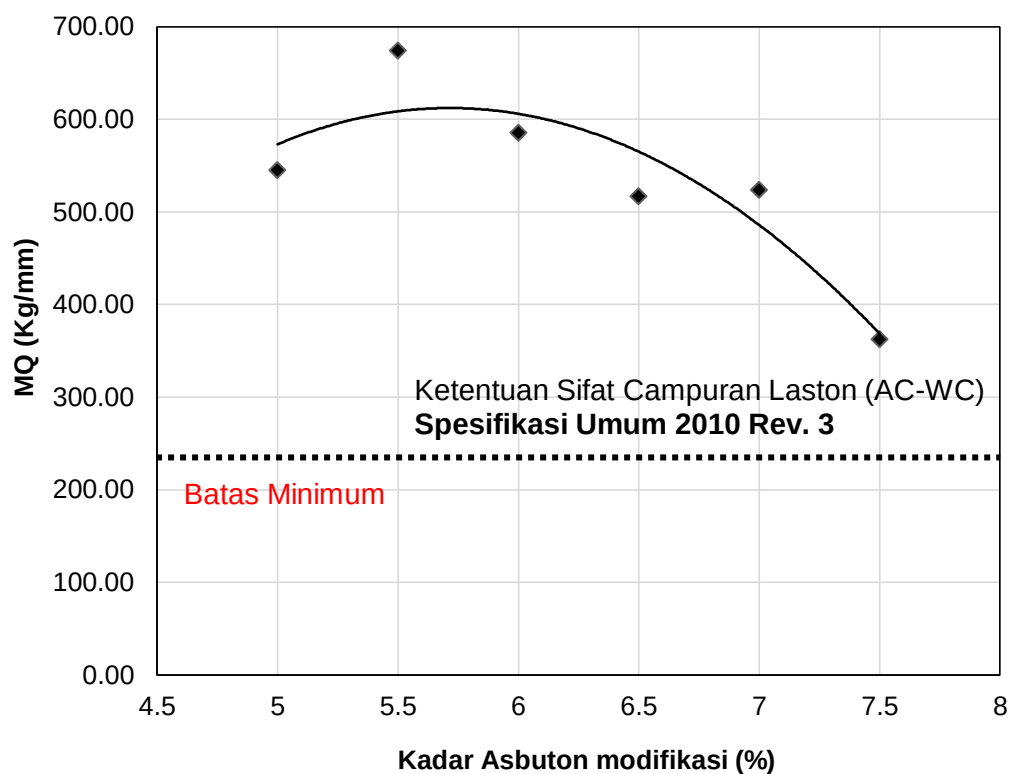
Nilai *flow* yang diperoleh belum memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu 2 mm sampai 4 mm. Nilai *flow* terendah yaitu pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,0%, dengan nilai *flow* 2,37 mm dan nilai *flow* tertinggi pada campuran dengan kadar Asbuton modifikasi 5,5% dan 6,0% dengan nilai *flow* masing-masing sebesar 2,48 mm dan 3,00 mm. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5 % memiliki nilai *flow* 3,72 mm yang relatif lebih besar dibanding campuran dengan kandungan Asbuton modifikasi 7,0% dengan nilai *flow* 3,05 mm dan campuran dengan kandungan kadar

modifikasi 7,5% dengan nilai *flow* 3,48 mm. Bertambahnya antar campuran dan penggunaan kandungan kadar Asbuton

modifikasi yang tinggi dapat menyebabkan nilai kelelahan plastis (*flow*) meningkat.

3. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan *Marshall Quetiont* (MQ)

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan *marshall quetiont* yang ditunjukkan pada Gambar 15 hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi dengan *marshall quetiont* didapatkan hubungan yang kuat.



Gambar 15. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai *Marshall quetiont* tanpa limbah plastik



ai *Marshall quetiont* yang diperoleh sesuai dengan spesifikasi ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu minimal 250 kg/mm. Nilai *Marshall*

quetion terendah yaitu pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 7,5% sebesar 362,33 kg/mm, dan nilai *Marshall quetion* tertinggi pada campuran dengan kadar kandungan Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 674,01 kg/mm. Campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 6,5% memiliki nilai *Marshall quetion* 516,85 kg/mm sedangkan kandungan Asbuton modifikasi 6,0% dengan nilai *Marshall quetion* 585,38 kg/mm dan campuran dengan kandungan kadar Asbuton modifikasi 5,0% dan 7,0% dengan nilai *Marshall quetion* 544,86 kg/mm dan 523,77 kg/mm.

Rendahnya nilai *Marshall Quetion* campuran Asbuton modifikasi dikarenakan stabilitas yang terjadi kecil serta *flow* yang besar dan agregat yang terselimuti menjadi tebal dan perubahan mudah terjadi pada akhirnya akan mengurangi daya ikat antar agregat dalam campuran pada saat dibebani. Berkurangnya ikatan antar agregat akan mengurangi stabilitas campuran yang mengarah pada nilai *flow* yang naik.

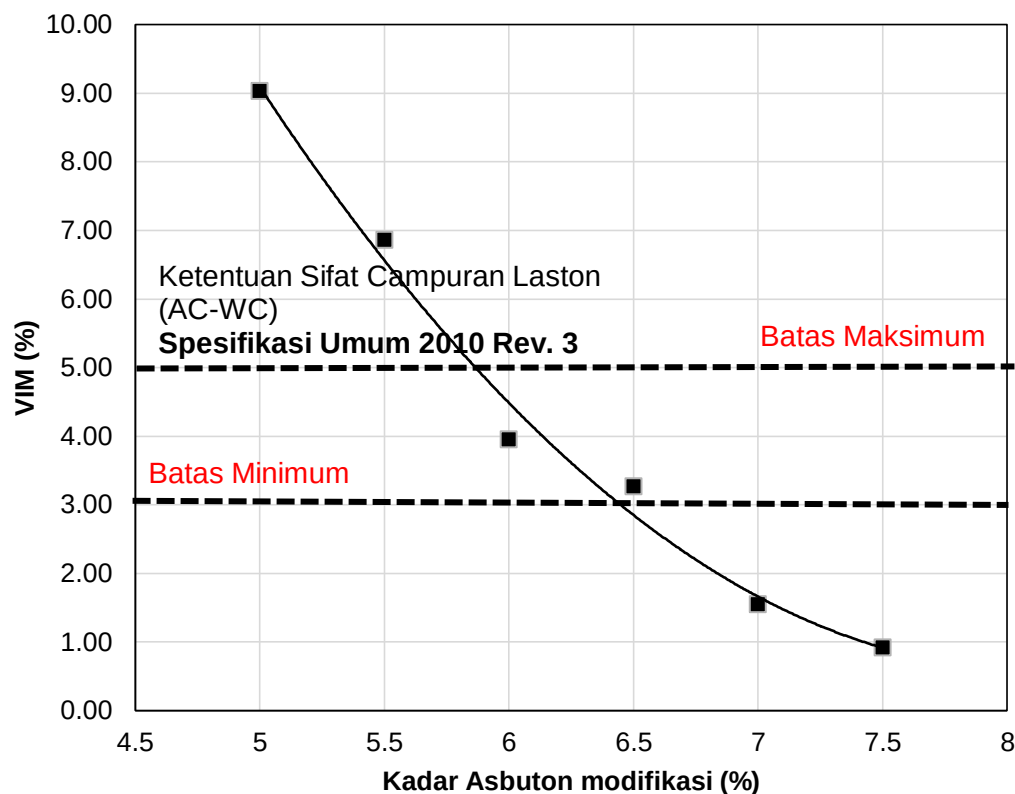
4. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan VIM (*Void in Mix*)

Berdasarkan hasil pengujian volumetrik, terlihat pada Gambar 16 hubungan antara kadar Asbuton modifikasi dengan nilai VIM. Nilai VIM yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi Umum 2010, revisi 3 adalah sebesar 3% sampai dengan 5%. Terlihat pada kadar Asbuton modifikasi 5,0%, 5,5%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5% nilai VIM (*Void in Mix*) masing-masing

sebesar 9,03%, 6,86%, 3,95%, 3,27%, 1,54% dan 0,92%.
 rkan nilai VIM yang diperoleh terlihat bahwa nilai VIM yang



memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3 adalah pada kadar Asbuton modifikasi yaitu sebesar 6,0% dan 6,50% sedangkan kadar Asbuton modifikasi 5,0%, 5,5%, 7,0% dan 7,5% tidak memenuhi spesifikasi 2010, Revisi 3.



Gambar 16. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai VIM tanpa limbah plastik

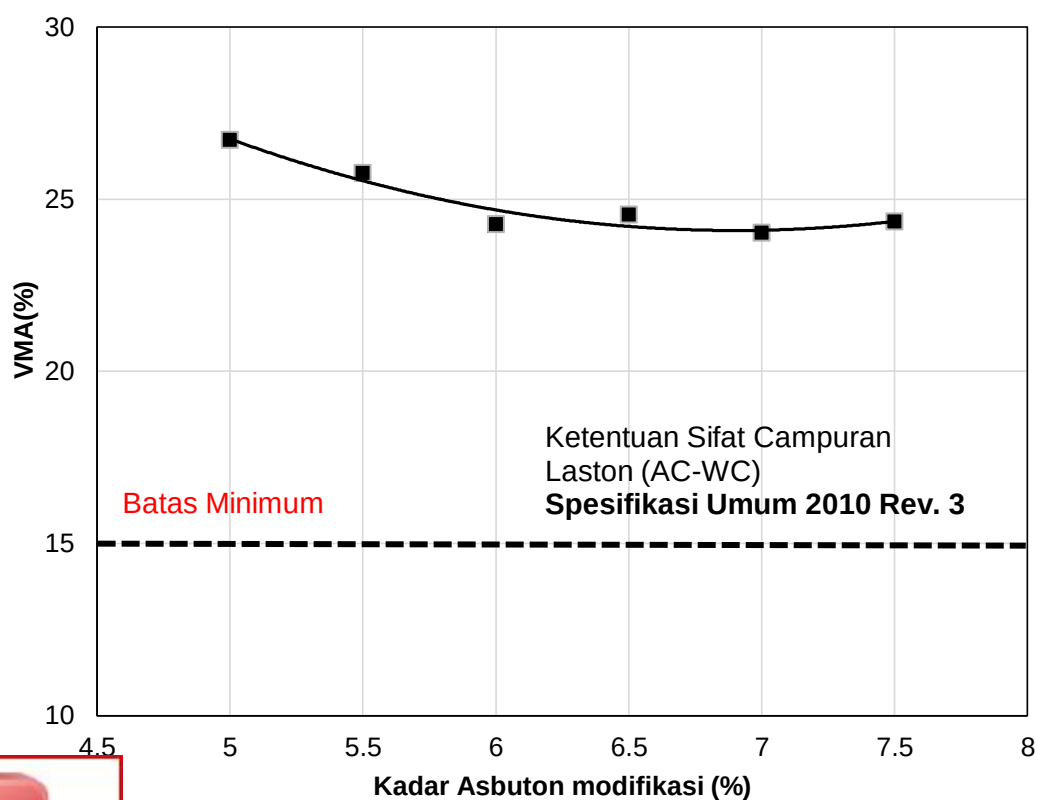
5. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan VMA (*Void Mineral Aggregate*)

Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal

menyatakan bahwa nilai VMA dalam campuran beraspal adalah minimal 4%. VMA mengindikasikan adanya rongga yang terjadi diantara agregat, dimana parameter ini merupakan salah satu



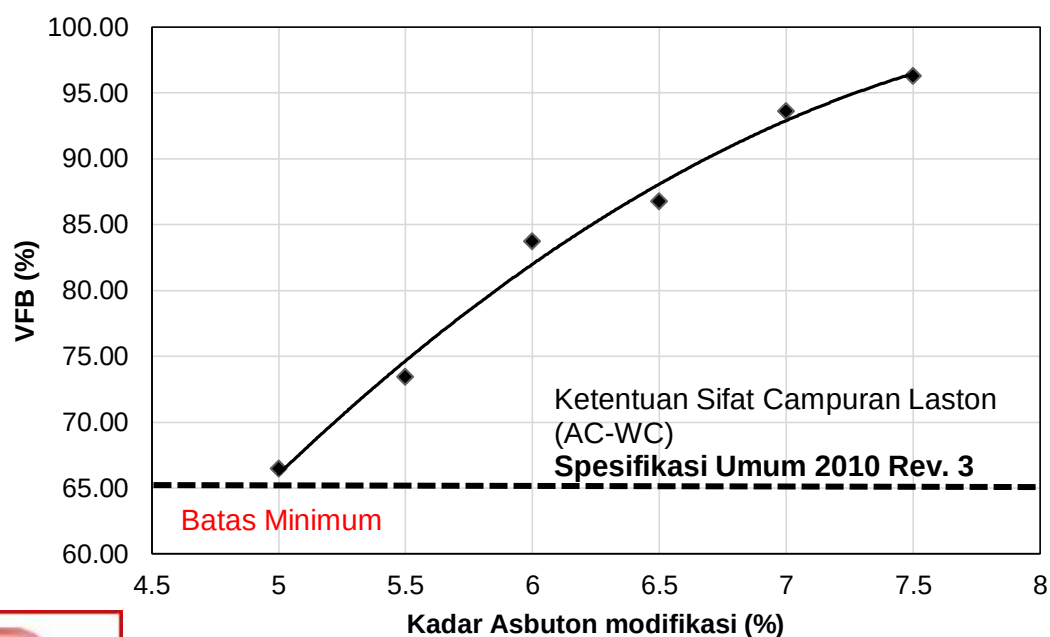
parameter volumetrik. Gambar 17 memperlihatkan hubungan antara kadar kandungan Asbuton modifikasi terhadap nilai VMA, dimana nilai VMA pada kadar Asbuton modifikasi 5,0% adalah sebesar 26,71% yang relatif lebih besar dibandingkan dengan nilai VMA pada kadar Asbuton modifikasi 5,5% sebesar 25,76%. Sedangkan pada kadar Asbuton modifikasi 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5% masing-masing nilai VMA adalah sebesar 24,27%, 24,54%, 24,02% dan 24,35%. Oleh karena itu, seluruh kadar Asbuton modifikasi yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi spesifikasi yang dipersyaratkan oleh Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal.



17. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai VMA tanpa limbah plastik

6. Hubungan Kadar Asbuton modifikasi dengan VFB (*Void Filled Bitumen*)

Gambar 18 memperlihatkan hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi dengan nilai VFB. Berdasarkan Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal, persyaratan VFB dalam campuran beraspal adalah minimal 65%. Hasil pengujian volumetrik campuran beraspal menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat berupa parameter VFB memperlihatkan nilai sebesar 66,44%, 73,40%, 83,72%, 86,75%, 93,59%, 96,29% untuk masing-masing kadar Asbuton modifikasi yaitu 5,0%, 5,%, 6,0%, 6,5%, 7,0% dan 7,5%. Oleh karena itu, semua kadar Asbuton modifikasi yang digunakan memenuhi Spesifikasi umum 2010, Revisi 3.



18. Hubungan kandungan kadar Asbuton modifikasi terhadap nilai VFB tanpa limbah plastik

7. Penentuan Kadar Aspal Optimum Menggunakan Asbuton Modifikasi Sebagai Bahan Pengikat Tanpa Limbah Plastik

Berdasarkan parameter stabilitas yang terdiri dari stabilitas, flow dan *Marshall quotient*) dan volumetrik yang terdiri dari VIM, VMA dan VFB, kadar aspal optimum yang dibutuhkan dalam campuran beraspal panas menggunakan Asbuton modifikasi adalah tanpa limbah plastik sebesar 6,25%. Analisis penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) campuran aspal panas menggunakan agregat batu kali yang mengacu pada Spesifikasi umum 2010, Revisi 3, Divisi 6 tentang Perkerasan Aspal dan SNI 06-2489-1991 (Cara Uji Campuran Beraspal Panas dengan Metode Marshall) ditunjukkan pada Tabel 21.

Tabel 21. Analisis penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO) menggunakan Asbuton modifikasi tanpa limbah plastik

Sifat-sifat campuran	Rentang Kadar Aspal yang Memenuhi Spesifikasi (%)						
	5,0	5,5	6,0	6,5	7,0	7,5	
Rongga diantara agregat (%) (VMA) (minimal 15%)							
Rongga terisi aspal (%) (VFB) (minimal 65%)							
Rongga dalam campuran (%) (VIM) (3% – 5%)							
Stabilitas (kg) (minimal 800 kg)							
an (mm) (2 – 4)							



$$\text{Kadar Aspal Optimum} = \frac{6\% + 6,5\%}{2} = 6,25\%$$

Kadar aspal optimum yang didapatkan dengan menggunakan Asbuton modifikasi sebagai bahan pengikat tanpa menggunakan limbah plastik PET sebagai bahan tambah adalah 6,25%. Penelitian ini dirancang dengan mendapatkan perbandingan nilai kekuatan tarik tidak langsung dengan penambahan limbah plastik PET sebagai bahan tambah. Oleh karena itu, diharapkan limbah plastik PET memberikan pengaruh kepada nilai karakteristik kuat tarik tidak langsung. Nilai kuat tarik tidak langsung dapat digunakan oleh praktisi untuk menjustifikasi dan dapat memberikan masukan kepada pelaksana jalan untuk diaplikasikan di lapangan dengan menggunakan limbah plastik PET sebagai bahan tambah.

E. Rancangan Komposisi Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET Pada Kadar Aspal Optimum

Limbah plastik PET ditambahkan pada kadar aspal optimum (KAO) yaitu sebesar 6,25%. Kadar limbah plastik PET yang ditambahkan yaitu 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5%. Berat dari masing-masing persentase kadar limbah plastik PET didasarkan dari berat total agregat dalam satu campuran 1200 gram. Tabel 22 memperlihatkan rancangan komposisi campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik PET pada kadar aspal optimum sebesar 6,25% yang digunakan. Persentase limbah plastik PET dalam penelitian ini berdasarkan berat keseluruhan total agregat (limbah plastik PET mensubstitusi agregat).



Tabel 22. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram benda uji dengan penambahan limbah plastik PET pada kadar aspal optimum 6,25%

No	Uraian	Satuan	Kadar Limbah Plastik (%)							
			0,0	0,5	1,0	1,5	2,0	2,5		
A	Berat Limbah Plastik	gr	0,00	5,63	11,25	16,88	22,50	28,13		
B	Berat Asbuton Modifikasi	gr	75,00							
C	Gradasi									
	Gabungan Agregat		Berat Agregat menurut ukuran saringan							
	Saringan	% Lolos	% Tertahan							
1	3/4"	100,00	0,00	gr	-	-	-	-	-	
2	1/2"	96,00	4,00	gr	45,03	44,47	43,91	43,34	42,78	42,22
3	3/8"	86,93	9,07	gr	102,03	101,47	100,91	100,35	99,78	99,22
4	No. 4	63,90	23,03	gr	259,04	258,48	257,91	257,35	256,79	256,23
5	No. 8	43,56	20,34	gr	228,79	228,23	227,67	227,11	226,54	225,98
6	No. 16	28,62	14,94	gr	168,10	167,53	166,97	166,41	165,85	165,28
7	No. 30	20,76	7,87	gr	88,50	87,94	87,38	88,82	86,25	85,69
8	No. 50	15,60	5,16	gr	58,05	57,48	56,92	56,36	55,80	55,23
9	No. 100	10,79	4,80	gr	54,02	53,45	52,89	52,33	51,77	51,20
10	No. 200	8,43	2,37	gr	26,65	26,09	25,52	24,96	24,40	23,84
11	PAN	0,00	8,43	gr	94,79	94,23	93,67	93,10	92,54	91,98
	Jumlah		100,00	gr	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125	1.125
C	Berat Benda Uji			gr	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200	1.200

F. Hubungan Tegangan - Regangan Campuran AC-WC dengan

Penambahan Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephtalate)

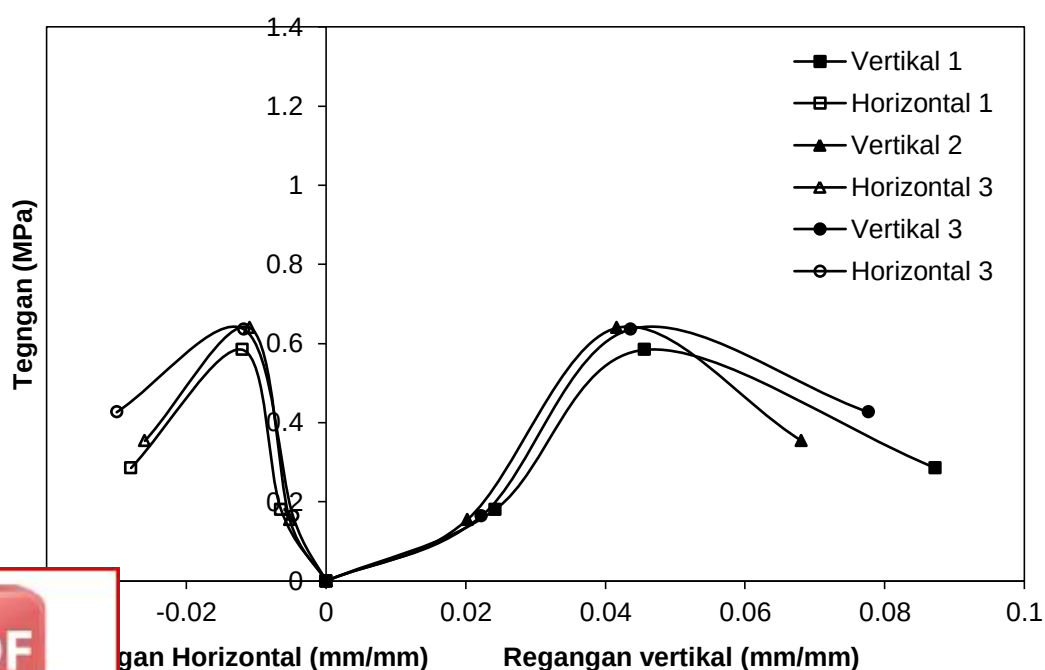
Hubungan tegangan dan regangan ($\sigma - \epsilon$) campuran AC-WC dengan

penambahan limbah plastik PET (Polyethylene Therephtalate) sebesar

1,0, 1,5, 2,0 dan 2,5% pada kadar aspal optimum (KAO) sebesar

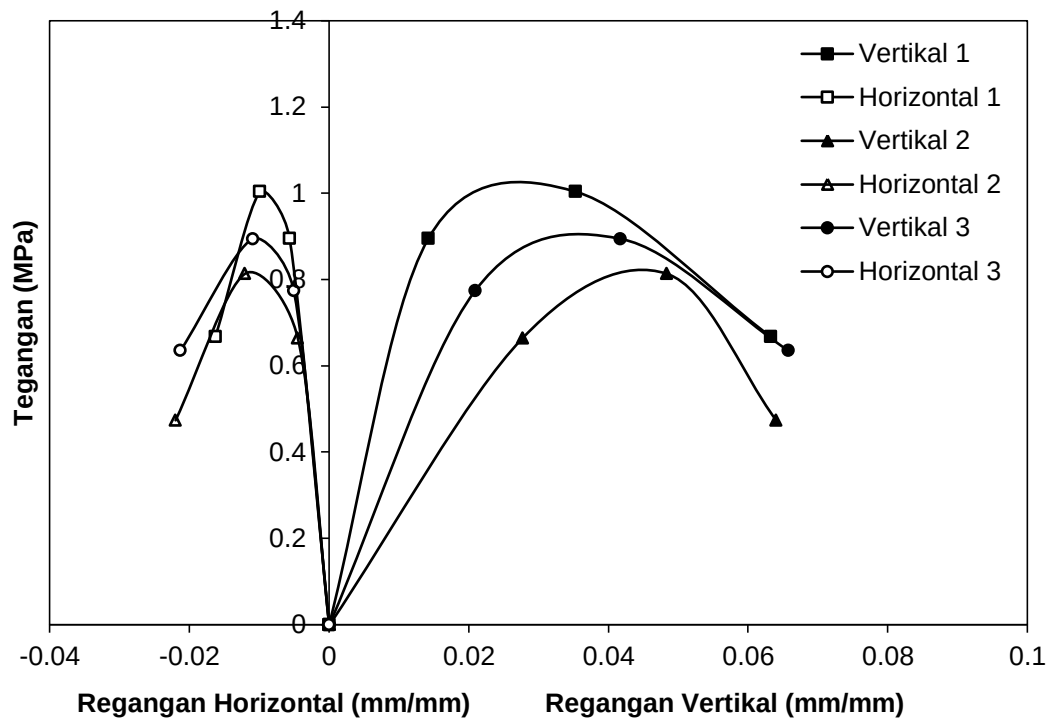


Gambar 19 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji tanpa penambahan limbah plastik. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 0,58 – 0,63 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,02 – 0,04 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,010 - 0,011 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung yang hampir sama. Benda uji yang digunakan merupakan benda uji Marshall yang dipadatkan sebanyak 2×50 sehingga benda uji tersebut memiliki ukuran diameter dan tinggi yang sangat berpengaruh pada nilai kuat tarik tidak langsung.



Gambar 19. Hubungan σ dan ϵ benda uji tanpa limbah plastik



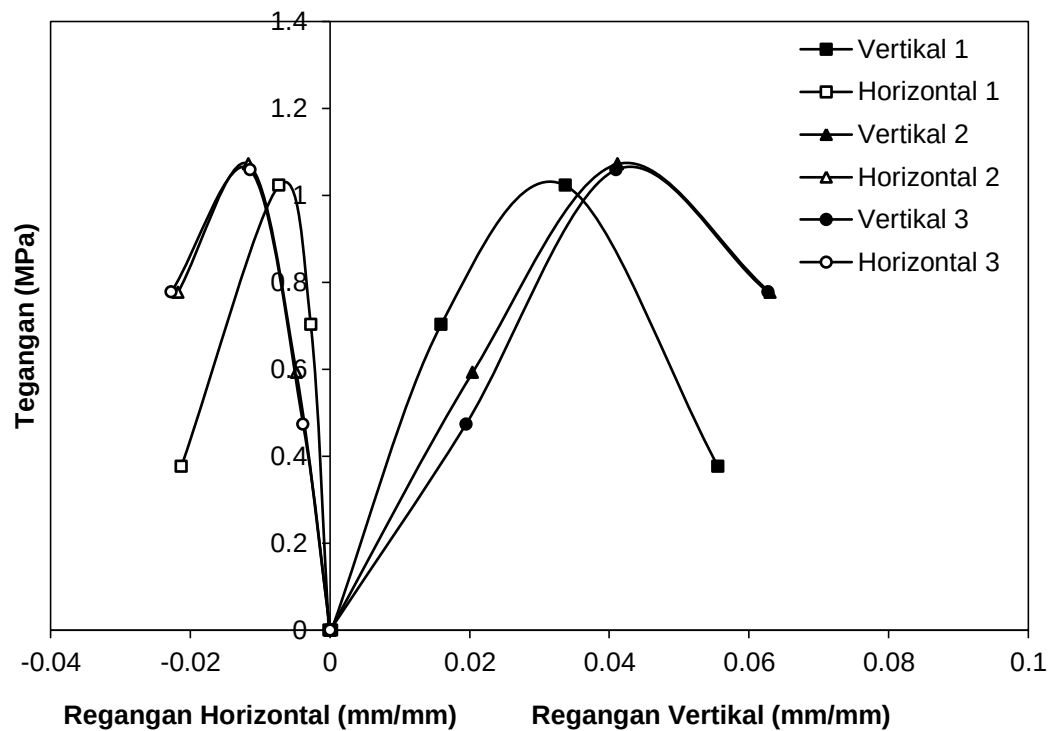


Gambar 20. Hubungan σ dan ϵ benda uji dengan limbah plastik 0,5%

Gambar 20 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji dengan penambahan limbah plastik sebesar 0,5%. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 0,81 – 1,00 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,03 – 0,04 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,009 - 0,010 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut

menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung hampir sama.

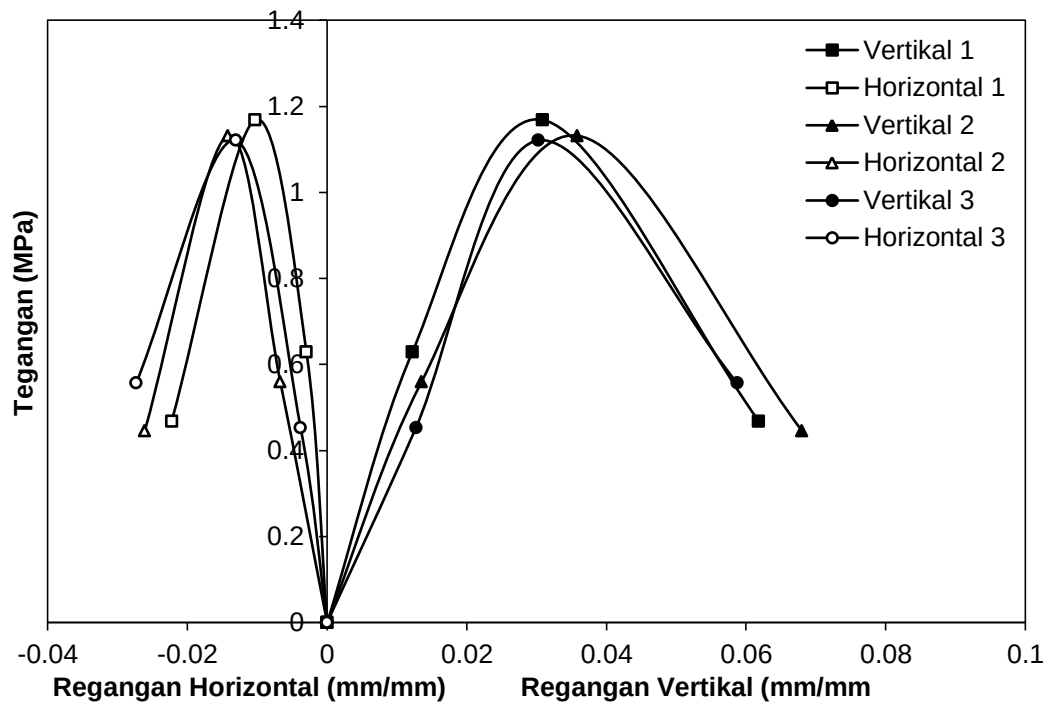




Gambar 21. Hubungan σ dan ϵ benda uji dengan limbah plastik 1,0%

Gambar 21 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji dengan penambahan limbah plastik sebesar 1,0%. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 1,02 – 1,07 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,03 – 0,04 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,007 - 0,010 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut

menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung hampir sama.

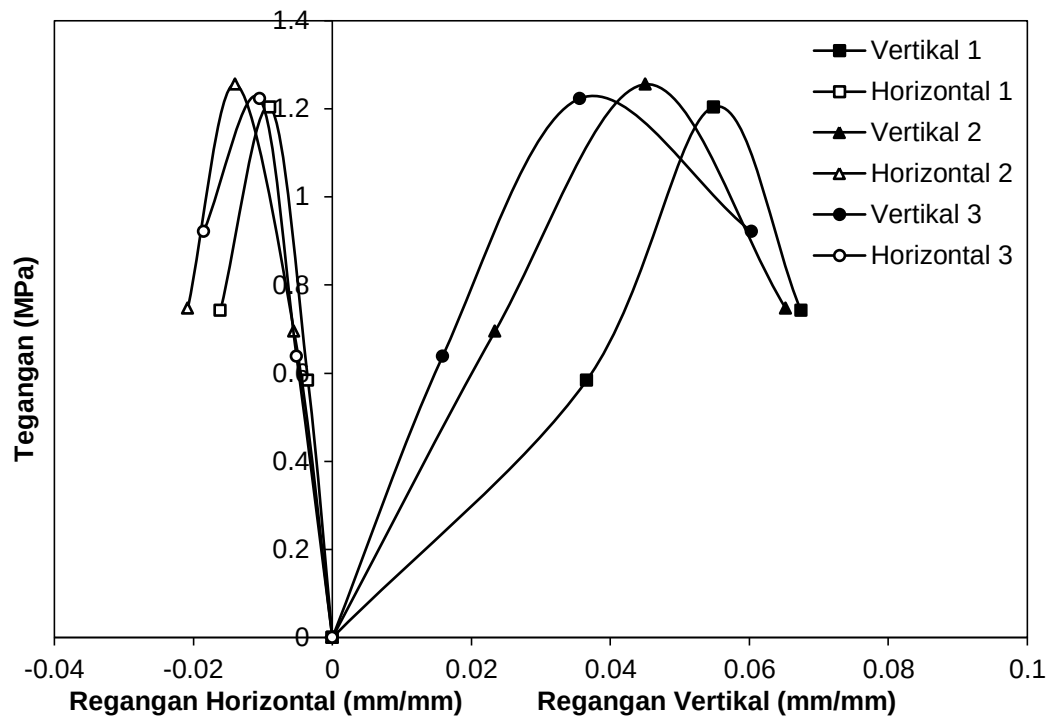


Gambar 22. Hubungan σ dan ϵ benda uji dengan limbah plastik 1,5%

Gambar 22 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji dengan penambahan limbah plastik sebesar 1,5%. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 1,12 – 1,16 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,02 – 0,03 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,009 - 0,010 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut

menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung hampir sama.

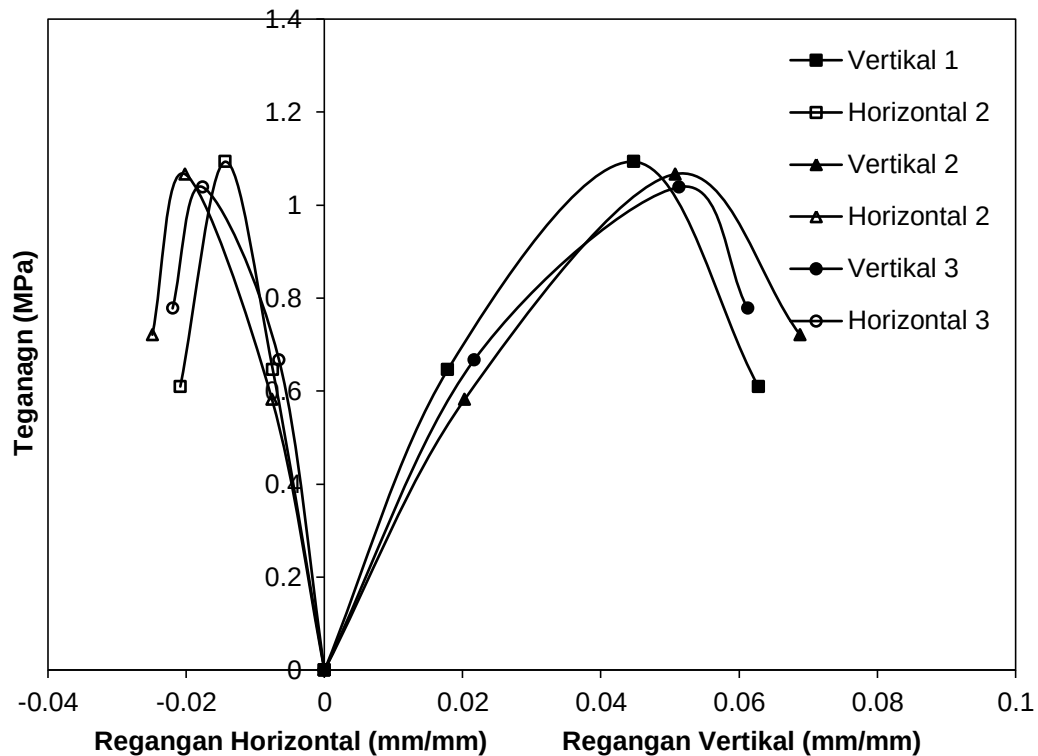




Gambar 23. Hubungan σ dan ϵ benda uji dengan limbah plastik 2,0%

Gambar 23 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji dengan penambahan limbah plastik sebesar 2,0%. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 1,20 – 1,25 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,035 – 0,050 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,008 - 0,010 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda uji 1, benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut

menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung hampir sama.



Gambar 24. Hubungan σ dan ϵ benda uji dengan limbah plastik 2,5%

Gambar 24 memperlihatkan hubungan tegangan dan regangan pada benda uji dengan penambahan limbah plastik sebesar 2,5%. Terlihat bahwa hubungan tegangan dan regangan tersebut membentuk garis lurus hingga sebesar 50% dari nilai kuat tarik tidak langsung puncak, yang menunjukkan daerah elastis. Dari hasil pengujian maka diperoleh tegangan puncak berkisar 1,03 – 1,09 MPa serta memiliki regangan vertikal puncak 0,04 – 0,05 mm/mm dan regangan horizontal puncak 0,01 - 0,02 mm/mm. Grafik hubungan nilai tegangan dan regangan pada benda

benda uji 2 dan benda uji 3 hampir berimpit, hal tersebut menunjukkan bahwa benda uji diperoleh kekuatan tarik tidak langsung hampir sama.

**G. Kuat Tarik Tidak Langsung Campuran AC-WC dengan
Penambahan Limbah Plastik PET (Polyethylene Therephtalate)**

Berdasarkan hasil hubungan tegangan dan regangan akibat beban tarik campuran AC-WC dengan limbah plastik PET terlihat nilai kuat tarik puncak dan regangan vertikal maupun horizontal pada saat nilai kuat tarik puncak yang diperlihatkan pada Tabel 23.

Tabel 23. Rekapitulasi nilai kuat tarik, regangan vertikal dan horizontal

No.	Kadar limbah plastik (%)	Kuat tekan puncak (MPa)	Regangan vertikal (mm/mm)	Regangan horizontal (mm/mm)
1	0,0	0,58	0,045	0,010
2		0,64	0,041	0,010
3		0,63	0,043	0,010
	Rata-rata	0,62	0,043	0,010
1	0,5	1,00	0,035	0,009
2		0,81	0,048	0,010
3		0,89	0,041	0,010
	Rata-rata	0,90	0,041	0,009
1	1,0	1,02	0,033	0,007
2		1,07	0,041	0,010
3		1,06	0,040	0,010
	Rata-rata	1,05	0,038	0,009
1	1,5	1,16	0,037	0,010
2		1,13	0,035	0,010
		1,12	0,037	0,010
	Rata-rata	1,14	0,036	0,010



Lanjutan Tabel 23.

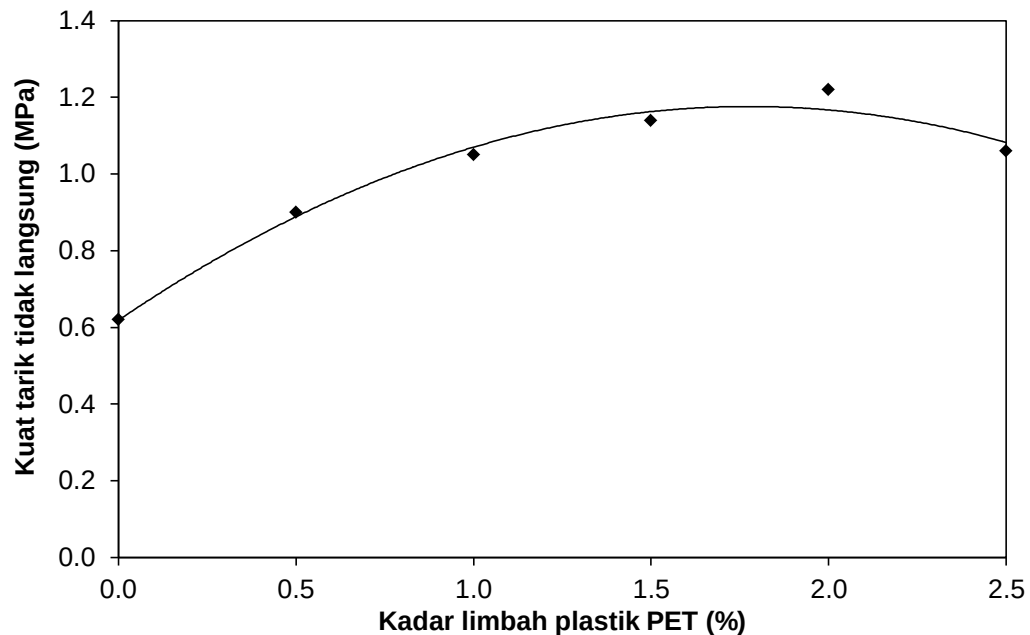
No.	Kadar limbah plastik (%)	Kuat tekan puncak (MPa)	Regangan vertikal (mm/mm)	Regangan horizontal (mm/mm)
1	2,0	1,20	0,034	0,008
2		1,25	0,035	0,010
3		1,22	0,035	0,010
Rata-rata		1,22	0,035	0,009
1	2,5	1,09	0,044	0,010
2		1,06	0,050	0,020
3		1,03	0,051	0,010
Rata-rata		1,06	0,048	0,013

Terlihat bahwa nilai kuat tarik tidak langsung semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik PET yang digunakan hingga pada kadar 2,0% dan mengalami penurunan pada kadar 2,5%. Nilai kuat tarik tidak langsung yang dihasilkan pada benda uji tanpa limbah plastik adalah 0,62 MPa sedangkan pada benda uji dengan menggunakan limbah plastik 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% adalah sebesar 0,90 MPa, 1,05 MPa, 1,14 MPa, 1,22 MPa dan 1,06 MPa. Gambar 25 memperlihatkan hubungan antara kadar limbah plastik dengan nilai kuat tarik tidak langsung puncak. Dari hubungan tersebut diperoleh persamaan regresi linear dengan yang dapat didekati dengan persamaan 6.

$$Y = -0,1771 \cdot X^2 + 0,6286 \cdot X + 0,6186 \quad (6)$$

Y = nilai kuat tarik tidak langsung (MPa) dan X = kadar limbah (%)





Gambar 25. Hubungan kadar limbah plastik PET dengan nilai kuat tarik tidak langsung

Berdasarkan Gambar 25 terlihat bahwa peningkatan nilai kuat tarik tidak langsung pada kadar limbah plastik 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% terhadap benda uji tanpa menggunakan limbah plastik PET adalah masing-masing sebesar 45,16%, 69,35%, 83,87%, 96,77% dan 70,96%. Sedangkan penurunan nilai kuat tarik tidak langsung pada kadar limbah plastik 2,5% terhadap kadar limbah plastik 2,0% adalah sebesar 13,11%.

H. Poisson Rasio, Elastisitas dan Toughness Index Akibat Beban

Tarik Campuran AC-WC Transformasi Limbah Plastik PET

(Polyethylene Therephtalate)



arakteristik dari hubungan tegangan dan regangan akibat beban
ng penting dari campuran AC-WC dengan menggunakan limbah

plastik PET adalah poisson rasio, modulus elastisitas dan toughness index. Tabel 24 memperlihatkan nilai poisson rasio, modulus elastisitas dan toughness index campuran AC-WC yang menggunakan limbah plastik PET.

Parameter penting yang dapat digunakan dalam analisis respon pada sistem perkerasan jalan adalah poisson rasio. Poisson rasio adalah merupakan parameter utama dalam analisis *elastic* campuran aspal dan juga digunakan dalam analisis *viscoelastic* dan *elasto-visco-plastic* (Taherkhani & Afroozi, 2016). Kekakuan campuran aspal sangat erat hubungannya dengan nilai stabilitas dan flow. Campuran aspal khususnya AC-WC memiliki tegangan tarik yang rendah dengan nilai regangan yang besar hal ini menjadikan campuran lebih kaku apalagi pada benda uji yang menggunakan limbah plastik yang besar. Nilai poisson rasio semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan hingga pada kadar 2,0% dan mengalami penurunan pada kadar 2,5%. Terlihat nilai poisson rasio pada benda uji tanpa menggunakan limbah plastik adalah sebesar 0,23. Sedangkan pada benda uji yang menggunakan limbah plastik 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% adalah masing-masing sebesar 0,24, 0,25, 0,27, 0,29 dan 0,28. Peningkatan nilai poisson rasio adalah masing-masing sebesar 4,34%, 8,70%, 17,39%, 26,08% dan 21,74% terhadap benda uji yang tidak

gunakan limbah plastik sebagai bahan tambah. Penurunan nilai poisson rasio dari kadar limbah plastik 2,0% ke 2,5% adalah 3,45%.



Tabel 24. Nilai poisson rasio, modulus elastisitas dan toughness index campuran AC-WC transformasi limbah plastik

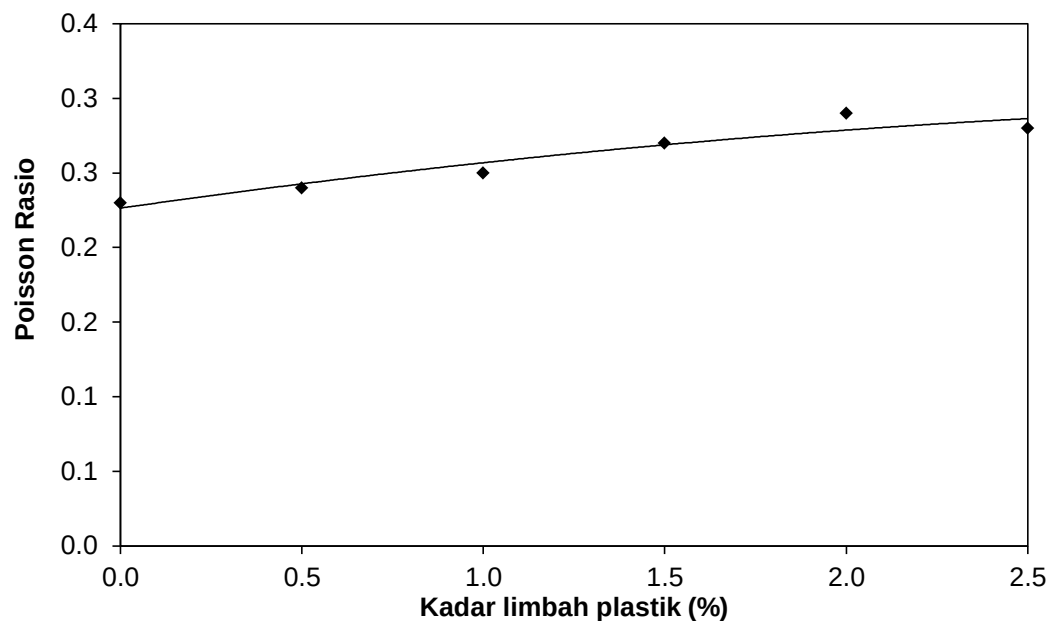
No.	Kadar limbah plastik (%)	εV (mm/mm)	εH (mm/mm)	σ50% (MPa)	εV50% (mm/mm)	εH50% (mm/mm)	Poisson rasio	Elastisitas 50% (MPa)	TI (J/m³)
1	0,0	0,045	0,010	0,29	0,0225	0,0050	0,22	12,89	1,23
2		0,041	0,010	0,32	0,0205	0,0050	0,24	15,61	1,37
3		0,043	0,010	0,31	0,0215	0,0050	0,23	14,42	1,27
Rata-rata		0,043	0,010	0,31	0,0215	0,0050	0,23	14,31	1,29
1	0,5	0,035	0,009	0,50	0,0175	0,0045	0,26	28,57	1,26
2		0,048	0,010	0,40	0,0240	0,0050	0,21	16,67	1,43
3		0,041	0,010	0,44	0,0205	0,0050	0,24	21,46	1,20
Rata-rata		0,041	0,009	0,45	0,0205	0,0045	0,24	22,23	1,30
1	1,0	0,033	0,007	0,51	0,0165	0,0035	0,21	30,91	1,23
2		0,041	0,010	0,53	0,0205	0,0050	0,24	25,85	1,34
3		0,040	0,010	0,53	0,0200	0,0050	0,25	26,50	1,40
Rata-rata		0,038	0,009	0,52	0,0190	0,0045	0,25	27,75	1,32



Lanjutan Tabel 24.

No.	Kadar limbah plastik (%)	ϵ_V (mm/mm)	ϵ_H (mm/mm)	$\sigma_{50\%}$ (MPa)	$\epsilon_{V50\%}$ (mm/mm)	$\epsilon_{H50\%}$ (mm/mm)	Poisson rasio	Elastisitas (MPa)	TI (J/m ³)
1	1,5	0,037	0,010	0,58	0,0185	0,0050	0,27	31,35	1,11
2		0,035	0,010	0,56	0,0175	0,0050	0,29	32,00	1,57
3		0,037	0,010	0,56	0,0185	0,0050	0,27	30,27	1,32
	Rata-rata	0,036	0,010	0,57	0,0180	0,0050	0,27	31,21	1,33
1	2,0	0,034	0,010	0,60	0,0170	0,0040	0,29	35,30	1,60
2		0,035	0,010	0,62	0,0175	0,0050	0,29	35,43	1,42
3		0,035	0,010	0,61	0,0175	0,0050	0,29	34,86	1,21
	Rata-rata	0,035	0,010	0,61	0,0175	0,0045	0,29	35,20	1,41
1	2,5	0,044	0,010	0,54	0,0220	0,0050	0,23	24,54	0,94
2		0,050	0,020	0,53	0,0250	0,0100	0,40	21,20	1,34
3		0,051	0,010	0,51	0,0255	0,0050	0,20	20,00	1,53
	Rata-rata	0,048	0,013	0,53	0,0240	0,0065	0,28	21,91	1,28





Gambar 26. Hubungan kadar limbah plastik dengan poisson rasio

Gambar 26 memperlihatkan hubungan antara kadar limbah plastik dengan nilai poisson rasio. Dari hubungan tersebut diperoleh persamaan regresi linear dengan yang dapat didekati dengan persamaan 7.

$$Y = -0,0043. X^2 + 0,0347. X + 0,62264 \quad (7)$$

Dimana Y = nilai poisson rasio dan X = kadar limbah plastik (%)

Seperti yang telah dijelaskan sebelumnya bahwa tegangan tarik yang tinggi salah satunya disebabkan oleh penetrasi bitumen Asbuton yang rendah. Hal ini juga dapat dijelaskan dengan memperhatikan nilai VIM (porositas) campuran aspal yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah lebih besar dibandingkan dengan campuran aspal

tidak menggunakan limbah plastik. Nilai VIM yang besar mengindikasikan bahwa campuran lebih padat dan campurannya lebih

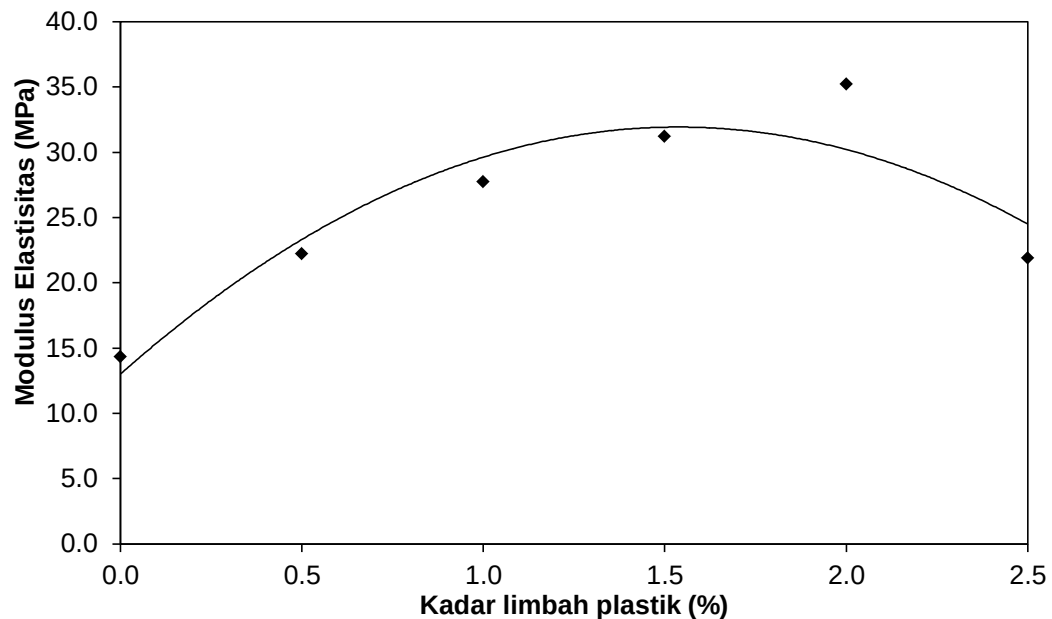
kaku yang ditunjukkan dengan nilai MQ pada karakteristik Marshall. Nilai MQ (*Marshall Quetont*) tinggi mengindikasikan bahwa campuran aspal memiliki kekakuan yang lebih tinggi dan bersifat getas dan akhirnya menyebabkan benda uji cepat retak. Selain itu, campuran yang menggunakan limbah plastik menyebabkan terjadinya pengerasan pada aspal dan selanjutnya akan meningkatkan kekakuan campuran beraspal sehingga akan mempengaruhi kinerja campuran beraspal tersebut (Yamin & Aschuri, 2008; Islam *et al*, 2015).

Modulus elastisitas atau modulus young adalah suatu ukuran bagaimana suatu materi atau struktur akan rusak dan berubah bentuk jika di tempatkan dibawah regangan, sedangkan tegangan tarik adalah merupakan suatu kemampuan material dalam menerima gaya tarik yang diakibatkan oleh pembebanan yang terjadi. Pada penelitian ini nilai modulus elastisitas yang dicari adalah saat tegangan mencapai 50% dari tegangan puncak dan regangan yang terjadi pada saat 50% dari tegangan puncak.

Modulus elastisitas semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik hingga pada kadar 2,0% dan mengalami penurunan pada kadar 2,5%. Nilai modulus elastisitas pada benda uji tanpa menggunakan limbah plastik adalah sebesar 14,31 MPa sedangkan pada benda uji yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah

k 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% adalah masing-masing 22,23 MPa, 27,75 MPa, 31,21 MPa, 35,20 MPa dan 21,91 MPa.





Gambar 27. Hubungan kadar limbah plastik dengan modulus elastisitas

Gambar 27 memperlihatkan hubungan antara kadar limbah plastik dengan nilai poisson rasio. Dari hubungan tersebut diperoleh persamaan regresi linear dengan yang dapat didekati dengan persamaan 8.

$$Y = -8,0121. X^2 + 24,623. X + 13,018 \quad (8)$$

Dimana Y = nilai modulus elastisitas (MPa) dan X = kadar limbah plastik (%)

Selain itu, penelitian yang telah dilakukan oleh Arafat Yero S, dan Hainin M, R., 2012 bahwa limbah plastik PET mengakibatkan pengerasan dan penggumpalan dari aspal dengan peningkatan kekakuan, dimana campuran aspal dengan limbah plastik memiliki dampak pada perubahan

mo-viskoelastik (Rak K, Y., & Lee H, J, 2003). Perubahan sifat viskoelastik ditandai dengan meningkatnya viskositas, penurunan

penetrasi pengikat dan meningkatkan titik lembek aspal. Hasil dari penelitian ini juga menunjukkan bahwa besarnya nilai kinerja campuran beraspal tergantung pada sumber pengikat, dan waktu pencampuran, seperti dengan pencampuran limbah plastik dengan agregat, pengikat kekerasan dan viskositas meningkat, sehingga mengurangi penetrasi dan meningkatkan titik lembek (Arafat Yero S, & Hainin M, R., 2012).

Toughness adalah kemampuan material untuk menyerap energi selama deformasi plastis terjadi. Dalam pengujian kuat tarik statis, energi ini diukur dengan luas area di bawah kurva tegangan-regangan, hingga benda uji mengalami fraktur. Parameter spesifiknya disebut modulus *Toughness*, yaitu jumlah maksimum energi suatu unit volume material yang bisa menyerap energi sebelum fraktur.

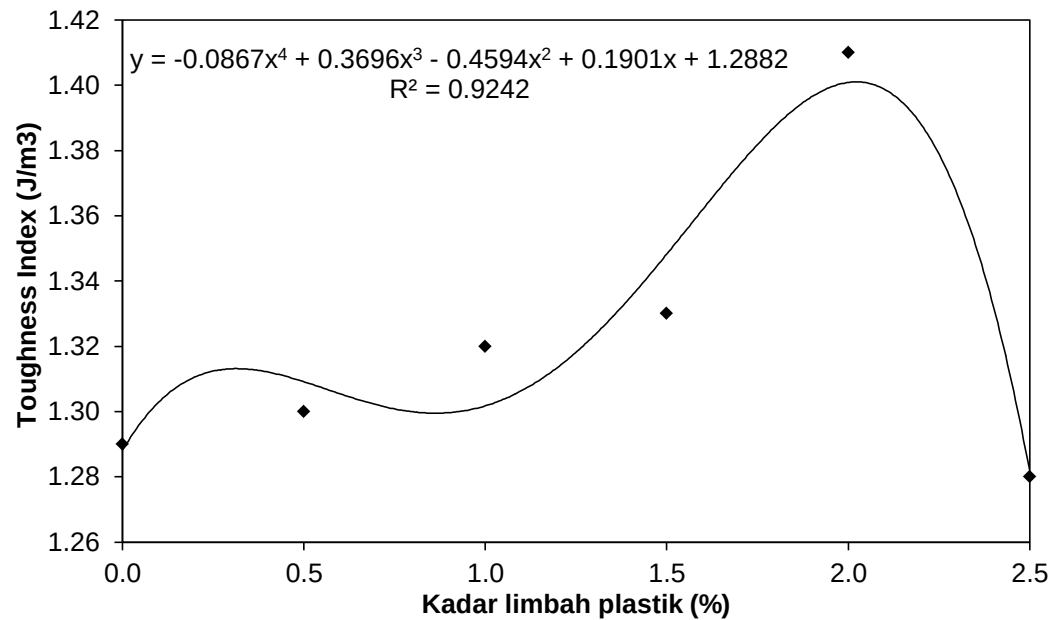
Nilai toughness index akibat beban tarik semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik hingga pada kadar 2,0% dan mengalami penurunan pada kadar 2,5%. Nilai toughness index pada benda uji tanpa menggunakan limbah plastik adalah sebesar $1,29 \text{ J/m}^3$ sedangkan pada benda uji yang menggunakan limbah plastik sebagai bahan tambah sebanyak 0,5%, 1,0%, 1,5%, 2,0% dan 2,5% adalah masing-masing sebesar $1,30 \text{ J/m}^3$, $1,32 \text{ J/m}^3$, $1,33 \text{ J/m}^3$, $1,41 \text{ J/m}^3$ dan $1,28 \text{ J/m}^3$. Gambar 28 memperlihatkan hubungan antara kadar limbah plastik dengan nilai toughness index. Dari hubungan tersebut diperoleh

dan regresi linear dengan yang dapat didekati dengan persamaan



$$Y = -0,0867 \cdot X^4 + 0,3696 \cdot X^3 - 0,4594 \cdot X^2 + 0,1901 \cdot X + 1,2882 \quad (9)$$

Dimana Y = toughness index (J/m^3) dan X = kadar limbah plastik (%)



Gambar 28. Hubungan kadar limbah plastik dengan toughness index

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Kinerja campuran AC-WC berupa hasil pengujian karakteristik kuat tarik tidak langsung semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar limbah plastik yang digunakan hingga pada kadar 2,0% dan mengalami penurunan pada kadar 2,5%.
2. Hubungan komposisi bitumen terhadap kinerja campuran AC-WC, terjadi peningkatan kinerja campuran AC-WC hingga pada kadar limbah plastik 2,0% yang menunjukkan bahwa limbah plastik PET dapat menyatu sebagai bahan polimer dan bitumen petroleum serta bitumen ekstraksi Asbuton sehingga dapat menambah kekuatan ikatan bahan-bahan pengikat.

B. Saran

Hasil penelitian ini dapat mendukung pembangunan infrastruktur nasional berbasis penggunaan material alam seperti aspal Buton dan material-material buangan khususnya limbah plastik jenis PET, yang diharapkan mampu meningkatkan penerapan pembangunan berwawasan lingkungan.



DAFTAR PUSTAKA

AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.

Abu N. M. F., Hu X., Lopez Y., Walubita L. F., 1997. Using the fracture energy concept characterize the HMA cracking resistance potential under monotonic crack testing. International journal of pavement research and technology, Vol. 7 No. 1, hal. 40 – 48.

Affandi F. (2010). Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi Pada Campuran Stone Mastic Asphalt. Bandung : Puslitbang Jalan dan Jembatan.

Ahmedzade, P., Yilmaz, M., 2008. Effect of polyester resin additive on the propertis of asphalt binders and mixtures. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 481 -486.

Ahmedzade *et al.* 2007. Effect of polyester resin additive on the propertis of asphalt binders and mixtures. ScienceDirect, Construction and Building Materials, hal. 481- 486

ASTM D 1559-89. Standard test method for resistance to plastic flow of bituminous mixtures using Marshall Apparatus.

ASTM D6931 - 12, 2012. Standart test method for indirect tensile (IDT) strength of bituminous mixtures.

A., AbWahab Y., Cristi M.E., & Sosnovske D. (1994). Selection of laboratory aging procedures for asphalt-aggregate mixtures.



Strategic Highway Research Program (SHRP)-A-383. Oregon State University Corvallis, OR 97331.

Birgisson, B., A. Montepara, E. Romeo, R., Roncella, J. A. L., Napier, G., Tebaldi., 2008. Determination and prediction of crack patterns in hot mix asphalt (HMA) mixtures. Science Direct, Construction and Building Materials, hal. 664 -673

Chen J. S. *et al.* 2001. Evaluation of Geosynthetic Applied to Flexible Pavements. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation studies, vol.4, No.1,2001.

Chen, Bao-Wen, Kiyoshi Takami, Nobuki Ohmori, and Noboru Harata. (2013) Households Car and Motorcycle Ownership and Transaction Behavior through a Life-Course Approach-a Case in Taipei City. Journal of Eastern Asia Society for Transportation Studies 10.

Croney, D . 1998. The design and performance of road pavements : 3rd edition. New York, NY 10011.

Cullity B. D. 1956. Elements of X-Ray Difrraction. Second Edition : Addison-Wesley Publishing Company Inc.

Departemen Pekerjaan Umum (2006), “Campuran Beraspal Dingin dengan Bahan Peremaja Aspal Emulsi ”, Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

Departemen Pekerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2000.

ku 1. Pemanfaatan Asbuton. Umum No : 001-01/BM/2006.

kerjaan Umum, Direktorat Jenderal Bina Marga, 2006.



Departemen Pekerjaan Umum. 2006. Buku 1 Pemanfaatan Asbuton Umum. No : 001-01/BM/2006. Direktorat Jenderal Bina Marga.

Elvik R, Greibe P, 2005, Road Safety effects of porous asphalt : a systematic review of evaluation studies, Elsevier.

Fultz B. 2013. Transmission Electron Microscopy and Diffractometry of Materials. Springer. ISBN 978-3-642-29761-8.

Gul. W. A., Guler M., 2014. Rutting susceptibility of asphalt concrete with recycled concrete aggregate using revised Marshall procedure Construction and building materials, 55 hal. 341 – 349

Huang B. *et al.* 2010. Laboratory evaluation of moisture susceptibility of hot-mix asphalt containing cementitious fillers j. Mater. Civ. Eng. 22:667-673.

Huang Y. H. 1993. Pavement analysis and design. Englewood Cliffs, NJ 07632.

Katman H. Y. *et al.* 2012. Tensile strength of reclaimed asphalt pavement. International journal of civil & environmental engineering, Vol. 12 No. 3, hal. 14 - 19

Khalid H. A. 2002. *A New Approach for The Accelerated Ageing of Porous Asphalt Mixtures*. Proceedings of The Institution of Civil Engineers Liverpool.

Kliwer, J E, Bell C A, Sosnovske D A, 1995, Investigation Of Relationship between Field Performance And Laboratory Aging Properties Of



Asphalt Mixtures. ASTM STP 1265, American Society For Testing and Materials, Philadelphia.

Kurniadji, (2006), "Asbuton (Aspal Buton) sebagai Bahan Perkerasan Jalan", Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Bandung.

Mahyuddin A., Tjaronge M. W., Ali N., & Ramli M. I. (2017). Experimental Analysis on Stability and Indirect Tensile Strength in Asphalt Emulsion Mixture Containing Buton Granular Asphalt. International Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 12, Number 12 (2017).

Maria Isabel Ribeiro "Gaussian Probability Density Function: Properties and Error Characterzation", Book, Institute for System and Robotics Instituto Superior Tcnico 1049-001 Lisboa PORTUGAL,2004.

Nyoman Suaryana. 2008. Penelitian Pemanfaatan Asbuton Butir di Kolaka Sulawesi Tenggara. Pusat Litbang Jalan dan Jembatan.

RSNI T-01-2005 Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan.

Shaowen Du, (2013). Interaction mechanism of cement and asphalt emulsion in asphalt emulsion mixtures. China, Department of Road Engineering, Chang'an University, Xi'an, Shaanxi.

Shu X., Huang B., Vukosavljevic D., 2008. Laboratory evaluation of fatigue characteristics of recycled asphalt mixture. Science Direct, Construction and Building Materials, 22, hal. 1323 -1330.

1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.



SNI 03-1971-1991 Pengujian Kadar Air Agregat Halus.

SNI 03-2417-1991 Pengujian Keausan Agregat dengan Mesin Abrasi Los Angeles.

SNI 03-2439-1991 Pengujian Kelekatan Agregat terhadap Aspal.

SNI 03-2816-1992 Pengujian Kadar Organik Pasir.

SNI 03-4137-1996. Metode pengujian tebal dan panjang rata-rata agregat

SNI 03-4142-1996. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan no. 200 (0,075 mm).

SNI 03-4428-1997 Metode Pengujian Agregat Halus atau Pasir yang Mengandung Bahan Plastik dengan Cara Setara Pasir.

SNI 03-4804-1998 Pengujian Rongga Udara dalam Agregat.

SNI 03-6441-2000 Pengujian Viskositas Aspal Minyak dengan Alat Brookfield Termosel.

SNI 06-2432-1991 Pengujian Daktilitas Aspal.

SNI 06-2433-1991 Pengujian Titik Nyala Aspal.

SNI 06-2433-2011. Pengujian Titik Nyala Dan Titik Bakar Aspal

SNI 06-2434-1991 Pengujian Titik Lembek Aspal.

SNI 06-2438-1991 Pengujian Kelarutan Aspal dalam C_2HCl_3 .

SNI 06-2440-1991 Pengujian Kehilangan Berat Aspal.

SNI 06-2441-1991 Pengujian Berat Jenis Aspal.

SNI 06-2456-1991 Pengujian Penetrasi Aspal.

SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.



- SNI 15-7064-2004. Semen Portland komposit
- SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.
- SNI 1970-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.
- SNI 2417-2008. Cara Uji keausan agregat dengan mesin abrasi Los Angeles.
- SNI 2432:2011. Cara uji daktalitas Aspal.
- SNI 2432:2011. Cara uji penetrasi aspal
- SNI 2434:2011. Cara uji titik lembek aspal dengan alat cincin dan bola (ring dan ball).
- SNI 2439:2011. Cara uji penyelimutan dan pengelupasan pada campuran agregat aspal.
- SNI 2441:2011. Cara uji berat jenis aspal keras.
- SNI 4798:2011, Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Spesifikasi Umum Bina marga Divisi 6. (2010). Perkerasan Aspal. Direktorat Jendral Bina marga.
- Suroso Tj. W, 2008, Hubungan Antara Sifat Kimia Aspal dan Sifat Rheologi Aspal. PUSLITBANG PU.
- Suryana A., Inventory on Solid Bitumen Sediment Using 'Outcrop Drilling' in Southern Buton Region, Buton Regency, Province Southeast Sulawesi, Colloquium on Result Activities of Mineral Resources Inventory. - DIM, the TA. 2003, Directorate Mineral (Bandung, in Indonesian) in Tjaronge. M.W and Rita Irmawaty. 2013. Influence of



Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder, Proceedings of 3rd International conference and Sustainable Construction Material and Technologies-SCTM, Kyoto, Japan, 2003, M4-1 e153.

Tayfur S., Ozen H., Aksoy A. 2007. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures, containing polymer modifiers. *Sciencedirect* hal. 328– 337.

Tayfur S., Ozen H., Aksoy A., 2005. Investigation of rutting performance of asphalt mixtures containing polymer modifiers. *ScienceDirect, Construction and Building Materials*, hal. 328 -337.

The Shell Bitumen Handbook. (2015). University of Nottingham.

Tjaronge, M.W. and Rita Irmawaty. 2012. Influence of Water Immersion on Physical Properties of Porous Asphalt Containing Liquid Asbuton as Bituminous Asphalt Binder.

VD Mote, Y Purushotham, BN Dole, “Williamson-Hall analysis in estimation of lattice strain in nanometer-sized ZnO particles” in *Journal of Theoretical and Applied Physics* 2012,6:6

Walubita, Lubinda F., Ven, Martin F C van de, 2000. Stresses and Strains in Asphalt-Surfacing Pavements.

Widodo S, Harnaeni SR, Wijayanti E, 2012, Pengaruh Penuaan Aspal terhadap Karakteristik Asphalt Concrete Wearing Course, UMS.



- Wong W. G., Han H. F., He G. P., Qiu X., Wang K. C. P., Lu W., 2004. Effect of water on permanent deformation potential of asphalt mixture. *Material and structures*, vol. 37, hal. 532 - 538.
- YaminA Y, Aschuri I, 2008, Pengaruh Penambahan Asbuton pada Penuaan Campuran Aspal, UNDIP.
- Yan J., Ni F., Tao Z. & Jia J. 2009. The Development of Asphalt Emulsion Cold In-Place Recycling Specifications. *Geo Hunan International Conference, Asphalt Material Characterization, Accelerated Testing, and Highway Management*. ASCE.
- Zak, W.H. Abd Majid, M.E Abrishami, Ramin Yousefi. X-Ray Analysis of A. Khorsand ZnO Nanoparticles by Williamson Hall and Size Strain Plot Methods (ScienceDirect) *Solid State Sciences* 13 (2011) 251-256 (2013).
- Zamhari K. A. dkk. 2014. Comparing of Performance of Granular and Extracted Binder From Buton Rock Asphalt. *International Journal of Pavement Research and Technology*. Vol. 7 No.1 Jan 2014.



LAMPIRAN

1. Hasil Pengujian Karakteristik Material
2. Rekapitulasi Pengujian Kuat Tarik (*Tensile Strength*)
3. Dokumentasi Penelitian





PENURUNAN BERAT ASPAL

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2440-1991

No. Sampel	A	B	C	D	E	F	G
	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)	(gram)
1	9.20	84.00	74.80	83.86	74.66	0.14	0.19
2	9.10	86.00	76.90	85.84	76.74	0.16	0.21
Rata-rata							0.20

Keterangan:

A = Berat tinbox

B = Berat tinbox + aspal sebelum dioven

C = Berat aspal sebelum dioven
= B - A

D = Berat tinbox + aspal setelah dioven

E = Berat aspal setelah dioven
= D - A

F = Jumlah penurunan berat
= C - E

G = % penurunan berat aspal
= F/C x 100%

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





PENETRASI ASPAL SEBELUM KEHILANGAN BERAT

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2456-1991

Penetrasi Aspal	No. Sampel	
Penurunan 5 Detik	I	II
5	63.00	66.50
5	68.00	65.00
5	64.50	63.00
5	65.00	64.50
5	63.50	67.00
Rata-rata	64.80	65.20
	65.00	

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





PENETRASI ASPAL SETELAH KEHILANGAN BERAT

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2456-1991

Penetrasi Aspal	No. Sampel	
Penurunan 5 Detik	I	II
5	84.00	80.50
5	81.00	85.00
5	81.50	86.00
5	85.50	83.00
5	80.00	83.50
Rata-rata	82.40	83.60
	83.00	

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





DAKTALITAS

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Berat sampel : 100 gr
Metode : SNI 06-2432-1991

Pengamatan	Daktalitas pada 25 ⁰ C, 5 cm per menit
Pengamatan I	110.00
Pengamatan II	109.00
Pengamatan III	111.00
Rata-rata	110.00

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





BERAT JENIS ASPAL

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2441-1991

No. Sampel	A (gr)	B (gr)	C (gr)	D (gr)	Berat Jenis
1	53.00	110.00	98.00	111.00	1.02
2	53.00	113.00	99.00	113.00	1.00
Rata-rata					1.01

Rumus yang digunakan:

$$BJ = (C - A) / ((B - A) - (D - C))$$

dimana:

- A = Berat piknometer
- B = Berat piknometer + air suling
- C = Berat piknometer + aspal
- D = Berat piknometer + aspal + air suling

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





TITIK NYALA ASPAL

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2433-1991

No.	Suhu (°C)		Waktu (Detik)	
	I	II	I	II
1	200	200	00 ° 00 ' 00 "	00 ° 00 ' 00 "
2	210	210	00 ° 00 ' 45 "	00 ° 00 ' 37 "
3	220	220	00 ° 01 ' 04 "	00 ° 00 ' 56 "
4	230	230	00 ° 01 ' 45 "	00 ° 01 ' 20 "
5	240	240	00 ° 02 ' 21 "	00 ° 02 ' 05 "
6	250	250	00 ° 02 ' 59 "	00 ° 02 ' 41 "
7	260	260	00 ° 03 ' 29 "	00 ° 03 ' 10 "
8	270	270	00 ° 04 ' 17 "	00 ° 04 ' 20 "
9	280	280	00 ° 05 ' 07 "	00 ° 05 ' 40 "
10	290	290	00 ° 06 ' 15 "	00 ° 06 ' 23 "
11	300	300	00 ° 07 ' 18 "	00 ° 07 ' 18 "
12	310*	310*	00 ° 07 ' 45 "	00 ° 07 ' 46 "
13	320	320	00 ° 08 ' 15 "	00 ° 08 ' 23 "

* Titik nyala

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





TITIK LEMBEK ASPAL

Sampel : Aspal Minyak Pen. 60/70
Metode : SNI 06-2434-1991

No.	Suhu (°C)		Waktu (Detik)	
	I	II	I	II
1	5	5	00 ° 00 ' 00 "	00 ° 00 ' 00 "
2	10	10	00 ° 02 ' 53 "	00 ° 02 ' 53 "
3	15	15	00 ° 09 ' 05 "	00 ° 09 ' 05 "
4	20	20	00 ° 11 ' 11 "	00 ° 11 ' 11 "
5	25	25	00 ° 13 ' 17 "	00 ° 13 ' 17 "
6	30	30	00 ° 16 ' 06 "	00 ° 16 ' 06 "
7	35	35	00 ° 17 ' 25 "	00 ° 17 ' 25 "
8	40	40	00 ° 18 ' 43 "	00 ° 18 ' 43 "
9	45	45	00 ° 21 ' 02 "	00 ° 21 ' 02 "
10	50	50	00 ° 22 ' 26 "	00 ° 22 ' 26 "
11	51*	53*	00 ° 22 ' 52 "	00 ° 23 ' 56 "
Titik lembek (°C)			51	53
Titik lembek rata-rata (°C)			52	

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT KASAR

Sampel : Agregat kasar (*chipping*)
Berat sampel : 2500 gram
Metode : SNI 03-1969-2008

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven (gr)	A	2430.00	2406.00	2418.00
Berat contoh kering permukaan (gr)	B	2483.50	2467.00	2475.25
Berat contoh dalam air (gr)	C	1536.00	1519.00	1527.50
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B - C}$	2.56	2.54	2.55
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)	$\frac{B}{B - C}$	2.62	2.60	2.61
Berat jenis semu	$\frac{A}{A - C}$	2.72	2.71	2.72
Penyerapan air	$\frac{B - A}{A} \times 100\%$	2.20	2.54	2.37

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





BERAT JENIS DAN PENYERAPAN AGREGAT HALUS

Sampel : Agregat halus (pasir)
Berat sampel : 500 gram
Metode : SNI 03-1970-2008

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven (gr)	A	490.00	491.50	490.75
Berat botol+air sampai batas kalibrasi (gr)	B	754.00	759.00	756.50
Berat contoh+botol+air sampai batas kalibrasi (gr)	C	1064.0	1066.3	1065.15
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B+500-C}$	2.58	2.55	2.56
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)	$\frac{500}{B+500-C}$	2.63	2.59	2.61
Berat jenis semu	$\frac{A}{B+A-C}$	2.72	2.67	2.70
Penyerapan air	$\frac{500-A}{A} \times 100\%$	2.04	1.73	1.89

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tiaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





BERAT JENIS DAN PENYERAPAN FILLER

Sampel : Debu batu (filler)
Berat sampel : 500 gram
Metode : SNI 03-1970-2008

NO. CONTOH		I	II	Rata-rata
Berat contoh kering oven (gr)	A	489.40	488.20	488.80
Berat botol+air sampai batas kalibrasi (gr)	B	759.00	757.00	758.00
Berat contoh+botol+air sampai batas kalibrasi (gr)	C	1070.0	1063.0	1066.50
Berat jenis bulk (atas dasar kering oven)	$\frac{A}{B+500-C}$	2.59	2.52	2.55
Berat jenis bulk (atas dasar kering permukaan)	$\frac{500}{B+500-C}$	2.65	2.58	2.61
Berat jenis semu	$\frac{A}{B+A-C}$	2.74	2.68	2.71
Penyerapan air	$\frac{500-A}{A} \times 100\%$	2.17	2.42	2.29

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





KEAUSAN AGREGAT DENGAN MESIN LOS ANGELES

Sampel : Agregat kasar (*chipping*)
Metode : SNI 03-2417-2008

Gradasi Saringan		No. Sampel	
		I	
Lolos	Tertahan	A	B
		Berat Sebelum (gr)	Berat Sesudah (gr)
3/4"	1/2"	2500	3868
1/2"	3/8"	2500	
Jumlah Berat (gram)		5000	
Berat Tertahan Saringan No. 12 (gram)		3868	
Keausan $\frac{A - B}{A} \times 100\%$		$\frac{5000 - 3868}{5000} \times 100\% = 22.64\%$	
Rata - rata		22.64 %	

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





INDEKS KEPIPIHAN AGREGAT

Sampel : Agregat kasar (*chipping*)
Berat sampel : 1000 gram
Metode : SNI 03-4137-1996

No.	Gradasi Saringan		Ukuran Thickness Gauge		Berat Lolos Slot (Gram)	Berat Ter-tahan Slot (Gram)	Total Berat (Gram)
			Lebar (mm)	Panjang (mm)	A	B	C
I	3/4"	1/2"	6.67	38.2	57.4	442.6	500
II	1/2"	3/8"	4.8	25.4	24.7	475.3	500
Total					82.1	917.9	1000
Indeks Kepipihan = $\frac{\text{Total Berat A}}{\text{Total Berat C}} \times 100 \%$					$\frac{82.1}{1000} \times 100\% = 8.21\%$		

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tiaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





KADAR LUMPUR AGREGAT KASAR

Sampel : Agregat kasar (*chipping*)
Metode : SNI 03-4142-1996

A. Berat kering sebelum dicuci = 1000.00 gram
B. Berat kering setelah dicuci = 993.40 gram

$$\begin{aligned}\text{Kadar lumpur} &= \frac{A - B}{B} \times 100\% \\ &= \frac{1000.00 - 993.40}{1000.00} \times 100\% \\ &= 0.66\%\end{aligned}$$

Dari hasil percobaan diperoleh kadar lumpur agregat kasar (kerikil) adalah :
Dik. karakteristik pasir untuk beton harus mempunyai spesifikasi kadar lumpur Maks.1
sehingga dapat disimpulkan bahwa benda uji material memenuhi standar spesifikasi.

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tiaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





SAND EQUIVALENT

Sampel : Agregat halus (pasir)
Metode : SNI 03-4428-1997

No.	Uraian	No. Contoh	
		I	II
1	Tera tinggi tangkai penunjuk ke dalam gelas ukur (gelas dalam keadaan kosong).	10.2	10.2
2	Baca skala lumpur. (Pembacaan skala permukaan lumpur dilihat pada dinding gelas ukur).	3.5	3.9
3	Pembacaan skala beban pada gelas ukur (beban dimasukkan pada gelas keadaan kosong).	13.2	13.4
4	Pembacaan skala pasir. (Pembacaan 3 - Pembacaan 1)	3	3.2
5	Nilai Sand Equivalent $\frac{\text{Skala Pasir (4)}}{\text{Skala Lumpur (2)}} \times 100\%$	85.7	82.1
6	Rata-rata nilai Sand Equivalent (%)	83.9	

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





ANALISA SARINGAN AGREGAT KASAR

Sampel : Agregat kasar (*chipping*)

Berat sampel : 1500 gram

Metode : SNI 03-1968-1990

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0	0	0.00	100.00
1/2"	44.9	44.9	2.99	97.01
3/8"	749.3	794.2	52.95	47.05
4	705.8	1500	100.00	0.00
8	0	1500	100.00	0.00
16	0	1500	100.00	0.00
30	0	1500	100.00	0.00
50	0	1500	100.00	0.00
100	0	1500	100.00	0.00
200	0	1500	100.00	0.00
PAN	0	1500	100.00	0.00

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Sampel : Agregat halus (pasir)
Berat sampel : 500 gram
Metode : SNI 03-1968-1990

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0	0	0.00	100.00
1/2"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
4	0	0	0.00	100.00
8	200	200	20.00	80.00
16	0	200	20.00	80.00
30	0	200	20.00	80.00
50	0	200	20.00	80.00
100	0	200	20.00	80.00
200	661.2	861.2	86.12	13.88
PAN	138.8	1000	100.00	0.00

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002





ANALISA SARINGAN AGREGAT HALUS

Sampel : Agregat halus (*filler*)
Berat sampel : 1500 gram
Metode : SNI 03-1968-1990

No. Saringan	Berat Tertahan (gram)	Kumulatif Tertahan (gram)	Persen Total Tertahan (%)	Persen Lolos (%)
3/4"	0	0	0.00	100.00
1/2"	0	0	0.00	100.00
3/8"	0	0	0.00	100.00
4	0	0	0.00	100.00
8	400	400	40.00	60.00
16	0	400	40.00	60.00
30	0	400	40.00	60.00
50	0	400	40.00	60.00
100	0	400	40.00	60.00
200	322.4	722.4	72.24	27.76
PAN	277.6	1000	100.00	0.00

Mengetahui,
Kepala Laboratorium Ecomaterial

Prof. Dr. H. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng.
NIP. 19680529 200212 1 002



DOKUMENTASI

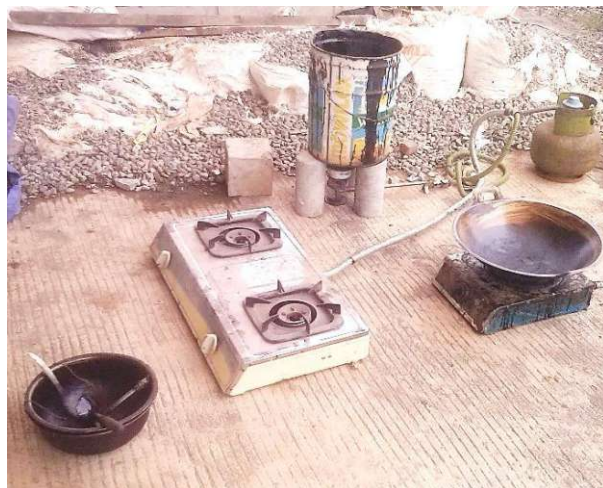
1. Penyiapan Alat dan Material



Pencucian/pembersihan Agregat



Proses pengeringan agregat



Persiapan Alat Sebelum Pembuatan Benda Uji



2. Proses Pembuatan Benda Uji



Proses Pemanasan Agregat dan Aspal Minyak



Proses Pemadatan Campuran Aspal



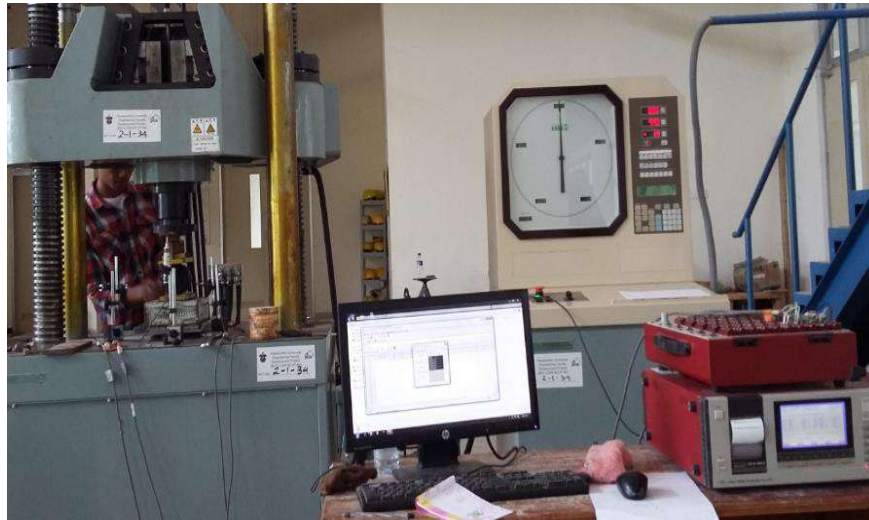
Proses pengeluaran benda uji dari mould dengan alat *ejector*

3. Proses Pengujian Air Laut



Optimization Software:
www.balesio.com

4. Proses Pengujian Kuat Tarik



Persiapan Alat Pengujian Kuat Tarik



Proses Pengujian Kuat Tarik



Hasil Pengujian Kuat Tarik





Optimization Software:
www.balesio.com