

**PENGARUH WAKTU PEMERAMAN TERHADAP
STABILITAS CAMPURAN ASPAL EMULSI
YANG MENGANDUNG BUTON GRANULAR ASPHALT**

TUGAS AKHIR



Disusun Oleh :

MOHAMAD ADEN CAHYO SUMARWOTO

D111 12 110

**DEPARTEMEN TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS HASANUDDIN
MAKASSAR
2018**

KATA PENGANTAR

Alhamdulillah rabbil‘aalamin, atas rahmat dan hidayah yang telah dilimpahkan oleh Allah SWT., maka penulis dapat menyelesaikan tugas akhir ini, yaitu sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan studi dan memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin.

Penulis menyadari bahwa di dalam tugas akhir yang sederhana ini terdapat banyak kekurangan dan sangat memerlukan perbaikan secara menyeluruh. Tentunya hal ini disebabkan keterbatasan ilmu serta kemampuan yang dimiliki penulis, sehingga dengan segala keterbukaan penulis mengharapkan masukan dari semua pihak.

Tentunya tugas akhir ini memerlukan proses yang tidak singkat. Perjalanan yang dilalui penulis dalam menyelesaikan tugas akhir ini tidak lepas dari tangan-tangan berbagai pihak yang senantiasa memberikan bantuan, baik berupa materi maupun dorongan moril. Olehnya itu dengan segala kerendahan hati, ucapan terima kasih, penghormatan serta penghargaan yang setinggi-tingginya penulis ucapkan kepada semua pihak yang telah membantu, yaitu kepada:

1. Kedua orang tua tercinta, yaitu ayahanda Dr. H. Sumarwoto, M.Sc dan ibunda Ir. Hj. Sri Fatmini Bokings, atas kasih sayang dan segala dukungan selama ini, baik spritual maupun materil, serta seluruh keluarga besar atas sumbangsih dan dorongan yang telah diberikan.

2. Bapak Dr. Ing. Ir. Wahyu H. Piarah, MS., M.Eng, selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
3. Bapak Dr. Ir. H. Muhammad Arsyad Thaha, MT. dan Bapak Ir. H. Achmad Bakri Muhiddin, Msc. Ph.D., selaku Ketua dan Sekretaris Departemen Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.
4. Bapak Prof. Dr. Eng. Muh. Wihardi Tjaronge, ST., M.Eng., selaku dosen pembimbing I, atas segala kesabaran dan waktu serta nasihat spiritual yang telah diluangkannya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini.
5. Bapak Prof. Ir. Sakti Adji Adisasmita, MSi., M.Eng.Sc., PhD., selaku dosen pembimbing II, yang telah meluangkan waktunya untuk memberikan bimbingan dan pengarahan mulai dari awal penelitian hingga terselesainya penulisan tugas akhir ini
6. Bapak Prof. Dr. Eng. Rudy Djamaluddin, ST., M.Eng selaku Kepala Laboratorium Struktur dan Bahan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin yang telah memberikan izin atas segala fasilitas yang digunakan.
7. Bapak LaOne, ST., MT, Ibu Bulgis ST., MT dan bapak Richard Frans, ST., MT yang telah memberikan kesempatan untuk ikut dalam tim penelitian beliau, serta telah banyak memberikan bantuan baik berupa masukan, saran, serta menyediakan segala keperluan dalam penelitian ini.
8. Seluruh dosen, staf dan karyawan Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Makassar.

9. Teman seperjuangan MIA (Miswar, Iqbal, Aden) yang senantiasa membantu dan memberikan support dan dukungan sehingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik
10. Kak Syaiful, Kak Hanif, Danny, Ibnu, Lulu, Fenti, Cimots, Rifdah, Renald dan Babinsa, selaku rekan-rekan di Laboratorium Riset Ecomaterial, yang senantiasa memberikan dukungan semangat dalam menyelesaikan penelitian ini.
11. Teman-teman seperjuangan Ito, Ajiz, Andi, Winner dan Adwian yang senantiasa memberikan support dan dukungan.
12. Saudara-saudariku seangkatan 2012 Teknik Sipil, yang senantiasa memberikan semangat dan dorongan dalam penyelesaian tugas akhir ini. *Keep on Fighting Till The End.*

Tiada imbalan yang dapat diberikan penulis selain memohon kepada Allah SWT., melimpahkan karunia-Nya kepada kita semua, Aamiin. Semoga karya ini dapat bermanfaat bagi kita semua.

Makassar, Januari 2018

Penulis

**PENGARUH WAKTU PEMERAMAN TERHADAP STABILITAS
CAMPURAN ASPAL EMULSI YANG MENGANDUNG BUTON GRANULAR
ASPHALT**

**INFLUENCE OF CURING TIME ON THE STABILITY OF MIXED EMULSION ASPHALT
CONTAINING BUTON GRANULAR ASPHALT**

Mohamad Aden C. Sumarwoto (1) , M.W. Tjaronge (2), Sakti Adji Adisasmita (2)

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai substitusi dari aspal minyak dan menentukan parameter Marshall campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi aspal minyak terhadap parameter Marshall dengan masa pemeraman 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, dan 28 hari. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimental di laboratorium. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kadar aspal optimum campuran aspal emulsi yaitu sebesar 5.5% dari berat bitumen dan kadar aspal buton optimum sebesar 10%. Nilai stabilitas yang didapatkan dengan perlakuan masa pemeraman 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 713,07 kg, 858,67 kg, 1034,13 kg, 1149,87 kg, 1276, 80 kg, 1370,13 kg, 1254,40 kg dan 1138,67 kg menggunakan campuran aspal emulsi berbasis substitusi BGA.

Kata Kunci : *Aspal Emulsi, Aspal Buton, Stabilitas, Masa Pemeraman*

ABSTRACT

This study aims to determine the optimum asphalt content of emulsion asphalt mixture using Buton granular asphalt as substitution of petroleum bitumen and determine Marshall parameter of mixture of emulsion asphalt using Buton granular asphalt as material of asphalt substitution of petroleum bitumen to Marshall parameter with curing period 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, and 28 days. The method used in this research is experimental method in laboratory. The results showed that the optimum asphalt content of emulsion asphalt mixture was 5.5% from bitumen weight and optimum Buton granular asphalt content of 10%. The stability values obtained by treatment periods of 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21, and 28 days were 713.07 kg, 858.67 kg, 1034,13 kg, 1149,87 kg, 1276, 80 kg, 1370,13 kg, 1254,40 kg and 1138,67 kg, respectively using mixture of bitumen emulsion based on BGA substitution.

Key Words : Emulsion Asphalt, Buton Asphalt, Stability, Curing Time

(1) Mahasiswa Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

(2) Dosen Jurusan Sipil Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin

DAFTAR ISI

LEMBAR JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN.....	ii
ABSTRAK	iii
KATA PENGANTAR	iv
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	x
DAFTAR GAMBAR	xii
DAFTAR LAMPIRAN.....	xiii
BAB I PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang.....	1
1.2. Rumusan Masalah.....	3
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	4
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Sistematika Penulisan	5
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Penelitian Terdahulu	7
2.2. Aspal Emulsi	19
2.2.1. Definisi Emulsi	19
2.2.2. Klasifikasi dan Pemberian Nama Emulsi	23
2.2.3. Aplikasi Emulsi	27
2.2.4. Pengujian Emulsi	30
2.3. Aspal Buton.....	30
2.4. Agregat.....	35

2.5.	Pengujian Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>	40
BAB III METODE PENELITIAN		
3.1.	Umum/Ringkasan Metodologi Penelitian	47
3.2.	Waktu dan Lokasi Penelitian.....	48
3.3.	Diagram Alir Penelitian	48
3.4.	Pengumpulan Data Penelitian.....	51
3.5.	Pengambilan Material Penelitian.....	52
3.6.	Pemeriksaan Karakteristik Material.....	52
3.6.1.	Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	52
3.6.2.	Karakteristik Aspal Emulsi.....	53
3.6.3.	Buton Granular Asphalt Tipe 20/25	54
3.6.4.	Gradasi Campuran Aspal Dingin	57
3.7.	Pembuatan Benda Uji	58
3.8.	Pemeriksaan Karakteristik Campuran Aspal Beton dengan Metode <i>Marshall</i>	62
3.8.1.	<i>Mix Design</i> Metode <i>Marshall</i>	62
3.8.2.	Karakteristik Metode <i>Marshall</i>	62
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN		
4.1.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material	67
4.1.1.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat.....	67
4.1.2.	Penentuan Gradasi Campuran	68
4.2.	Hasil Pemeriksaan Parameter Stabilitas Untuk Menentukan Kadar Optimum BGA Campuran Aspal Emulsi	72
4.2.1.	Hubungan Kadar BGA dengan Stabilitas	74
4.2.2.	Hubungan Kadar BGA dengan <i>flow</i>	76
4.2.3.	Hubungan Kadar BGA dengan <i>Marshall Quetiont</i> (MQ)	77
4.2.4.	Penentuan Kadar BGA Optimum.....	79
4.3.	Hasil Pemeriksaan Parameter Stabilitas Dengan Variasi Waktu Pemeraman Dalam Kondisi Kadar BGA Optimum.....	80
4.3.1.	Hubungan Waktu Pemeraman dengan Stabilitas	81

4.3.2.	Hubungan Waktu Pemeraman dengan <i>flow</i>	83
4.3.3.	Hubungan Antara Waktu Pemeraman dengan <i>Marshall Quetiont</i> (MQ)	85
BAB V	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan.....	87
5.2.	Saran	87
DAFTAR PUSTAKA		
LAMPIRAN		

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1.	Tingkatan Aspal Emulsi Berdasarkan ASTM dan AASHTO	24
Tabel 2.2.	Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik	25
Tabel 2.3.	Tingkatan Aspal Emulsi Anionik	26
Tabel 2.4.	Tipe Penggunaan Aspal Emulsi.....	28
Tabel 2.5.	Tipikal Hasil Analisa Kimia Bitumen Asbuton dan Aspal Minyak Menurut Puslitbang	32
Tabel 2.6.	Ketentuan Aspal Buton Granular	33
Tabel 2.7.	Persyaratan Bahan Pengisi	38
Tabel 3.1.	Metode Pengujian Karakteristik Agregat Kasar.....	53
Tabel 3.2.	Metode Pengujian Karakteristik Abu Batu dan <i>Filler</i>	53
Tabel 3.3.	Karakteristik Aspal Emulsi CSS-1h EA-60.....	54
Tabel 3.4.	Metode Pengujian Karakteristik BGA (<i>Buton Granular Asphalt</i>) Tipe 20/25.....	55
Tabel 3.5.	Hasil Pengujian Karakteristik BGA	56
Tabel 3.6.	Hasil Karakteristik BGA Setelah Ekstrak.....	56
Tabel 3.7.	Rencana Jumlah Benda Uji Penentuan Kadar Aspal Residu Optimum	58
Tabel 3.8.	Rencana Jumlah Benda Uji Penentuan Kadar BGA Optimum	59
Tabel 3.9.	Rencana Jumlah Benda Uji Berdasarkan Waktu Pemeraman (<i>Curing</i>)	59
Tabel 3.10.	Ketentuan Sifat-Sifat Campuran Dingin AC-WC	66
Tabel 4.1.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat Kasar	67
Tabel 4.2.	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Abu Batu.....	68
Tabel 4.3.	Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter Marshall	70

Tabel 4.4.	Komposisi Material Dalam Berat Untuk 1200 gram Benda Uji (Diameter Mould 10 cm)	71
Tabel 4.5.	Berat Residu Aspal Emulsi dan <i>Buton Granular Asphalt</i> (BGA)	72
Tabel 4.6.	Tabel Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter Stabilitas (<i>Marshall Test</i>).....	73
Tabel 4.7.	Tabel Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter Stabilitas (Marshall Test) Dengan Variasi Waktu Pemeraman	57

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1.	Tipe Dari Emulsi (a) Emulsi O/W, (b) Emulsi W/O, dan (c) Emulsi W/O/W	21
Gambar 2.2.	(a) Distribusi Ukuran Patikel Aspal Emulsi dan (b) Mikrograf Dari Aspal Emulsi.....	22
Gambar 2.3.	Tahapan Dalam Pemecahan Emulsi	23
Gambar 2.4.	Jenis-Jenis Gradasi Agregat	39
Gambar 3.1.	Diagram Alir Penelitian	51
Gambar 3.2.	Bagan Alir Cara Pencampuran Menggunakan Alat Pencampuran Manual di Lapangan.....	61
Gambar 3.3.	Alat Pengujian <i>Marshall</i>	66
Gambar 4.1.	Gradasi Agregat Gabungan Campuran Aspal Emulsi	69
Gambar 4.2.	Hubungan Kandungan Kadar BGA Terhadap Nilai Stabilitas.....	74
Gambar 4.3.	Hubungan Kandungan Kadar BGA Terhadap Nilai <i>Flow</i>	77
Gambar 4.4.	Hubungan Kandungan Kadar BGA Terhadap Nilai <i>Marshall Quetiont</i> (MQ).....	78
Gambar 4.5.	Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai Stabilitas.....	81
Gambar 4.6.	Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai <i>Flow</i>	84
Gambar 4.7.	Hubungan Waktu Pemeraman Terhadap Nilai <i>Marshall Quetiont</i> (MQ).....	86

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Agregat

Lampiran Tabel Gradasi Agregat Gabungan

Lampiran Hasil Pengujian Sifat-Sifat Fisik Aspal Emulsi

Lampiran Hasil *Cold Mix* dan Pengujian *Marshall* Setiap Variasi

Lampiran Foto Penelitian

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Ditinjau dari pelaksanaan pekerjaan penggunaan aspal emulsi lebih mudah, hemat bahan bakar dan lebih ramah lingkungan dibandingkan penggunaan aspal keras. Proses pencampuran aspal keras dengan material lain/agregat membutuhkan *asphalt mixing plant* (AMP) dan pada suhu yang mencapai 140 °C atau dikenal dengan istilah campuran panas (*hot mix*). Sementara untuk proses pencampuran aspal emulsi lebih sederhana hanya membutuhkan *concrete mixer* atau molen sebagai alat pencampur menggunakan air sebagai bahan pengemulsi dan bahan aditif. Proses ini dinamakan campuran dingin atau *cold mix*. Berdasarkan analisa EI untuk memproduksi 1 ton campuran hot mix diperlukan bahan bakar solar rata-rata 9,15 liter, sementara untuk proses cold mix diperlukan rata-rata 1,02 liter per ton campuran. Untuk penghamparan di lokasi pekerjaan suhu aspal hot mix harus berkisar 100 °C – 120 °C yang tentu saja hal ini sulit dipertahankan jika cuaca hujan, sedangkan cold mix dihampar pada suhu ruangan berkisar 25 °C – 32 °C sehingga pada saat pelaksanaannya cuaca tidak terlalu berpengaruh. Selain dari itu jalan yang lokasinya jauh dari AMP, terutama jalan yang terletak di pedalaman (pelosok) butuh penanganan yang sesegera mungkin dilakukan (Rosalina dan Mulizar, majalah ilmiah BISSOTEK, Vol. 8, No. 1, September 2013 : 1-10).

Penelitian-penelitian yang ada pada saat ini menggunakan aspal minyak hasil distilasi sebagai perekat dalam campuran beraspal dingin. Sampai saat ini belum ditemukan alternatif aspal sebagai pengganti atau substitusi dari aspal minyak didalam membuat campuran aspal emulsi, mengingat kebutuhan aspal minyak di Indonesia sekitar 1.2 juta ton pertahun sedangkan kemampuan produksi aspal (aspal minyak) dalam negeri hanya sekitar 600 ribu ton pertahun (A. Suryana, 2003 dalam Tjaronge, 2012).

Aspal Buton adalah aspal alam hasil dari pertambangan didarat yang terletak di pulau Buton Provinsi Sulawesi Tenggara di Indonesia yang berpotensi 300 tahun penambangannya (Sarana Karya, 2004).

Beberapa ahli konstruksi perkerasan jalan di Indonesia telah melakukan penelitian tentang aspal alam Buton atau yang lebih dikenal dengan sebutan Asbuton (Hermadi, (2006), Affandi (2006), Kusniati, (2008), Suaryana (2008), Tjaronge, (2012), Nur Ali (2012), Budiamin (2015), Gaus (2016), dll). Penelitian tersebut pada umumnya meneliti kinerja Asbuton butir didalam campuran aspal panas (*hot-mix*). Selain itu, sejumlah penelitian telah menghasilkan bitumen dari proses ekstraksi aspal alam Buton (Zamhari dkk., 2013), (Furqon A, 2006). Khusus pada penelitian Nur Ali (2012) yang menggunakan Asbuton dalam bentuk liquid Asbuton dengan meneliti aspal ini ke dalam campuran aspal panas pada penerapan aspal berongga (*porous*).

Seluruh negara termasuk Indonesia telah mengembangkan aspal emulsi dan campuran beraspal dingin dengan sumber bahan perekat yaitu aspal emulsi dari aspal minyak hasil distilasi. Hal inilah yang sangat menarik apabila aspal alam Buton

(Asbuton-Indonesia) dapat diteliti untuk dikembangkan ke arah teknologi yang ramah lingkungan (*green technology*) dengan menjadikan Asbuton-Indonesia sebagai salah satu bahan substitusi penggunaan aspal minyak dalam campuran aspal emulsi dengan tujuan untuk mengembangkan campuran beraspal dingin (*cold mix*). Penggunaan aspal emulsi di Indonesia masih terbatas penggunaannya pada lapis perekat dan lapis peresap saja walaupun beberapa pedoman telah dikeluarkan oleh Departemen Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga sebagai pedoman pelaksanaan pekerjaan campuran beraspal dingin (Spesifikasi Khusus Campuran Beraspal Dingin, 2006).

Berdasarkan latar belakang di atas maka penggunaan aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi aspal minyak campuran aspal emulsi dapat dijadikan sebagai suatu penelitian mengingat keuntungannya dibandingkan aspal keras. Oleh karena itu, maka penulis mengangkat sebuah Tugas Akhir dengan judul **“Pengaruh Waktu Pemeraman Terhadap Stabilitas Campuran Aspal Emulsi Yang Mengandung Buton Granular Asphalt”**.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan diatas, maka yang menjadi rumusan masalah dalam penelitian ini :

1. Bagaimana campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi aspal minyak terhadap nilai kadar aspal optimum.

2. Bagaimana campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi aspal minyak terhadap parameter *Marshall* dengan masa *curing* 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 dan 28 hari.

1.3. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini :

1. Untuk menentukan kadar aspal optimum campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi dari aspal minyak.
2. Untuk menentukan parameter *Marshall* campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi aspal minyak terhadap parameter *Marshall* dengan masa *curing* 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 dan 28 hari.

1.4. Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberi manfaat sebagai berikut :

1. Memberikan gambaran tentang campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton sebagai bahan substitusi dari aspal minyak berdasarkan kadar aspal optimum.
2. Memberikan gambaran tentang campuran aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton bahan substitusi aspal minyak terhadap parameter *Marshall* dengan masa *curing* 0, 1, 3, 5, 7, 14, 21 dan 28 hari.

1.5. Batasan Masalah

Permasalahan aspal emulsi demikian luas, sehingga dipandang perlu membatasi masalah penelitian ini agar dapat lebih terarah sehingga penelitian ini fokus pada hal-hal :

1. Bahwa penelitian yang dilakukan adalah berbentuk uji eksperimen di laboratorium.
2. Aspal emulsi yang digunakan diproduksi oleh salah satu produsen aspal emulsi nasional dengan jenis kationik CSS-1h EA-60.
3. Campuran beraspal emulsi yang dihasilkan untuk diuji *Marshall Test*.
4. Buton Granular Asfalt (BGA) yang digunakan yaitu tipe 20/25.
5. Benda uji yang digunakan yakni diberikan perlakuan masa pemeraman (*curing*)

1.6. Sistematika Penulisan

Untuk tetap terarah pada tujuan penelitian yang hendak dicapai, maka perlu disusun sebuah sistematika penulisan, dengan urutan sebagai berikut:

BAB I Pendahuluan, berisi latar belakang penelitian, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, batasan masalah, serta sistematika penulisan. Bab pendahuluan menjelaskan poin permasalahan yang diamati, menjelaskan tujuan pentingnya hasil penelitian bagi pengembangan ilmu perkerasan jalan, ruang lingkup sebagai batasan dalam penulisan, serta sistematika sebagai pengenalan isi per bab dalam skripsi.

- BAB II Tinjauan Pustaka, menjelaskan dasar teori tentang aspal emulsi, aspal Buton, bitumen hasil ekstraksi aspal alam Buton dan agregat kasar (*chipping*), agregat halus, *filler*, pengujian karakteristik agregat, gradasi, pengujian karakteristik aspal emulsi, kadar aspal optimum dan pengujian parameter *Marshall*.
- BAB III Metode Penelitian, menerangkan penelitian secara umum baik dari segi alur penelitian maupun waktu dan lokasi penelitian, metode pemeriksaan komponen campuran yaitu agregat dan aspal emulsi yang menggunakan aspal alam Buton serta metode penentuan kadar aspal optimum dan pengujian parameter *Marshall*.
- BAB IV Hasil dan Pembahasan, menyajikan data penelitian dan membahas analisis dari data tersebut, untuk mencapai hasil dari penelitian.
- BAB V Penutup, berisi kesimpulan hasil analisis data penelitian dan saran sebagai hasil pandangan penelitian yang telah dilakukan sehubungan dengan tujuan penelitian.

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Penelitian Terdahulu

Beberapa penelitian terdahulu tentang penelitian yang telah dilakukan berkaitan dengan penelitian ini yaitu :

1. **Abbas Al-Hdabi, dkk., (2013)** melakukan penelitian dengan jenis aspal HRA (*Hot Rolled Asphalt*) pada lapis permukaan adalah campuran dari gradasi senjang yang terdiri atas agregat kasar, pasir, bahan pengisi dan aspal. Sifat mekanik dari campuran didominasi oleh sifat penguatan komponen mortar, yaitu pengisi mineral, pasir dan aspal. Bahannya banyak digunakan untuk permukaan jalan utama di Inggris karena menghasilkan lapisan padat dan kedap air, sehingga tahan cuaca. Permukaan yang tahan lama mampu menahan beban lalu lintas modern dan kuat akan kelelahan retak. Tetapi, mungkin akan mengalami penurunan dalam ketahanan deformasi. Campuran Aspal Dingin Emulsi (CBEM) mempunyai nilai unggul terhadap campuran aspal panas dalam segi ekonomi dan lingkungan. Tenaga yang dibutuhkan dalam proses pencampuran, pengangkutan dan peletakan campuran lebih sedikit bila dibandingkan dengan campuran aspal lama. Jurnal ini menuliskan tentang tentang perkembangan baru, pemeraman cepat dari gradasi senjang *Cold Rolled Asphalt* (CRA) melalui pergantian dari pengisi mineral lama dengan 2 jenis campuran pengisi (*filler*) yang didapat dengan mencampurkan persentase yang berbeda dari dua jenis limbah abu

terbang. CRA yang baru dibuat untuk dibandingkan dengan *Hot Rolled Asphalt* (HRA) konvensional setelah mengalami pengeraman dalam waktu yang singkat. Sifat mekanisnya dinilai dengan modulus kekakuan, dan aliran plastis dengan tes uniaksial (*uniaxial creep tests*) sementara sensitivitas air diamati dengan cara menilai rasio modulus kekakuan sebelum dan setelah perawatan. Hasil penelitian menunjukkan adanya perkembangan yang signifikan pada sifat mekanis dan peningkatan substansi dari ketahanan material terhadap sensitivitas air dengan bercampurnya 2 jenis campuran pengisi di dalam CRA. Bahkan, kekuatan yang dibutuhkan yaitu 125 persen modulus kekakuan HRA bisa tercapai setelah beberapa jam saja setelah dikeluarkan dari mold yang merupakan keunggulan yang signifikan jika dibandingkan dengan yang konvensional dimana membutuhkan waktu setidaknya 2 sampai 24 bulan untuk Campuran Aspal Dingin Emulsi (CBEM) lama.

2. **Isral, dkk., (2016).** Dalam beberapa dekade terakhir, pemanfaatan bahan-bahan lokal telah memainkan peran penting dalam mengembangkan infrastruktur jalan yang berkelanjutan di Indonesia. Ada beberapa daerah di Kabupaten Buton di Indonesia yang memiliki sumber daya aspal padat dalam jumlah besar. Aspal alam Buton terdiri dari aspal kira-kira 30% dan mineral 70%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui potensi penggunaan aspal yang diekstraksi dari aspal batuan Buton (EBBRA) dalam fase padat untuk menghasilkan aspal emulsi dengan pengemulsi, asam klorida, kalsium klorida, dan air. Uji Stabilitas Marshall dilakukan untuk mempelajari kinerja campuran aspal dingin yang

mengandung aspal emulsi dengan basis EBBRA. Hasil pengujian menunjukkan bahwa campuran fasa padat yang mengandung EBBRA (57,4%) dan minyak tanah (5%) direaksikan dengan campuran fase cair yang mengandung penguat kationik 1%, HCl 0,5%, 0,1% CaCl₂, dan 36% air untuk membentuk aspal emulsi yang stabil. Basis campuran aspal emulsi yang mengandung EBBRA memiliki nilai stabilitas yang sama seperti campuran aspal emulsi yang mengandung aspal petroleum.

3. **Abrar Mahyuddin, dkk., (2017).** Aspal batu alam yang ada dalam jumlah besar telah diolah menjadi ukuran butiran kecil yang disebut Buton granular aspal (BGA). BGA terdiri dari aspal 27% dan mineral 63%. Dalam penelitian ini, BGA diperkenalkan pada campuran aspal emulsi. Ada dua tahap pencampuran. Pada tahap pertama, campuran emulsi aspal tanpa BGA disiapkan dengan kandungan emulsi kationik lambat (CSS) bervariasi dari 4,5% sampai 6,5% berat campuran. Campuran dengan 5,5% emulsi aspal CSS mencapai kadar emulsi aspal optimum. Pada tahap kedua, pada kadar emulsi aspal optimum, aspal BGA digunakan untuk penggantian parsial bitumen minyak bumi dalam campuran emulsi aspal. Rasio 0%, 2,5%, 5% dan 7,5% digunakan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan BGA dalam campuran emulsi aspal telah terbukti dalam meningkatkan stabilitas dan kekuatan tarik tidak langsung. Perilaku regangan tegangan membentuk hubungan linier sampai dengan nilai regangan sekitar $0,5 \times 10^{-3}$ dan tegangan puncaknya terkait dengan nilai

regangan dari $4,5 \times 10^{-3}$ sampai $6,5 \times 10^{-3}$ terlepas dari kandungan BGA dalam campuran.

4. **Mohamad Rizal, dkk., (2017)**. Buton granular aspal (BGA) diperoleh dalam bentuk butiran dari aspal batu alam menggunakan proses halus. BGA terdiri dari aspal kira-kira 30% dan mineral 70% dimana sifat aspal dalam BGA sebagian besar mirip dengan bitumen minyak bumi. Penyelidikan efek penuaan oven jangka panjang (LTOA) terhadap kinerja campuran aspal berpori dilakukan dengan menggunakan dua campuran. Campuran pertama menggunakan bitumen minyak bumi tanpa BGA dan campuran kedua menggunakan bitumen minyak bumi dengan BGA 2,5%. Kinerja campuran beraspal berpori dievaluasi dengan menggunakan uji kekuatan tarik tidak langsung (ITS), uji stabilitas Marshall dan kehilangan abrasi (uji Cantabro untuk ketahanan raveling). Hasil pengujian menunjukkan bahwa sebelum proses LTOA, kehadiran BGA telah berkontribusi terhadap kekuatan tarik dan stabilitas aspal berpori yang meningkat dengan 2,5% BGA sedangkan kehilangan abrasi serupa dengan campuran aspal berpori tanpa BGA. Selanjutnya, walaupun hasil pengujian menunjukkan bahwa penuaan yang disebabkan oleh LTOA menurunkan kekuatan tarik, stabilitas Marshall dan ketahanan raveling untuk semua campuran, perbandingan pengaruh proses LTOA pada aspal berpori dengan BGA dan tanpa BGA menunjukkan bahwa kinerja aspal berpori dengan 2,5% BGA mengungguli campuran tanpa BGA.
5. **Abdul Gaus, dkk., (2015)**. Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi hubungan tegangan-regangan tekan campuran aspal beton dengan menggunakan

aspal buton granular (BGA) sebagai pengganti sebagian untuk produksi campuran aspal minyak lapis permukaan (AC-BC). Uji eksperimental menunjukkan bahwa kedua pola dari kurva tegangan-vertikal dan kurva tegangan-horisontal adalah sama. Penerapan dari BGA sebagai pengganti sebagian campuran aspal minyak pada lapisan permukaan (AC-BC) meningkatkan kekuatan tekan dan modulus elastisitas dibandingkan dengan AC-BC tanpa BGA. Tidak ada perbedaan yang signifikan dalam rasio Poisson terhadap semua campuran.

6. **Bambang S. Subagio, dkk., (2005)**. Melanjutkan penelitian kami sebelumnya, kinerja kelelahan *Hot Rolled Asphalt* (HRA) campuran tipe C; mengacu pada British Standard Specification, dan Superpave® Asphaltic Concrete (AC); mengacu pada Spesifikasi Asphalt Institute, keduanya menggunakan ASBUTON (Aspal Batu Indonesia) sebagai agregat halus dan pengisi (*filler*), telah dilakukan. Parameter yang digunakan untuk mengevaluasi karakteristik kelelahan dari campuran aspal beton adalah: jumlah siklus terhadap kegagalan atau umur kelelahan, faktor efektivitas, regangan awal, kekakuan awal, jumlah siklus untuk inisiasi retak, jumlah siklus perambatan retak, dan mekanisme retak sampai kegagalan tercapai. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton sebagai agregat halus dan pengisi pada campuran HRA tipe C dan campuran Superpave® AC, dapat meningkatkan umur kelelahan, dapat diindikasikan dengan bertambahnya faktor efektivitas yaitu rasio jumlah siklus terhadap kegagalan specimen dengan dan tanpa pengisi Asbuton, pada tingkat stres

tertentu, berkisar antara 15,71 sampai 4,90 untuk campuran HRA dan dari 521,44 sampai 6,38 untuk campuran AC, bergantung pada tingkat tekannya. Peran pengisi Asbuton di kedua campuran aspal; HRA dan AC nampaknya juga menurunkan tekanan awal, meningkatkan kekakuan awal (lebih dari 300% untuk campuran AC) dan mereduksi mekanisme permulaan retakan dan penyebaran retakan pada sampel.

7. **Bambang S. Subagio, dkk., (2003).** Aspal batu sangat banyak jumlahnya di Pulau Buton, Indonesia. Digunakan secara terus menerus dalam bentuk alami sebagai lapisan permukaan untuk trotoar jalan yang ada. Di sisi lain, pemeliharaan jaringan jalan di Indonesia secara luas melibatkan penggunaan sejumlah besar material terikat bitumen. Mengingat biaya yang relatif tinggi dari aspal minyak, dan banyaknya jumlah aspal batu yang ada di Indonesia, hasil dari penelitian dari aspal batu menjadi signifikan, karena terkait dengan program perawatan jalan raya. Jurnal ini menjelaskan beberapa kinerja laboratorium dari campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) tipe C dan F menggunakan Asbuton sebagai bahan pengisi (*filler*). Percobaan yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya, Departemen Teknik Sipil, Institut Teknologi Bandung (ITB) adalah: Pengujian Marshall Biasa, Pengujian Marshall Perendaman, Pengujian Deformasi Aspal (*Wheel Tracking Test*) dan Pengujian Modulus Elastisitas. Faktor-faktor yang mempengaruhi kinerja Asbuton dibahas atas dasar pertimbangan untuk meningkatkan penggunaan bahan-bahan tersebut.

Dalam penelitian ini, asbuton digunakan sebagai agregat halus dan filler dalam campuran *Hot Rolled Asphalt* (HRA) tipe C dan F. menurut Standar Spesifikasi Inggris : BS 594 bagian 1-1985. Hasil Uji Marshall Standar menunjukkan bahwa penggunaan abu terbang menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton filler akan mengurangi KAO dan stabilitas Marshall, dibandingkan dengan penggunaan debu-terbang dalam campuran HRA. Hasil uji Marshall rendaman menunjukkan juga kinerja yang lebih baik dari Asbuton sebagai bahan pengisi (97,5% IRS), dibandingkan dengan filler abu-terbang (82,5% IRS). Pengujian deformasi aspal memberikan juga hasil yang sama seperti tes lain yaitu kinerja yang lebih baik dari Asbuton sebagai bahan pengisi (0.45 mm D₀), dibandingkan dengan abu-terbang sebagai bahan pengisi (1.38 mm D₀). Dan akhirnya, modulus elastisitas pada campuran HRA dengan menggunakan Asbuton sebagai bahan pengisi memiliki nilai lebih tinggi (3108 MPa) dari campuran HRA dan pada abu-terbang menghasilkan (2399 MPa), pada suhu 25° C. Secara umum, hampir semua hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan Asbuton sebagai bahan pengisi pada campuran HRA memberikan kinerja yang lebih baik dari campuran dengan bahan pengisi standar, termasuk abu-terbang.

8. **Budiamin, dkk., (2015).** Buton granular asphalt (BGA) dihasilkan dari aspal batu alam yang tersimpan di Selatan Pulau Buton, Sulawesi Tenggara, Indonesia. Keberlanjutan pembagunan infrastruktur jalan nasional dan regional dapat dimaksimalkan dengan memanfaatkan BGA sebagai bahan perkerasan. Campuran aspal biasa (aspal panas dan HRA) harus dimasak terlebih dahulu

untuk menggunakannya. Ada kendala teknis berupa lahan untuk memproduksi campuran aspal panas dan HRA pada daerah terpencil. Pengerjaan campuran aspal dingin mengandung BGA adalah solusi untuk menggantikan aspal panas yang harus dibawa dari tempat jauh tersebut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa bitumen dengan campuran BGA dan tambahan minyak (flux oil) menentukan parameter marshallnya dan kemampuan pemadatan campuran. Pada kandungan aspal 7.8% dengan BGA (30, 62% berat kadar BGA dalam campuran ekuivalen), tidak ada perbedaan signifikan pada VIM, stabilitas VMA, flow, VFB dan kuat tarik tidak langsung yang ditemukan pada saat pemadatan dan penyimpanan diperpanjang dari 3 menjadi 7 hari.

9. **Furqon Affandi (2010).** Jenis perkerasan yang paling banyak di Indonesia, ialah perkerasan lentur, dimana salah satu kerusakan yang terjadi ialah alur akibat beban kendaraan berat dan temperature perkerasan yang tinggi. Masalah alur ini bisa menyebabkan menurunnya pelayanan jalan dan akan mengakibatkan retak yang akhirnya akan menjadikan konstruksi perkerasan mengalami kerusakan yang lebih parah. Studi ini bertujuan untuk mengetahui kinerja *Stone Mastic Asphalt* dengan menggunakan bahan pengikat aspal keras penetrasi 60 yang dicampur bitumen Asbuton hasil semi ekstraksi, dengan penambahan bitumen Asbuton hasil ekstraksi, ketahanan terhadap alir dari campuran *Stone Mastic Asphalt* meningkat cukup signifikan, modulus campuran beraspal mengikat, memperbaiki masalah pengaliran aspal (drain down) dan *flushing*. Namun demikian, ketahanan terhadap pelepasan butir pada campuran menjadi turun

walaupun tidak melampaui batas maksimum yang diijinkan, dan kecenderungan aspal menjadi sedikit rapuh. Jadi penambahan Asbuton semi ekstraksi akan meningkatkan beberapa kinerja campuran, tetapi sebagian kinerja lainnya akan menurun, karena itu persentase penambahan Aspal asbuton semi ekstraksi harus seminimal mungkin tetapi masih dapat memenuhi persyaratan campuran beraspal, dengan mempertimbangkan juga ketahanan kelelahan (*fatigue*) dari campuran *Stone Mastic Asphalt*, yang penelitiannya perlu segera dilakukan.

10. **Hosin David Lee, dkk., (2009).** Penelitian sebelumnya melakukan percobaan laboratorium untuk mengukur dampak pemeraman terhadap kekuatan tarik tidak langsung dari campuran CIR-busa dan CIR-emulsi. Namun, pertanyaan mendasar diajukan selama penelitian sebelumnya mengenai hubungan antara kelembaban di lapangan dan kandungan kelembaban di laboratorium. Oleh karena itu, selama penelitian ini, suhu dan kondisi kelembaban diukur di lapangan dengan menyematkan sensor pada titik tengah dan lapisan bawah CIR. Tujuan utama penelitian adalah untuk : (1) mengukur kadar kelembaban diseluruh lapisan CIR and (2) mengembangkan indeks kehilangan kelembaban untuk menentukan waktu pemeraman optimal lapisan CIR sebelum lapisan penutup HMA. Untuk mengembangkan satu set indeks kehilangan kelembaban, kandungan kelembaban dan suhu lapisan CIR-busa dan lapisan CIR-emulsi dipantau selama lima bulan. Berdasarkan percobaan lapangan terbatas, kesimpulan berikut diturunkan :

1. Kandungan kelembaban lapisan CIR dapat dipantau secara akurat dengan menggunakan sensor kelembaban tipe kapasitansi.
 2. Indeks penurunan kelembaban untuk lapisan CIR adalah alat yang tepat dalam menentukan waktu optimal untuk overlay tanpa mengukur kadar air yang sebenarnya.
 3. Modulus yang dihitung kembali berdasarkan defleksi yang diukur oleh FWD sepertinya sesuai dengan kesepakatan kekakuan diukur dengan geo-gauge.
 4. Geo-gauge harus dipertimbangkan untuk mengukur kekakuan lapisan CIR yang dapat digunakan untuk menentukan waktu overlay
 5. Kekakuan lapisan busa CIR meningkat seiring meningkatnya waktu pemeraman dan nampaknya lebih dipengaruhi oleh suhu daripada kadar air.
Rangkaian indeks penurunan kelembaban yang dikembangkan berdasarkan pengukuran lapangan akan membantu insinyur perkerasan menentukan waktu optimal overlay tanpa terus mengukur kondisi kelembaban di lapangan dengan menggunakan alat pengukur nuklir.
11. **Jinhai Yan, dkk., (2010).** Aspal emulsi dan aspal busa dingin dengan teknik daur ulang merupakan jenis aspal yang sering dipakai untuk perbaikan jalan di Cina. Namun, setelah meliat literature, tidak ditemukan adanya perbandingan terhadap sifat kelelahan untuk campuran aspal dingin daur ulang. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menentukan sifat kelelahan dari aspal emulsi dan aspal dingin campuran daur ulang menggunakan Nottingham Asphalt Tester (NAT) (Cooper NU-14 tester). Dalam penelitian ini, aspal dingin dan emulsi

diamati nilai kuat tarik tidak langsung, modulus kekakuan dengan tiga temperature dan empat tingkat tegangan. Selain itu, hukum perpindahan (deformasi) dan penyebaran retakan juga dianalisa saat berlangsungnya uji kelelahan (uji fatik). Hasil pengujian mengindikasikan bahwa modulus kekakuan turun dengan naiknya temperature (suhu) dan kuat tekan. Melalui uji fatik kuat tarik tidak langsung pada tekanan (kuat tekan) yang berbeda, campuran aspal dingin menunjukkan usia kelelahan yang lebih tinggi pada saat tekanan rendah, sedangkan campuran aspal emulsi menunjukkan usia kelelahan yang lebih tinggi pada saat tekanan yang lebih tinggi. Menurut hukum perpindahan (deformasi) dan penyebaran retakan, campuran aspal emulsi mencakup tiga fase pengembangan perpindahan, sedangkan campuran aspal dingin mencakup 2 fase pengembangan perpindahan. Analisa kualitatif menunjukkan bahwa emulsi dingin campuran daur ulang mengalami kegagalan pada kelelahan plastik, berdasarkan pada sifat visko-elastisnya, sedangkan kerusakan fatik dari campuran aspal busa daur ulang menunjukkan patahan akibat rapuh.

12. **M A Shafii, dkk., (2011).** Pada industri perkerasan jalan, aspal emulsi biasanya digunakan untuk pencampuran aspal dingin seperti *chip seal* (pekerjaan perbaikan lapis atas permukaan aspal), *slurry seal* (campuran dari aspal emulsi, agregat halus dengan gradasi menerus dengan bahan pengisi dan air), *micro surfacing* (sama dengan *slurry seal* tetapi dengan kandungan residu polimer dan aspal yang lebih tinggi, serta kualitas agregat yang lebih tinggi), campuran dingin daur ulang, dll. Aspal emulsi mempunyai beberapa keunggulan dibandingkan

dengan aspal biasa salah satunya ramah lingkungan, mudah ditangani pada suhu lingkungan dan bahan hemat energi karena tidak melalui proses pemanasan pada saat akan dibuat. Sejarah aspal emulsi dan penerapannya dalam pembangunan jalan mulai pada awal abad ke 20. Oleh karena itu, meningkatnya jumlah volume dan beban lalu lintas, penggunaan dari aspal emulsi normal tidak cukup untuk mencegah jalanan dari kerusakan. Saat ini, teknologi modifikasi aspal polimer telah digunakan oleh para peneliti dan produser aspal emulsi untuk meningkatkan kinerja aspal emulsi. Berbagai jenis polimer dapat digunakan untuk membuat aspal emulsi polimer modifikasi seperti styrene butadiene styrene (SBS), blok kopolimer, polivinil asetat (PVA), karet lateks stirena butadiena (SBR), resin epoksi dan lateks karet alam. Polimer dapat ditambahkan ke dalam aspal emulsi dengan tiga cara : 1) metode pencampuran awal (*pre-blending*), 2) metode pencampuran simultan dan 3) metode pencampuran akhir (*post-blending*). Metode pencampuran memiliki pengaruh penting pada distribusi jaringan polimer yang ada dan akan mempengaruhi kinerja aspal emulsi polimer modifikasi. Tidak adanya protokol ataupun tata cara pencampuran yang disepakati telah memungkinkan berbagai teknik untuk digunakan dengan menguji laboratorium agar diperoleh residu aspal emulsi. Makalah ini menyajikan gambaran umum dari penelitian yang telah dilakukan pada aspal emulsi polimer yang dimodifikasi dengan menggunakan berbagai jenis polimer dan diharapkan dapat meningkatkan kinerja dan dapat juga meningkatkan kinerja aplikasinya.

2.2. Aspal Emulsi

Aspal emulsi merupakan aspal cair yang dihasilkan dengan cara mendispersikan aspal keras bitumen ke dalam air atau sebaliknya dengan bantuan bahan pengemulsi. Aspal emulsi merupakan hasil dispersi bahan aspal dalam air secara merata dengan menggunakan emulsifier yang berfungsi mengikat molekul aspal dengan air. Dalam suatu campuran emulsi, kandungan aspal umumnya berkisar $\pm 55-75\%$ dan kandungan bahan pengemulsi (emulsifier) $\pm 3\%$ dan air 25 - 45%.

Penggunaan aspal emulsi di mulai pada awal abad ke-20. Saat ini 5% sampai 10% dari kelas aspal yang digunakan adalah dalam bentuk emulsi, tetapi penggunaan aspal emulsi sangat bervariasi antar negara. Amerika Serikat merupakan salah satu produsen terbesar di dunia dari aspal emulsi. Keuntungan dari aspal emulsi dibandingkan dengan aspal panas adalah dapat mengurangi pengikat yang dapat terkait dengan aplikasi suhu rendah, kompatibilitas dengan binder berbasis air yang lain seperti lateks karet, semen dan pelarut-pelarut redah. Peran komponen aspal emulsi seperti pengemulsi atau emulsifier, asam atau alkali, dan aditif-dalam menentukan sifat fisik dan reaktivitas emulsi dapat dijelaskan. Klasifikasi aspal emulsi dapat dibedakan menjadi beberapa berdasarkan nilai reaktivitas, muatan partikel, dan sifat fisik yang dapat dijelaskan. Dua puluh tahun terakhir telah terlihat kemajuan dalam pemahaman tentang bagaimana pengaruh kimia dari kinerja emulsi yang terjadi. Akibatnya formulasi dapat dikembangkan untuk mengoptimalkan kinerja dari bahan konstruksi atau proses konstruksi yang bukan hanya untuk

memenuhi spesifikasi standar tetapi lebih dari itu yakni mudah dalam perawatan, cepat kering dan bahan dingin yang dicampur memiliki sifat yang lebih baik.

2.2.1. Definisi Emulsi

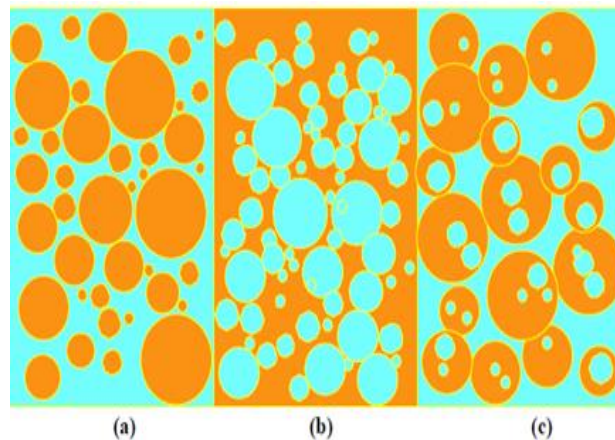
Menurut Alan James, *Overview of Asphalt Emulsion, Transportation Research Circular E-C102*, 2006 menyatakan bahwa emulsi adalah fase terdispersi dari suatu cairan kedalam cairan lain. Contoh umum dalam kehidupan sehari-hari seperti susu, mentega, mayones, dan krim kosmetik. Emulsi dapat dibentuk oleh dua cairan yang tidak bercampur, tetapi dalam banyak kasus, emulsi adalah suatu peristiwa yang merupakan salah satu fase air. Secara umum, emulsi dapat dikategorikan menjadi :

1. Minyak dalam air (O /W), emulsi adalah suatu yang berasal dari fase lanjutan yang di dispersi di dalam cairan berminyak.
2. Air dalam minyak (W /O) ‘terbalik’, emulsi adalah suatu yang mempunyai fase kontinyu yaitu minyak dan fase dispersi air.
3. W/O/W, emulsi adalah beberapa tetesan aspal mungkin berisi tetesan air kecil dalam aspalemulsi yang dapat memiliki struktur yang lebih kompleks. Viskositas emulsi dan terutama perubahan viskositas emulsi selama penyimpanan sangat dipengaruhi oleh fase internal air (6,7).

Dalam beberapa emulsi, fase disperse mengandung fase lain yang mungkin tidak memiliki komposisi yang sama sebagai fase berkelanjutan. Hal ini ditunjukkan pada Gambar 2.1. Aspal standar (aspal) emulsi biasanya bagian dari O / W jenis dan mengandung dari 40% sampai 75% aspal, 0,1% sampai 2,5% pengemulsi, 25%

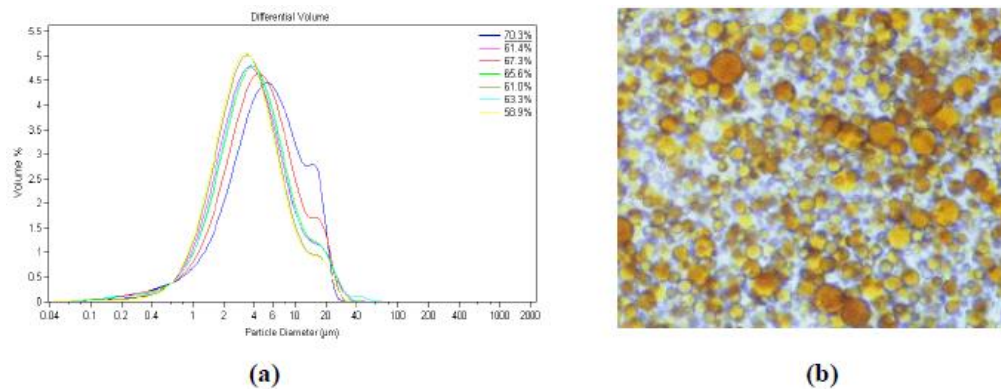
sampai 60% air ditambah beberapa minor komponen. Tetesan aspal berkisar 0,1-20 mikron diameter. Emulsi dengan ukuran partikel dalam kisaran ini kadang-kadang disebut sebagai *macroemulsions*. *Macroemulsions* adalah cairan coklat dengan konsistensi dari susu krim ganda, yang sebagian besar tergantung pada kadar aspal dan ukuran partikel.

Ada beberapa distribusi ukuran partikel dalam emulsi dan distribusi ini dipengaruhi oleh komposisi emulsi dan alat yang digunakan dalam memproduksi emulsi. Ukuran partikel dan distribusi ukuran partikel dari tetesan emulsi ini sangat mempengaruhi sifat fisik emulsi, seperti viskositas dan stabilitas penyimpanan. Rata-rata ukuran partikel yang lebih besar dapat menurunkan viskositas emulsi, seperti halnya distribusi ukuran partikel yang luas atau bimodal. Ukuran partikel juga mempengaruhi kinerja emulsi. Hal ini dapat ditunjukkan pada Gambar 2.2.



Gambar 2.1. Tipe dari beberapa emulsi (a) Emulsi O/W , (b) Emulsi W/O, dan (c) Emulsi W/O/W

Sumber : Alan James, *Overview of Asphalt Emulsion, Transportation Research Circular E-C102*, 2006.



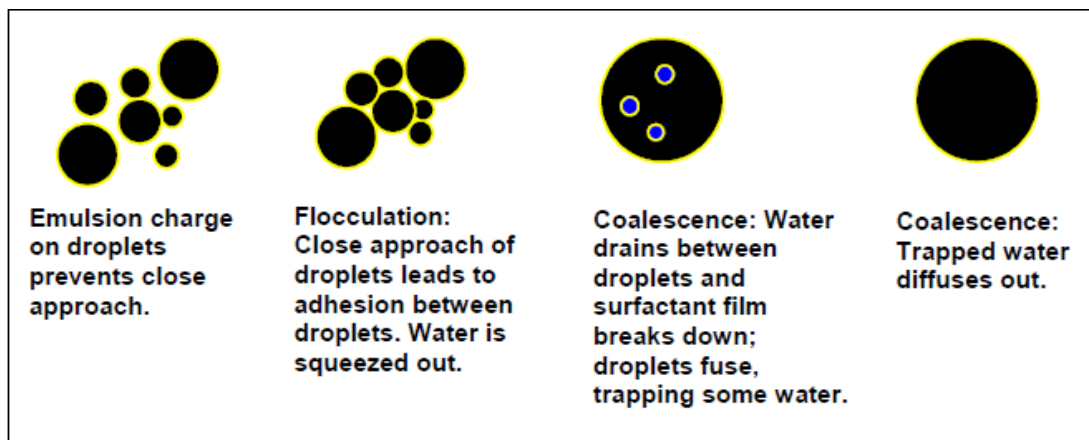
Gambar 2.2. (a) Distribusi ukuran partikel aspal emulsi dan (b) Mikrograf dari aspal emulsi

Sumber : Alan James, *Overview of Asphalt Emulsion, Transportation Research Circular E-C102, 2006*

Secara umum, ukuran partikel yang lebih kecil dapat meningkatkan kinerja dari campuran dan aplikasi di lapangan. Beberapa perkembangan terbaru dalam teknologi aspal emulsi aspal telah dapat dikembangkan kemampuan untuk mengontrol ukuran partikel dan distribusi ukuran emulsi selama proses emulsifikasi terjadi dan akibatnya dapat mempengaruhi sifat emulsi. *Macroemulsions* secara inheren tidak stabil. Selama periode waktu, mungkin beberapa jam atau beberapa tahun, fase aspal akhirnya akan terpisah dari air. Aspal tidak larut dalam air dan pemecahan emulsi akan melibatkan fusi tetesan. Dapat terlihat dalam Gambar 2.3.

Waktu lapisan air antara tetesan di *floccules* akan menipis dan tetesan akan menyatu. Koalesensi tersebut tidak dapat dibalik. Faktor-faktor yang dapat memaksa tetesan bersatu adalah ketika penurunan percepatan gravitasi, penguapan air, geser atau pembekuan akan mempercepat flokulasi dan proses peleburan, seperti halnya

yang dapat mengurangi muatan pada tetesan. Viskositas rendah aspal dapat menyatu lebih cepat dibandingkan aspal dengan viskositas yang tinggi. Tentu saja, akhirnya kita ingin tetesan emulsi dapat menyatu setelah aspal emulsi telah bergabung dengan agregat dan telah digunakan sebagai perkerasan jalan.



Gambar 2.3. Tahapan dalam pemecahan emulsi

Sumber : Alan James, *Overview of Asphalt Emulsion, Transportation Research Circular E-C102*, 2006.

2.2.2. Klasifikasi dan Pemberian Nama Emulsi

Aspal emulsi dapat dikelompokkan menurut jenis muatan listriknya dan menurut kecepatan pengerasannya. Berdasarkan muatan listrik yang dikandungnya, aspal emulsi dapat dibedakan menjadi (Martens and Borgfeldt, 1985) :

1. Aspal emulsi kationik atau disebut aspal emulsi asam adalah aspal emulsi yang bermuatan positif. Pada saat ini aspal emulsi yang umum digunakan di Indonesia adalah aspal emulsi kationik, karena aspal emulsi tipe ini cocok dengan hampir semua batuan (agregat) yang ada di Indonesia. Aspal emulsi yang termasuk jenis

aspal emulsi kationik yang cocok digunakan untuk membuat campuran dingin adalah CSS-1, CSS-1h, CMS-2 dan CMS-2h. Tingkatan aspal emulsi berdasarkan ASTM dan AASHTO dapat dilihat pada Tabel 2.1. (Ridwan Hadi Rianto, 2007). Spesifikasi aspal emulsi kationik dapat dilihat pada Tabel 2.2.

2. Aspal emulsi anionik atau disebut aspal emulsi alkali adalah aspal emulsi yang bermuatan negatif dan banyak digunakan untuk melapisi batuan basa. Berdasarkan proporsi emulsifier yang digunakan, aspal emulsi anionik dibedakan dalam beberapa kelas seperti yang diberikan dalam Tabel 2.3. (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Departemen Pekerjaan Umum, 2006).
3. Aspal emulsi monionik merupakan aspal yang tidak bermuatan listrik.

Tabel 2.1. Tingkatan aspal emulsi berdasarkan ASTM dan AASHTO

Aspal emulsi	Aspal emulsi kationik
RS-1	CRS-1
RS-2	CRS-2
MS-1	CMS
MS-2	2
MS-2h	CMS-2h
H FMS-1	-
H-FMS-2	-
H FMS-2h	-
H FMS-2s	-
SS-1	CSS-1
SS-2	CSS-1h

Sumber : Bina Marga, 1991

Tabel 2.2. Spesifikasi aspal emulsi kationik

No	Sifat-Sifat	Pengikatan Cepat (CRS 1)		Pengikatan Cepat (CMS 2)		Pengikatan Cepat (CSS 1)	
		Min	Mak	Min	Mak	Min	Mak
1	Kekentalan pada suhu 25°C (detik)	-	-	-	-	20	100
2	Kekentalan pada suhu 50°C (detik)	20	100	50	450	-	-
3	Pengendapan 1 hari (%)	-	1	-	1	-	1
4	Pengendapan 5 hari (%)	-	5	-	5	-	5
5	Daya tahan terhadap air (%)	-	-	80	100	-	-
6	a. Lapisan batu kering	-	-	60	80	-	-
	b. Lapisan batu kering setelah semprotan	-	-	60	80	-	-
	c. Lapisan batu basah	-	-	60	80	-	-
	d. Lapisan setelah semprotan air						
7	Muatan listrik	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif	Positif
8	a. Sisa penyulingan (%)	55	-	65	-	57	-
	b. Penetrasi 25/C 100g, 5 dtk	100	250	100	250	100	250
	c. Daktilitas 25/C, 5 cm/menit (cm)	40	-	40	-	40	-
	d. Kelarutan terhadap trichloroethylene (% berat)	97.5	-	97.5	-	97.5	-

Sumber : SNI 03-6832-2002

Tabel 2.3. Tingkatan aspal emulsi anionik

Aspal Emulsi	Aspal Emulsi Anionik
RS-1	RS-1
RS-2	RS-2
MS-1	MS-1
MS-2	MS-2
MS-2h	MS-2h
H FMS-1	HFMS-1
H-FMS-2	HFMS-2
H FMS-2h	HFMS-2h
H FMS-2s	HFMS-2s
SS-1	SS-1
SS-2	SS-1h

Sumber : *The Asphalt Institute*, ES, 1983

Huruf RS, MS dan SS dalam Tabel 2.3. menyatakan kecepatan pematangan (*setting*) aspal emulsi tersebut, yaitu cepat mantap (RS = *rapid setting*), mantap sedang (MS = *medium setting*) dan lambat mantap (*slow setting*). Sedangkan huruf 'C' menyatakan bahwa aspal emulsi ini adalah jenis kationik atau bermuatan listrik positif. Huruf 'h' dan 's' yang terdapat pada akhir simbol aspal emulsi menyatakan bahwa aspal ini dibuat dengan menggunakan aspal keras yang lebih keras (h = *harder*) atau yang lebih lunak (s = *softer*).

Huruf HF yang dicantumkan pada awal simbol aspal emulsi anionik menunjukkan bahwa aspal ini memiliki kemampuan mengembang yang tinggi (HF = *high float*). Tingkat pengembangan ini dapat diukur melalui uji pengembangan berdasarkan AASHTO T-50. Aspal emulsi kode ini dapat digunakan pada pekerjaan yang menuntut penggunaan film aspal yang tebal dengan tidak menimbulkan resiko

pengaliran kembali aspalnya (*drainage off*). Seperti halnya aspal cair, aspal emulsi dapat digunakan juga baik sebagai bahan pengikat pada campuran beraspal maupun sebagai lapis resap pengikat (*prime coat*) dan lapis perekat (*tack coat*). Dalam penggunaannya, pemanasan untuk menurunkan tingkat kekentalan aspal ini mungkin tidak diperlukan.

Berdasarkan kecepatan pengerasannya, aspal emulsi dibedakan menjadi (Hendarsin, 2000 dalam Mutohar, Y., 2002; Atkins, 1997):

- a. Aspal emulsi RS (*Rapid Setting*), direncanakan mempunyai tingkat reaksi yang cepat dengan agregat penyertanya dan berubahnya emulsi ke aspal. Jenis RS akan menghasilkan lapisan film yang relatif tebal.
- b. Aspal emulsi MS (*Medium Setting*), direncanakan memiliki tingkat pencampuran medium dengan sasaran agregat kasar. Karena jenis ini tidak akan memecah jika berhubungan dengan agregat, maka campuran jenis ini akan tetap dapat dihamparkan dalam beberapa menit.
- c. Aspal emulsi SS (*Slow Setting*), jenis ini direncanakan untuk hasil pencampurannya yang memiliki stabilitas tinggi. Jenis ini digunakan dengan agregat bergradasi padat dan mengandung kadar agregat halus yang tinggi.

2.2.3. Aplikasi Emulsi

Beberapa aplikasi dari berbagai tingkatan emulsi diperlihatkan pada Tabel 2.4. dalam penggunaan yang bervariasi. Pilihan emulsi untuk berbagai aplikasi merupakan suatu hal yang berhubungan dengan reaktivitas emulsi dengan reaktivitas agregat dan kondisi lingkungan yang terjadi.

Tabel 2.4. Tipe penggunaan aspal emulsi

	Anionik			Kationik		
	RS	MS	SS	RS	MS	SS
Mixes tanaman						
Gradasi terbuka		✓ a			✓ a	
Gradasi padat			✓			✓
Reklamasi jalan aspal		✓				✓
Persediaan campuran		✓ a			✓ a	
Lapisan kepingan					✓	✓
Campuran perkerasan						
Gradasi terbuka					✓	
Pasta			✓			✓ b
Pasta untuk capeseal			✓			✓ b
Microsurfacing						✓ b
Dalam-tempat Campuran						
RAP		✓ a			✓ a	✓
Gradasi padat			✓			✓
Stabilisasi tanah			✓			✓
Aplikasi semprot						
Chipseal	✓			✓		
Kabut segel-pemeraman semen		✓		✓	✓	
Tack coat		✓ a	✓		✓ a	✓
Unggul			✓			✓ a
Debu paliatif			✓			✓
Mulch			✓			
Penetrasi macadam				✓		
Lainnya						
Pelapis waterproofing			✓			
Jalan dan jalan setapak sealers			✓			✓ c

a mungkin berisi pelarut

b tidak perlu lulus tes campuran semen

c mungkin berisi tanah liat

Sumber : Alan James, *Overview of Asphalt Emulsion, Transportation Research Circular E-C102*, 2006.

Sebagian besar reaktivitas agregat terkait dengan fraksi yang sangat baik mengenai ukuran atau gradasi yang dapat memberikan kontribusi terbesar terhadap campuran aspal. Jadi emulsi yang reaktif jenis RS (*rapid setting*) digunakan pada daerah yang permukaannya rendah sedangkan agregat yang tidak aktif dapat digunakan dalam chip seal, sedangkan emulsi yang reaktifnya rendah jenis SS akan digunakan untuk campuran padat dingin yang memiliki tinggi isi -75 bahan mikron dan akibatnya reaktivitas menjadi tinggi. Kondisi lingkungan juga harus diperhitungkan. Suhu yang tinggi akan mempercepat reaksi kimia dan proses fisika yang terlibat dalam pembuatan emulsi, dan karena itu menuntut pembuatan emulsi yang lebih lambat agar viskositas menunjukkan nilai yang sesuai dengan standar yang telah ditetapkan. Campuran aspal emulsi, yang dibentuk hanya mengandalkan bahan emulsifier untuk merekatkan antar agregat penyusunnya, tidak membutuhkan peralatan yang kompleks dan pekerjaan yang rumit, sehingga pada akhirnya dapat menurunkan harga pengadaan campuran secara keseluruhan. Cara pencampuran yang selama ini paling banyak dipakai yaitu pencampuran panas atau *hot mix*; campuran ini membutuhkan biaya yang mahal sebab membutuhkan peralatan dan pekerja yang banyak. Mahalnya penyediaan peralatan dan pekerja akan menyebabkan peningkatan harga campuran aspal secara keseluruhan. Karenanya alternatif lain dari campuran aspal panas diperlukan keberadaannya guna menekan biaya. Salah satu alternatifnya adalah campuran aspal dingin atau yang dikenal dengan campuran aspal emulsi. Sebagai pengganti dari panas, pada campuran aspal emulsi digunakan suatu media lain yaitu air yang berfungsi sebagai katalisator. Tetapi karena air memiliki sifat non

polar sedangkan aspal bersifat polar, maka diperlukan unsur lain yang mempunyai sifat keduanya sekaligus yaitu sifat polar dan non polar. Unsur yang memiliki sifat keduanya disebut unsur pengemulsi (emulsifier) atau agen pencampur (*flux agent*).

2.2.4. Pengujian Emulsi

Kebanyakan metode uji telah diterima sebagai standar ASTM dan SNI. Pengujian terbagi ke dalam tiga kelompok: pengujian mengenai penanganan sifat emulsi, seperti kandungan residu, viskositas, stabilitas penyimpanan dan tertahan saringan no. 20. Pengujian yang mengklasifikasikan emulsi menjadi cepat mantap (*rapid setting*), mantap sedang (*medium setting*) atau lambat mantap (*slow setting*), seperti demulsibility, uji campuran semen dan coating tes sertates pada residu ditemukan pada penguapan, seperti penetrasi atau daktilitas. Emulsi dapat digunakan untuk menambah fungsi emulsi yang terkait dengan aplikasi tertentu seperti dalam campuran dingin, chip seal, dll, yang menggunakan agregat dalam pekerjaan dan pelaksanaannya.

2.3. Aspal Buton

Aspal Buton merupakan aspal alam yang berada di Indonesia, yaitu di Pulau Buton, Sulawesi Tenggara. Asbuton atau Aspal batu Buton ini pada umumnya berbentuk padat yang terbentuk secara alami akibat proses geologi. Proses terbentuknya asbuton berasal dari minyak bumi yang terdorong muncul ke permukaan menyusup di antara batuan yang *porous*. (Dept. PU, 2006). Diperkirakan deposit Asbuton sekitar 60.991.554,38 ton atau setara dengan 24.352.833,07 barel minyak. (Tjaronge, 2012).

Menurut Nyoman Suaryana (2008), Kebutuhan aspal nasional Indonesia sekitar 1,2 juta ton pertahun. Dari kebutuhan ini, baru 0,6 juta ton saja yang dapat dipenuhi oleh PT. Pertamina sedangkan sisanya dipenuhi melalui impor. Sementara ketersediaan aspal minyak semakin terbatas dan harga yang cenderung naik terus seiring dengan harga pasar minyak mentah dunia. Untuk menjawab kendala di atas, maka salah satu alternatif yang menjanjikan adalah penggunaan aspal buton yaitu asbuton sebagai bahan substitusi aspal minyak. Pada saat ini teknologi Asbuton telah berkembang pesat meliputi asbuton butir, asbuton pra-campur dan asbuton ekstraksi. Hasil kajian terhadap uji skala penuh di Kolaka Sulawesi Tenggara menunjukkan bahwa asbuton mempunyai kemampuan dapat mensubstitusi aspal minyak serta dapat memperbaiki kinerja campuran beraspal.

Kadar bitumen dalam Asbuton bervariasi dari 10% sampai 40%. Pada beberapa lokasi ada pula Asbuton dengan kadar bitumen sampai 90%. Bitumen asbuton memiliki kekerasan yang bervariasi. Asbuton dari Kabungka umumnya memiliki bitumen dengan nilai penetrasi di bawah 10 dmm sedangkan Asbuton dari Lawele umumnya memiliki bitumen dengan nilai penetrasi di atas 130 dmm dan mengandung minyak ringan sampai 7%. Apabila minyak ringan pada Asbuton Lawele diuapkan, nilai penetrasi bitumen turun hingga dibawah 40 dmm. Dilihat dari komposisi senyawa kimia, bitumen Asbuton relatif memiliki senyawa nitrogen yang lebih tinggi dan senyawa parafin yang lebih rendah dibanding aspal minyak sehingga dibandingkan aspal minyak maka dimungkinkan daya lekat bitumen Asbuton relatif

lebih baik. Kecenderungan komposisi kimia bitumen Asbuton dan aspal minyak disajikan pada Tabel 2.5.

Tabel 2.5. Tipikal hasil analisa kimia bitumen Asbuton dan aspal minyak menurut Puslitbang

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

Sumber : Departemen Pekerjaan Umum (2007)

Untuk dapat digunakan sebagai bahan perkerasan, ada beberapa persyaratan yang harus dipenuhi Aspal Buton Granular. Spesifikasi yang disyaratkan oleh Departemen Pekerjaan Umum ditunjukkan pada Tabel 2.6.

Asbuton butir dapat diproduksi dengan berbagai ukuran. Dilihat dari segi kemudahan mobilisasi bitumen, makin kecil ukuran butir maka makin mudah bitumen Asbuton termobilisasi dalam campuran beton aspal, baik pada campuran aspal panas maupun campuran aspal dingin. Pada Asbuton campuran panas, pada prinsipnya Asbuton butir dengan jumlah tertentu dimasukkan ke dalam campuran beraspal panas aspal minyak. Fungsi Asbuton pada campuran tersebut adalah sebagai bahan tambah (*additive*) dan sebagai bahan substitusi aspal minyak. Sebagai bahan

tambah, Asbuton diharapkan akan meningkatkan karakteristik aspal minyak dan karakteristik campuran beraspal terutama agar memiliki ketahanan terhadap beban lalu lintas dan kepekaan terhadap temperatur panas di lapangan yang lebih baik.

Tabel 2.6. Ketentuan Aspal Buton Granular

Sifat - Sifat Asbuton	Metode Pengujian	Tipe			
		5/20	15/20	15/25	20/25
Kadar Bitumen Asbuton; %	SNI 03-3640-1994	18-22	18-22	23-27	23-27
Ukuran butir asbuton butir					
Lolos ayakan No.4 (4,75 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	100
Lolos ayakan No.8 (2,36 mm); %	SNI 03-1968-1990	100	100	100	Min 95
Lolos ayakan No.16 (1,18mm); %	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 25,100 g, 0,5 detik ; 0,1 mm	SNI 06-2456-1991	≤10	10-18	10-18	19-22

Sumber: Departemen Pekerjaan Umum (2007)

Aspal buton dapat digunakan antara lain untuk :

1. Perkerasan/lapisan permukaan sebagai pengganti aspal minyak.
2. Asbuton *Tile* (Tegel Asbuton)
3. *Block* Asbuton antara lain untuk trotoar.

4. Mengekstraksi bitumen dari asbuton.
5. Melapis bendung/embung agar kedap air.

Asbuton cocok untuk konstruksi berat karena aspal hasil ekstraksi dari asbuton tidak mengandung parafin dan sedikit kadar sulfur sehingga kualitasnya lebih tinggi. Pengolahan dengan pemanas putardengan hasilnya berupa aspal butiran (*BGA/Buton Granule Asphalt*) dengan kandungan bitumen antara 20 hingga 25%. Aspal Buton dapat digunakan sebagai lapis permukaan jalan, fondasi atas jalan (*asphalt treated base*) dan fondasi bawah jalan (*asphalt treated sub base*) yang dapat dilakukan dengan cara campuran panas (*hot mix*) atau campuran dingin (*cold mix*).

Asbuton terdiri dari mineral dan bitumen. Mineral Asbuton didominasi oleh “*Globigerines limestone*” yaitu batu kapur yang sangat halus yang terbentuk dari jasad renik binatang purba foraminifera mikro yang mempunyai sifat sangat halus, relatif keras, berkadar kalsium karbonat tinggi dan baik sebagai *filler* pada beton aspal. Namun dalam Asbuton, mineral dapat dianggap sebagai gumpalan-gumpalan *filler* yang membentuk butiran besar dan poros yang tidak mudah dihaluskan menjadi *filler* tetapi juga tidak cukup keras untuk dianggap sebagai butiran agregat. Kendala yang dapat ditimbulkan oleh keadaan seperti ini, sebagaimana yang terjadi pada campuran Asbuton yang digunakan di era tahun 80-an yang dikenal dengan campuran Lasbutag, yaitu mineral Asbuton yang pada awal pencampuran berupa butiran besar berubah menjadi kantong-kantong butiran yang lebih halus (*filler*) setelah mengalami masa pelayanan. Atau kasus lain, di lapangan sering kali ditemui campuran lasbutag yang pada awal penghamparan tampak cukup baik namun terjadi *bleeding* setelah

masa pelayanan tertentu. Hal ini dapat disebabkan oleh mineral Asbuton, yang pada awalnya berupa butiran besar/kasar dan poros, menyerap bahan peremaja tetapi kemudian setelah masa pelayanan tersebut berubah menjadi butiran-butiran halus dengan melepas bahan peremaja yang diserapnya dan campuran menjadi lebih padat sehingga aspal terdesak keluar. Dilihat dari komposisi kimianya, bitumen Asbuton memiliki senyawa nitrogen base yang tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa bitumen Asbuton memiliki pelekatan yang baik. Namun dilihat dari karakteristik lainnya, bitumen Asbuton memiliki nilai penetrasi yang rendah dan getas. Agar Asbuton dapat dimanfaatkan di bidang perkerasan jalan maka pada prinsipnya bitumen harus diusahakan sedemikian rupa sehingga memiliki karakteristik mendekati karakteristik aspal minyak (aspal keras) untuk perkerasan jalan. Untuk maksud tersebut maka diperlukan bahan peremaja yang dapat membuat bitumen Asbuton memiliki karakteristik seperti yang disyaratkan untuk aspal minyak secara permanen.

2.4. Agregat

Agregat merupakan partikel mineral yang digunakan sebagai bahan campuran pada berbagai jenis campuran melekat seperti beton, pondasi dasar jalan, campuran aspal, dan lain-lain (Atkins, H.N., PE., 1997). Agregat merupakan komponen pokok dalam perkerasan aspal bahkan persentasenya mencapai 90% - 95% dari berat keseluruhan campuran atau sekitar 77% - 85% terhadap persentase volume (Mutohar, Y., 2002).

Agregat atau batu, atau granular material adalah material berbutir yang keras dan kompak. Istilah agregat mencakup antara lain batu bulat, batu pecah, abu batu, dan pasir. Agregat mempunyai peranan yang sangat penting dalam prasarana transportasi, khususnya dalam hal ini pada perkerasan jalan. Daya dukung perkerasan jalan ditentukan sebagian besar oleh karakteristik agregat yang digunakan. Pemilihan agregat yang tepat dan memenuhi persyaratan akan sangat menentukan dalam keberhasilan pembangunan atau pemeliharaan jalan (Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas, Departemen Pekerjaan Umum). Agregat sebagai salah satu faktor penentu kemampuan perkerasan jalan memikul lalu lintas dan daya tahan terhadap cuaca. Pemakaian agregat sebagai bahan perkerasan jalan perlu diperhatikan mengenai gradasi, kebersihan, kekerasan dan ketahanan agregat, bentuk butir tekstur permukaan, porositas, absorpsi, berat jenis dan daya kelekatan aspal.

Persyaratan agregat berdasarkan SNI 1737-1989-F adalah :

1. Agregat Kasar
 - a. Agregat kasar harus terdiri dari batu pecah, atau kerikil pecah yang bersih, kering, kuat, awet dan bebas dari bahan lain yang tidak diperlukan.
 - b. Keausan pada 500 × putaran mesin Los Angeles, maksimum 40%.
 - c. Kelekatan dengan aspal minimum 95%.
 - d. Jumlah berat butiran tertahan no. 4 yang mempunyai paling sedikit dua bidang pecah min. 50 % (khusus partikel pecah).
 - e. Indeks kepipihan tertahan 9,5 mm atau 3/8” maks 25%.
 - f. Penyerapan air maksimum 3 %.

- g. Berat jenis curah (*bulk*) min. 2,5 (khusus terak).
 - h. Bagian yang lunak maksimum 5%.
2. Agregat Halus
- a. Agregat halus, harus dari pasir alam, pasir terak, pasir buatan, atau gabungan dari bahan tersebut.
 - b. Agregat halus harus bersih, kuat, kering, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu, serta terdiri dari butir yang bersudut tajam dan permukaan kasar.
 - c. Agregat halus yang berasal dari batu kapur pecah, hanya boleh digunakan apabila dicampur dengan pasir alam dengan perbandingan yang sama, kecuali dari pengalaman ternyata akibat lalu lintas, bahan tersebut tidak mudah licin.
 - d. Agregat yang berasal dari hasil pemecahan batu, harus berasal dari batuan induk, yang memenuhi persyaratan agregat kasar.
 - e. Agregat halus harus mempunyai angka ekivalen pasir minimum 50%.
3. Bahan Pengisi
- a. Bahan pengisi harus dari abu batu, abu batu kapur, kapur padam, semen atau bahan non-plastis lainnya. Bahan pengisi juga biasanya berupa abu terbang atau *fly ash* dari hasil limbah pembangkit listrik yang menggunakan batu bara.
 - b. Bahan pengisi harus kering, dan bebas dari bahan lain yang mengganggu, dan bila diperiksa dengan analisa saringan secara kering maupun secara basah memenuhi gradasi yang diperlihatkan pada Tabel 2.7., yang mana menggunakan saringan no. 30, no. 50, no. 100 dan no. 200.

Tabel 2.7. Persyaratan Bahan Pengisi

Sifat umum	Kadar air	Maks. 1 %
	Gumpalan partikel	Tidak ada
	Bukaan saringan (mm)	% Lolos saringan
Gradasi	No. 30 (0,59 mm)	100
	No. 50 (0,279 mm)	90 - 100
	No. 100 (0,149 mm)	90 - 100
	No. 200 (0,074 mm)	65 - 100

Sumber : SNI 1737-1989-F

Kualitas suatu agregat sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat yang dikandungnya. Diantara sifat-sifat yang ada yaitu *strength* atau kekuatan, *durability* atau keawetan, *adhesiveness* atau daya rekat terhadap aspal dan *workability* atau kemudahan dalam pelaksanaan.

Kombinasi dari berbagai ukuran agregat (gradasi) merupakan salah satu faktor penting yang dapat mempengaruhi nilai porositas/*void in mix*, permeabilitas campuran, serta stabilitas perkerasan dengan beban di atasnya.

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan *workability* (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas campuran. Untuk menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak, diperlukan suatu pemahaman bagaimana ukuran partikel dan gradasi agregat diukur.

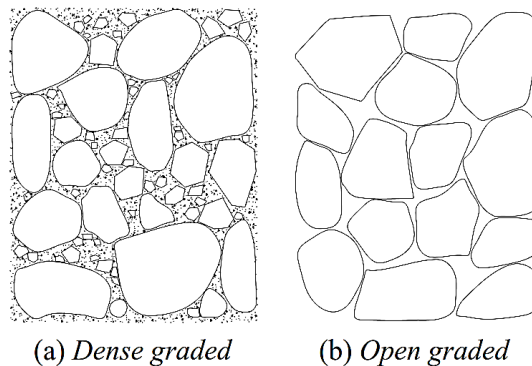
Gradasi agregat dapat dibedakan atas beberapa macam, yaitu gradasi terbuka (*open graded*) dan gradasi rapat (*dense graded*). (Ferguson, 2005).

a. Gradasi terbuka (*open graded*)

Stabilitas campuran bergradasi terbuka berasal dari sifat saling mengunci antar partikel agregat yang berukuran sama, terutama pada bagian permukaan agregat yang datar. Sifat-sifat dari gradasi jenis ini yaitu terdapat pori di antara partikel, sangat permeabel, dan berdrainase baik. Campuran bergradasi terbuka dapat bersifat non-plastik dan tidak rentan terhadap kerusakan yang disebabkan oleh partikel uap air.

b. Gradasi rapat (*dense graded*)

Pada campuran dengan gradasi rapat, terdapat partikel besar yang saling mengunci satu sama lain, sementara partikel halus mengisi rongga di antara partikel berukuran besar. Sifat dari gradasi jenis ini yaitu dapat menghasilkan campuran yang sangat padat, sedikit permeabel dan sangat stabil, namun rentan terhadap partikel uap air karena tingkat kelembaban pada pori-porinya relatif kecil. Gambar di bawah ini menunjukkan perbedaan gradasi terbuka (b) dan gradasi rapat (a).



Gambar 2.4. Jenis-jenis gradasi agregat

Sumber : *Porous Pavement* (Bruce K. Ferguson, 2005)

Gradasi agregat ditentukan oleh analisa saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inchi persegi dari saringan tersebut. Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tetahan pada masing-masing saringan.

2.5. Pengujian Aspal dengan Metode *Marshall*

Metode Marshall

Rancangan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, dan telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Prinsip dasar metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang dilengkapi dengan proving ring (cincin penguji) berkapasitas 22,2 KN (5000 lbs) dan *flow meter*. Proving ring digunakan untuk mengukur nilai stabilitas, dan *flow meter* untuk mengukur kelelahan plastis atau *flow*. Benda uji Marshall berbentuk silinder berdiameter 4 inchi (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inchi (6,35 cm). Prosedur pengujian Marshall mengikuti SNI 06-2489-1991, AASHTO T 245-90 atau ASTM D 1559-76. Secara garis besar pengujian Marshall meliputi : persiapan benda uji, penentuan berat jenis bulk dari benda uji, pemeriksaan nilai stabilitas dan *flow*, dan

perhitungan sifat volumetrik benda uji. Pada persiapan benda uji, ada beberapa hal yang perlu diperhatikan antara lain:

1. Jumlah benda uji yang disiapkan.
2. Persiapan agregat yang akan digunakan.
3. Penentuan temperatur pencampuran dan pemadatan.
4. Persiapan campuran aspal beton.
5. Pemadatan benda uji.
6. Persiapan untuk pengujian Marshall.

Jumlah benda uji yang disiapkan ditentukan dari tujuan dilakukannya uji *Marshall* tersebut. AASHTO menetapkan minimal 3 buah benda uji untuk setiap kadar aspal yang digunakan. Agregat yang akan digunakan dalam campuran dikeringkan di dalam oven pada temperatur 105-110°C. Setelah dikeringkan agregat dipisah-pisahkan sesuai fraksi ukurannya dengan menggunakan saringan. Temperatur pencampuran bahan aspal dengan agregat adalah temperatur pada saat aspal mempunyai viskositas kinematis sebesar 170 ± 20 centistokes, dan temperature pemadatan adalah temperatur pada saat aspal mempunyai nilai viskositas kinematis sebesar 280 ± 30 centistokes. Karena tidak diadakan pengujian viskositas kinematik aspal maka secara umum ditentukan suhu pencampuran berkisar antara 145 °C-155 °C, sedangkan suhu pemadatan antara 110 °C-135 °C. Prinsip dasar dari metode *Marshall* adalah pemeriksaan stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran yang telah didapat dari

hasil uji gradasi, sesuai spesifikasi campuran. Pengujian *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 atau AASHTO T245-90. Dari hasil gambar hubungan antara kadar aspal dan parameter *Marshall*, maka akan diketahui kadar aspal optimumnya.

Pengujian *Marshall* dilakukan untuk mengetahui nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*), serta analisa kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk. Dalam hal ini benda uji atau briket beton aspal padat dibentuk dari gradasi agregat campuran tertentu, sesuai spesifikasi campuran. Metode *Marshall* dikembangkan untuk rancangan campuran aspal beton. Sebelum membuat briket campuran aspal beton maka perkiraan kadar aspal optimum dicari dengan menggunakan rumus pendekatan. Setelah menentukan proporsi dari masing-masing fraksi agregat yang tersedia, selanjutnya menentukan kadar aspal total dalam campuran. Kadar aspal total dalam campuran beton aspal adalah kadar aspal efektif yang membungkus atau menyelimuti butir-butir agregat, mengisi pori antara agregat, ditambah dengan kadar aspal yang akan terserap masuk ke dalam pori masing-masing butir agregat. Setelah diketahui estimasi kadar aspalnya maka dapat dibuat benda uji. Untuk mendapatkan kadar aspal optimum umumnya dibuat 15 buah benda uji dengan 5 variasi kadar aspal yang masing-masing berbeda 0,5%. Sebelum dilakukan pengujian *Marshall* terhadap briket, maka dicari dulu berat jenisnya dan diukur ketebalan dan diameternya di tiga sisi yang berbeda. Melakukan uji *Marshall* untuk mendapatkan stabilitas dan kelelahan (*flow*) benda uji mengikuti prosedur SNI 06-2489-1991 AASHTO T245-90. Parameter *Marshall* yang dihitung antara lain: VIM, VMA, VFA, berat volume

dan parameter lain sesuai parameter yang ada pada spesifikasi campuran. Setelah semua parameter briket didapat, maka digambar grafik hubungan kadar aspal dengan parameternya yang kemudian dapat ditentukan kadar aspal optimumnya. Kadar aspal optimum adalah nilai tengah dari rentang kadar aspal yang memenuhi *Marshall* test modifikasi. Modifikasi alat Marshall ini terletak pada alat pemegang benda uji. Kalau pada uji *Marshall* konvensional benda uji merupakan silinder dengan diameter 10 cm, maka pada alat *Marshall* modifikasi ini benda uji berupa balok yang terbuat dari campuran beton aspal.

Bahan yang digunakan telah memenuhi spesifikasi. Kombinasi agregat memenuhi gradasi yang disyaratkan. Untuk keperluan analisa volumetrik (*density-voids*), berat jenis bulk dari semua agregat yang digunakan pada kombinasi agregat, dan berat jenis aspal keras harus dihitung terlebih dahulu. Jumlah benda uji, minimum tiga buah untuk masing-masing kombinasi. Oven dalam kaleng (loyang) agregat yang sudah terukur gradasi dan sifat mutu lainnya, sampai temperatur yang diinginkan. Panaskan aspal terpisah sesuai panas yang diinginkan pula. Cetakan dimasukkan dalam oven dengan temperatur 930°C. Campur agregat dan aspal sampai merata. Keluarkan dari oven cetakan dan siapkan untuk pengisian campuran, setelah campuran dimasukkan kedalam cetakan tusuk-tusuk dengan spatula 10 x bagian tengah dan 15 x bagian tepi. Tumbuk 2×75 kali dan keluarkan benda uji dari mold dengan *Extruder* pada kondisi dingin. Diamkan contoh satu malam, kemudian periksa berat isinya. Langkah pengujian : Rendam dalam *water bath* pada temperatur 60°C selama 30 menit dan keringkan permukaan benda uji serta letakkan pada tempat yang

tersedia pada alat uji *Marshall*. Setelah dial pembacaan stabilitas dan kelelahan yang telah terpasang pada alat *Marshall*. Lakukan pengujian *Marshall* dengan menjalankan mesin penekan dengan kecepatan deformasi konstan 51 mm (2 in.) per menit sampai terjadi keruntuhan pada benda uji. Baca dan catat besar angka pada dial untuk memperoleh nilai stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) Dengan faktor koreksi dan kalibrasi proving ring pada alat *Marshall* dapat diperoleh nilai stabilitas dan kelelahan (*flow*).

Karakteristik Metode *Marshall*

Unit weight merupakan berat volume kering campuran yang menunjukkan kepadatan campuran beton aspal. Campuran dengan kepadatan yang tinggi akan mempunyai kemampuan menahan beban yang lebih tinggi daripada campuran dengan kepadatan rendah.

VIM (*Voids In Mix*) merupakan volume pori dalam campuran yang telah dipadatkan atau banyaknya rongga udara yang berada dalam campuran. Dalam hal ini perhitungan volume sampel tidak dilakukan dengan perendaman sampel dalam air dikarenakan berat kering permukaan jenuh (SSD) pada aspal beton tidak akan terjadi sebagai akibat dari porusnya campuran.

Stability (stabilitas) adalah indikator dari parameter campuran hasil uji *Marshall* yang menjelaskan kemampuan lapis aspal beton untuk menahan deformasi atau perubahan bentuk akibat beban lalu lintas yang bekerja pada lapis perkerasan tersebut. Nilai stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan campuran beton aspal

terhadap terjadinya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur (rutting) maupun bleeding. Semakin rendah nilai stabilitas campuran, menunjukkan semakin rendahnya kinerja campuran dalam memikul beban roda kendaraan.

Flow menunjukkan besarnya deformasi dari campuran beton aspal akibat beban yang bekerja pada perkerasan. *Flow* merupakan salah satu indikator terhadap lentur. Besarnya rongga antar campuran (VIM) dan penggunaan aspal yang tinggi dapat memperbesar nilai kelelahan plastis.

VMA merupakan volume rongga yang terdapat diantara butir-butir agregat suatu campuran beraspal padat, termasuk di dalamnya rongga yang berisi aspal efektif dan menunjukkan persentase dari volume total benda uji. *Asphalt Institute* merekomendasikan bahwa harga VMA dari campuran beraspal padat dapat dikalkulasikan dalam hubungannya dengan berat jenis kering total agregat (*aggregate Bulk Specific Gravity*). Pemakaian agregat bergradasi senjang dan kadar aspal yang rendah dapat memperbesar VMA.

VFB adalah persentase pori antar butir agregat yang terisi aspal, sehingga VFB merupakan bagian dari VMA yang terisi oleh aspal, tidak termasuk didalamnya aspal yang terabsorpsi oleh masing-masing butir agregat. Kriteria VFB membantu perencanaan campuran dengan memberikan VMA yang dapat diterima. Pengaruh utama kriteria VFB adalah membatasi VMA maksimum dan kadar aspal maksimum. VFB juga dapat membatasi kadar rongga campuran yang diizinkan yang memenuhi kriteria VMA.

MQ (*Marshall Quetiont*) adalah nilai pendekatan yang hampir menunjukkan nilai kekakuan suatu campuran beraspal dalam menerima beban. Nilai MQ diperoleh dari perbandingan antara nilai stabilitas yang telah dikoreksi terhadap nilai kelelahan (*flow*) dan dinyatakan dalam satuan kg/mm atau kN/mm.

BAB III

METODE PENELITIAN

3.1. Umum/Ringkasan Metode Penelitian

Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode eksperimen di laboratorium. Aspal beton diproduksi dengan menggunakan jenis agregat yang langsung berasal dari *stone crusher*, dan bahan pengikat berupa aspal emulsi jenis CSS-1h dan substitusi *Buton Granular Asphalt* (BGA) ke dalam kadar residu dari aspal emulsi. *Buton Granular Asphalt* (BGA) yang digunakan dalam penelitian ini adalah berupa BGA tipe 20/25.

Selanjutnya dilakukan pengkajian dan pengujian terhadap parameter *Marshall* yaitu stabilitas dan kelelahan (*flow*). Parameter-parameter tersebut dijadikan acuan untuk pembuatan benda uji yang diberi masa pemeraman (*curing*) yaitu 1 hari, 3 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Benda uji yang dibuat dan diberi masa pemeraman (*curing*) berdasarkan kadar residu optimum dari aspal emulsi dan kadar BGA optimum.

Standar/aturan yang menjadi acuan dalam penelitian ini yaitu :

- a. Standar Nasional Indonesia (SNI)
- b. Spesifikasi 2010, Revisi 3, Divisi 6 (Pekerjaan Beraspal)
- c. Pemanfaatan Asbuton, Buku 5, Bina Marga (Campuran Beraspal Dingin Dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi).

3.2. Waktu dan Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium Eco Material Jurusan Sipil, Fakultas Teknik Universitas Hasanuddin Kampus Gowa untuk penyiapan agregat, benda uji dan pengujian *Marshall*. Penelitian ini dilaksanakan selama 6 bulan sejak bulan Agustus 2017 sampai dengan bulan Januari 2018.

3.3. Diagram Alir Penelitian

Untuk memudahkan penelitian yang akan dilakukan, maka perlu direncanakan tahapan-tahapan yang akan menjadi pedoman dan arahan bagi penelitian ini, tahapan-tahapan proses tersebut ditunjukkan pada Gambar 3.1.

1. Tahap Pendahuluan

Pada tahap ini dijelaskan mengenai studi pendahuluan meliputi identifikasi masalah yang dilanjutkan dengan penetapan tujuan penelitian, dan tinjauan pustaka berupa aturan-aturan, spesifikasi dan jurnal-jurnal baik jurnal nasional maupun jurnal internasional.

2. Tahap Persiapan Benda Uji

Tahap ini merupakan dimana seluruh alat dan akan digunakan selama penelitian disiapkan terlebih dahulu termasuk agregat kasar (1-2 cm dan 0,5-1 cm), abu batu, *filler*. Kemudian dilakukan pengujian laboratorium mengenai karakteristik fisik dari material-material yang digunakan dalam pembuatan campuran benda uji. Campuran yang dibuat adalah terdiri dari

- a. Campuran aspal dingin untuk menentukan kadar residu optimum berdasarkan kadar aspal emulsi efektif.

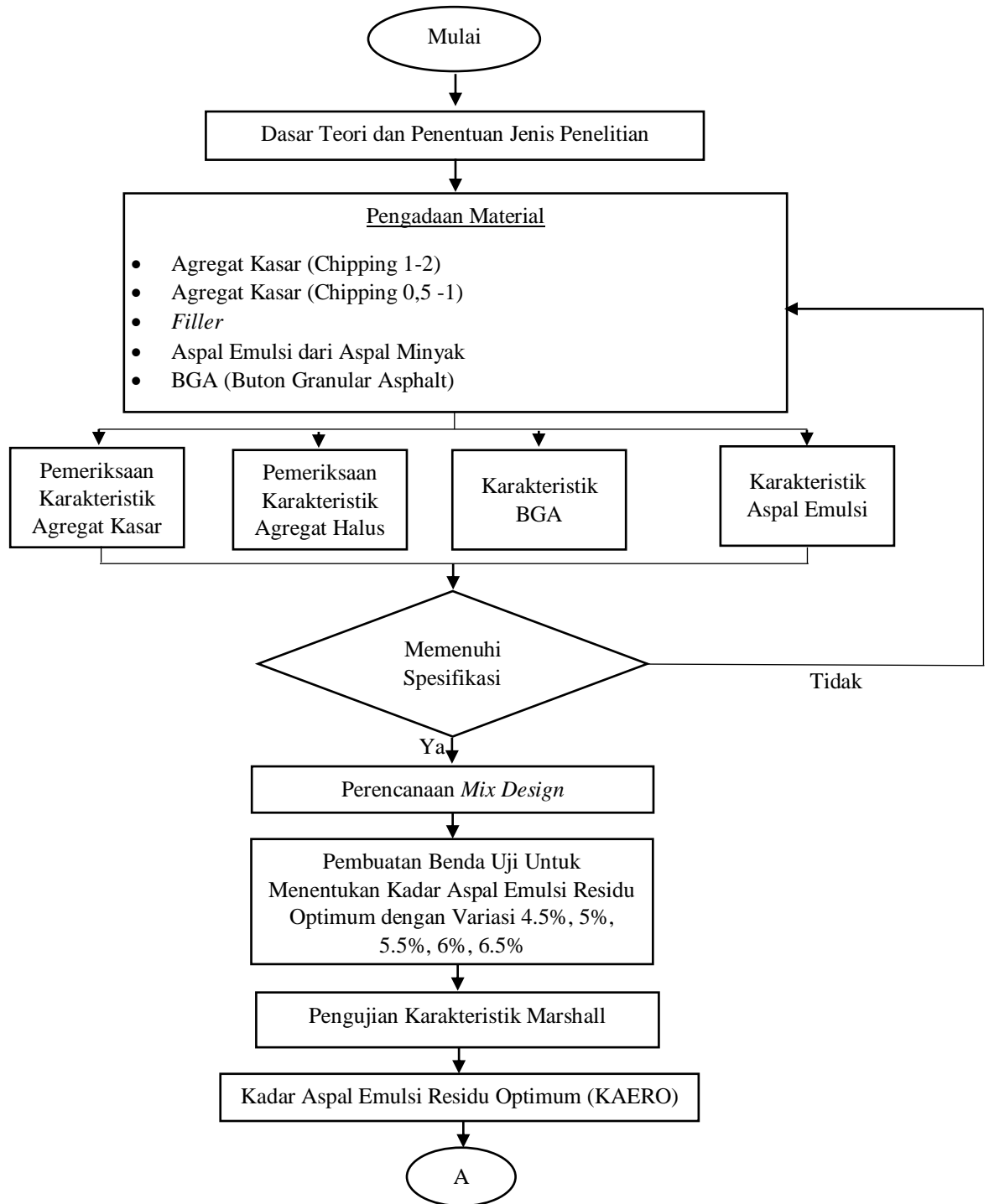
- b. Campuran aspal dingin menggunakan kadar residu optimum dengan substitusi BGA untuk menentukan kadar BGA optimum.
- c. Campuran aspal dingin dengan menggunakan kadar residu aspal emulsi optimum dan kadar BGA optimum dengan variasi masa pemeraman (*curing*).
- d. Apabila material telah memenuhi syarat sesuai spesifikasi yang disarakan, maka dibuat benda uji berdasarkan rancangan campuran (*mix design*)

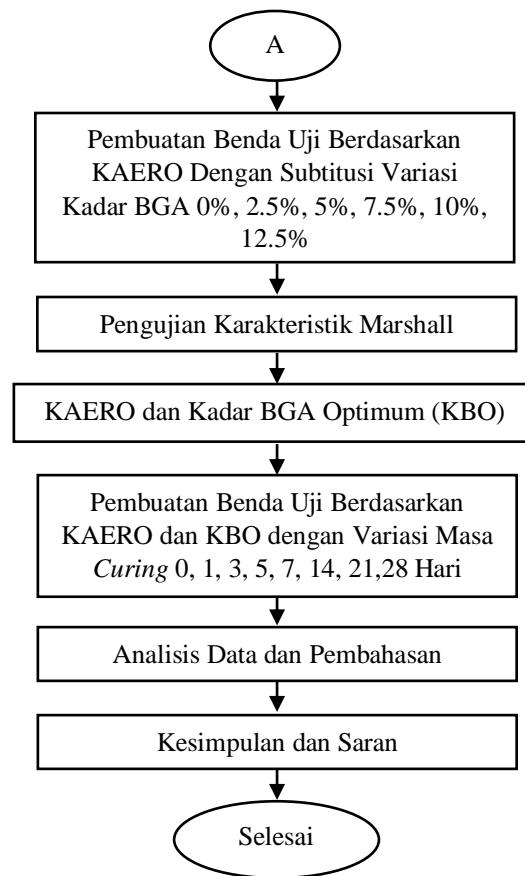
3. Tahap Pengujian Benda Uji

Pada tahap ini dilakukan pengujian terhadap benda uji yang telah dibuat pada tahap sebelumnya, yaitu uji campuran beraspal dengan metode *Marshall* yang mengacu pada Standar Nasional Indonesia (SNI) 06-2489-1991 dan Pemanfaatan Asbuton, Buku 5, Bina Marga (Campuran Beraspal Dingin Dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi).

4. Tahap Analisis Data

Pada tahap ini dilakukan pengolahan data primer yang diperoleh dari hasil-hasil uji yang dilakukan di laboratorium. Selanjutnya, dibuat pembahasan mengenai hasil yang diperoleh sehingga dapat menjawab tujuan dari penelitian. Pada tahap ini dilakukan pengkajian terhadap hasil yang diperoleh sesuai dengan rujukan-rujukan berbagai penelitian terdahulu baik dari jurnal nasional dan jurnal internasional maupun rujukan-rujukan dari aturan-aturan spesifikasi Bina Marga yang ada.





Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian

3.4. Pengumpulan Data Penelitian

Pada penelitian ini digunakan dua metode pengumpulan data yaitu :

- a. Studi pustaka, bertujuan memperoleh data sekunder melalui berbagai literatur seperti buku, jurnal penelitian, artikel-artikel ilmiah, serta standar-standar pengujian.
- b. Pemeriksaan dan pengujian sampel di laboratorium, bertujuan mendapatkan data primer yang akan digunakan dalam menganalisa hasil dari penelitian yang dilaksanakan.

3.5. Pengambilan Material Penelitian

Material yang digunakan dalam penelitian ini berasal dari berbagai sumber pengambilan material yaitu :

- a. Material agregat kasar dan agregat halus diambil dari sungai Bili-Bili kecamatan Parangloe, Kabupaten Gowa, Provinsi Sulawesi Selatan.
- b. Aspal emulsi jenis CSS-1h diperoleh dari salah satu produsen aspal emulsi di Indonesia.
- c. BGA (*Buton Granular Asphalt*) menggunakan tipe 20/25 diperoleh dari PT Summitama Indonesia.

3.6. Pemeriksaan Karakteristik Material

Pemeriksaan karakteristik material ini digunakan untuk memastikan bahwa bahan-bahan yang akan digunakan untuk membentuk benda uji nantinya benar-benar sesuai dengan spesifikasi yang disyaratkan. Pemeriksaan karakteristik material meliputi pemeriksaan karakteristik agregat, baik agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Selain itu, untuk karakteristik aspal emulsi dan BGA diperoleh dari hasil pengujian dari sumber material yang didapatkan.

3.6.1. Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Jenis pengujian yang dilakukan dan metode pengujian agregat kasar (*chipping*) berdasarkan spesifikasi berupa penyerapan air, berat jenis, indeks kepipihan, keausan agregat dengan menggunakan mesin *Los Angeles*, abu batu, serta *filler* berupa penyerapan air, berat jenis dan *sand equivalent* ditunjukkan masing-masing pada Tabel 3.1. dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Metode pengujian karakteristik agregat kasar

Pengujian	Metode pengujian
Penyerapan air	SNI 03-1969-1990
Berat jenis	SNI 03-1969-1990
Indeks kepipihan	RSNI T-01-2005
Keausan agregat dengan mesin <i>Los Angeles</i>	SNI 2417-2008

Sumber : Spesifikasi 2010 Revisi 3

Tabel 3.2. Metode pengujian karakteristik abu batu dan *filler*

Pengujian	Metode pengujian
Penyerapan air	SNI 03-1970-1990
Berat jenis	SNI 03-1970-1990
<i>Sand equivalent</i>	SNI 03-4428-1997

Sumber : Spesifikasi 2010 Revisi 3

3.6.2. Karakteristik Aspal Emulsi

Karakteristik aspal emulsi jenis CSS-1h yaitu jenis aspal emulsi yang bermuatan positif dengan waktu pengikatan yang lambat dengan kode EA-60 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.3. Karakteristik aspal emulsi yang digunakan meliputi kekentalan saybolt furol pada 25°C, stabilitas penyimpanan 24 jam, muatan listrik partikel, analisa saringan tertahan no. 20, penyulingan yang meliputi kadar air, kadar minyak dan kadar residu, penetrasi residu, daktalitas residu dan kelarutan residu dalam C_2HCl_3 . Selain itu, terlihat jelas metode pengujian yang digunakan yaitu Standar Nasional Indonesia (SNI) dimana hasil pengujian yang diperoleh memenuhi spesifikasi yang disyaratkan sehingga dapat digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini.

Tabel 3.3. Karakteristik aspal emulsi CSS-1h EA-60

Jenis pengujian	Metode pengujian	Hasil pengujian	Spesifikasi	Satuan
Kekentalan Saybolt Furol pada 25°C	SNI 03-6721-2002	39	20-100	Detik
Stabilitas Penyimpanan 24 jam	SNI 03-6828-2002	0.6	Maks.1	%
Muatan Listrik Partikel	SNI 03-2644-1994	Positif	Positif	-
Analisa Saringan Tertahan no. 20	SNI 03-3843-1994	0	Maks. 0.1	% Lolos
Penyulingan	SNI 03-3642-1994			
Kadar Air		36.65	-	%
Kadar Minyak		2.0	-	%
Kadar Residu		62.35	-	%
Penetrasi Residu	SNI 06-2456-1991	101	Min. 57	0.1 mm
Daktalitas Residu	SNI 06-2432-1991	103	Min. 43	Cm
Kelarutan Residu dalam C ₂ HCl ₃	SNI 06-2438-1991	99.4	Min. 97.5	%

Sumber: Laboratorium Balai Bahan dan Perkerasan Jalan, 2012

3.6.3. Karakteristik *Buton Granular Asphalt* (BGA) Tipe 20/25

Aspal Buton Granular (*Buton Granular Asphalt*) digunakan sebagai bahan tambah (*additive*) dan bahan substitusi dari aspal emulsi dan campuran aspal dingin yang mana diharapkan mampu meningkatkan kinerja dari campuran aspal emulsi yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA), Aspal Buton Granular (*Buton Granular Asphalt*) yang digunakan pada penelitian ini adalah tipe 20/25. Jenis pengujian serta metode pengujian BGA tipe 20/25 yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Tabel 3.4.

Tabel 3.4. Metode pengujian karakteristik BGA (*Buton Granular Asphalt*) tipe 20/25

No	Pengujian	Metode
1.	Kadar Bitumen BGA	SNI 03-3640-1994
2.	Kadar Air	SNI 06-2490-1991
3.	Penetrasi Asbuton Hasil Ekstraksi	SNI 06-2456-1991
4.	Titik Lembek Hasil Ekstraksi	SNI 06-2434-1991
5.	Titik Nyala Sebelum dan Sesudah Ekstraksi	SNI 06-2433-1991
6.	Berat Jenis Mineral BGA	SNI 03-1969-1990
7.	Berat Jenis Bitumen BGA	SNI 06-2441-1991

Sumber : Lab. Ecomaterial UNHAS

Pengujian *Buton Granular Asphalt* dimaksudkan mengetahui sifat-sifat fisik (*physical properties*) dari BGA yang berkaitan dengan kinerja campuran aspal beton yang menggunakan BGA, terutama dalam penelitian ini digunakan sebagai bahan substitusi dari aspal emulsi yang digunakan dan diharapkan mampu meningkatkan kinerja dari campuran aspal emulsi yang dihasilkan dimana hasil pengujian yang dilakukan berupa kadar aspal hasil ekstrak, kadar mineral hasil ekstrak, kadar air, titik nyala sebelum ekstraksi, berat jenis BGA sebelum ekstrak, penetrasi, titik lembek, daktalitas, titik nyala hasil ekstraksi, berat jenis aspal hasil ekstrak dan berat jenis mineral hasil ekstrak. Rekapitulasi hasil pengujian dapat ditunjukkan pada Tabel 3.5 yaitu karakteristik BGA sebelum di ekstrak dan Tabel 3.6 yaitu BGA setelah di ekstrak. Terlihat bahwa BGA yang digunakan dalam penelitian ini memenuhi persyaratan spesifikasi yang dipersyaratkan oleh Standar Nasional Indonesia (SNI).

Tabel 3.5. Hasil pengujian karakteristik BGA

No	Pengujian	Hasil	Persyaratan	Satuan
1	Kadar aspal hasil ekstrak	23	23-27	
2	Kadar mineral hasil ekstrak	77	-	
3	Kadar air	1.8	Mak. 2	%
4	Titik nyala sebelum ekstraksi	168	-	°C
5	Berat Jenis BGA sebelum ekstrak	1.78	-	

Tabel 3.6. Hasil karakteristik BGA setelah ekstrak

No	Pengujian	Hasil	Persyaratan	Satuan
1	Penetrasi	16	10-18	0,1 mm
2	Titik Lembek	86	-	°C
3	Daktilitas (25°C, 5 cm/menit)	8.5	-	Cm
4	Titik nyala hasil ekstraksi	198	-	°C
5	Berat jenis aspal hasil ekstrak	1.055		
6	Berat jenis mineral hasil ekstrak	2.289		

Sumber: PT. Summitama Intinusa

Tabel 3.5 menunjukkan bahwa kandungan mineral yang terkandung dalam butir buton granular asphalt sebesar 77%. Mineral *Buton Granular Asphalt* (BGA) hasil ekstrak berupa agregat halus atau filler dengan ukuran maksimum 1.180 mm. Kandungan mineral dalam butir asbuton diperhitungkan sebagai agregat halus atau filler dalam campuran aspal AC-WC. Kandungan 23% bitumen dalam butir *buton*

granular asphalt diperhitungkan sebagai bahan substitusi dari aspal penetrasi 60/70 dalam campuran aspal. Kadar air yang terkandung dalam butiran juga cukup rendah hanya 1.8% lebih kecil dari standar yang diisyaratkan sebesar 2%. Namun berat jenisnya cukup kecil sebesar 1.78%.

3.6.4. Gradasi Campuran Aspal Dingin

Setelah pengujian material memenuhi spesifikasi untuk campuran aspal dingin, maka dibuat komposisi campuran untuk pembuatan benda uji Marshall. Dalam penelitian ini jumlah kadar aspal emulsi mengacu pada rumus dengan menentukan kadar aspal efektif (Spesifikasi Khusus 6.5, 2006). Dalam menentukan kadar residu dari aspal emulsi yang digunakan dihitung berdasarkan kandungan kadar residu dari aspal emulsi jenis CSS-1h yang digunakan dalam penelitian ini yaitu sebesar 62,35%.

$$PA = (0,05 AK + 0,1 AH) + 0,5 F) \times 0,7 \dots \dots \dots (3.1)$$

Dimana :

PA = Kadar aspal efektif perkiraan terhadap berat agregat

AK = % Agregat kasar tertahan saringan no.8

AH = % Agregat halus lolos saringan no. 8 tertahan no.200

F = % Agregat lolos saringan no. 200

Berdasarkan aturan yang ada, kadar aspal yang diperoleh dibulatkan mendekati angka 0,5 % yang terdekat. Misal dari perhitungan didapat 6,3 %, maka dibulatkan menjadi 6,5 %, atau bila didapat 5,7 %, maka dibulatkan menjadi 5,5 %. (Direktorat PU, 2006).

3.7. Pembuatan Benda Uji

Pembuatan benda uji mengacu pada ASTM D-1559 dan Standar Nasional Indonesia, diawali dengan penimbangan komponen penyusun campuran, yaitu agregat kasar, abu batu dan *filler*, serta aspal emulsi dan BGA sesuai rancangan *mix design*.

Gabungan agregat dan aspal emulsi dan BGA dicampur sambil diaduk hingga merata. Selanjutnya, campuran dimasukkan ke *mould* silinder yang telah dilapisi kertas saring di kedua sisinya. Proses ini dilakukan dengan menuangkan semua campuran dan proses pemadatan dengan alat penumbuk (berat 4,5 kg dan tinggi jatuh 45,7 cm) dengan jumlah tumbukan 50 kali untuk setiap bidang. Kemudian benda uji yang telah dipadatkan dikeluarkan dari *mould* dengan menggunakan *ejector*. Setelah benda uji dibuat berdasarkan variasi kandungan kadar aspal emulsi dari aspal alam Buton untuk masa *curing* yang telah ditentukan sebelumnya maka benda uji disimpan di dalam suhu ruang untuk menunggu waktu pengujian *Marshall* dilaksanakan.

Rencana jumlah benda uji yang akan dibuat dalam penelitian ini yaitu sebanyak 25 buah, dengan rincian pada Tabel 3.7, Tabel 3.8, dan Tabel 3.9.

Tabel 3.7. Rencana jumlah benda uji penentuan kadar aspal residu optimum

Pengujian	Kadar aspal emulsi	Jumlah benda uji	Standar pengujian
<i>Marshall</i>	4,5%	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>
	5%	5	
	5,5%	5	
	6%	5	
	6,5%	5	

Tabel 3.8. Rencana jumlah benda uji penentuan kadar BGA optimum

Pengujian	Kadar BGA	Jumlah Benda Uji	Standar Pengujian
<i>Marshall</i>	0%	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>
	2.5%	5	
	5%	5	
	7.5%	5	
	10%	5	
	12.5%	5	

Jumlah benda uji yang dibuat adalah sebanyak 25 buah untuk penentuan kadar aspal residu optimum, 30 buah untuk penentuan kadar BGA optimum dan 40 buah berdasarkan waktu pemeraman.

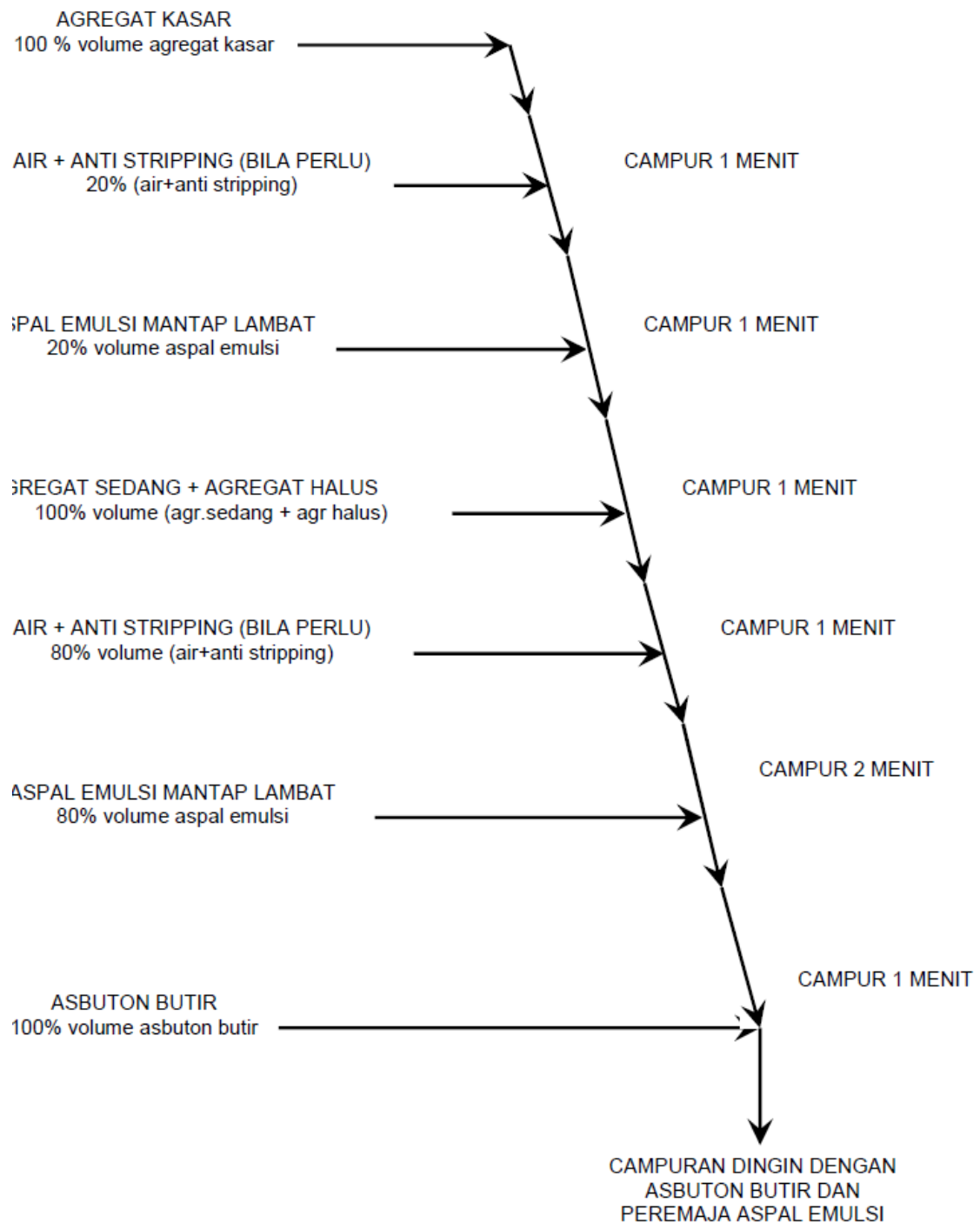
Tabel 3.9. Rencana jumlah benda uji berdasarkan waktu pemeraman (*curing*)

Pengujian	Kadar BGA optimum/waktu curing (hari)	Jumlah Benda Uji	Standar Pengujian
<i>Marshall</i>	0	5	SNI 06-2489-1991 Tentang Metode Pengujian Campuran Aspal dengan Metode <i>Marshall</i>
	1	5	
	3	5	
	5	5	
	7	5	
	14	5	
	21	5	
	28	5	

Gambar 3.2 memperlihatkan bagan alir cara pencampuran menggunakan alat pencampur manual di lapangan. Tahapan penghamparan dan pemadatan dilapangan yaitu :

1. Menyiapkan permukaan yang akan dilapis
 - a. Sebelum dilakukan persiapan penghamparan, perlu diperhatikan faktor cuaca di lokasi penghamparan, bila diperkirakan akan terjadi hujan selama proses penghamparan dilakukan maka secepatnya harus diperintahkan untuk menghentikan.
 - b. Penyiapan lokasi penghamparan dilakukan maksimum 200 meter panjang.
 - c. Permukaan perkerasan yang akan dilapis harus bersih dari debu, genangan air dan bahan-bahan yang tidak dikehendaki.
 - d. Sesaat sebelum penghamparan, permukaan yang akan dihampar harus dibersihkan dari bahan yang lepas dan yang tidak dikehendaki dengan sapu mekanis yang dibantu dengan cara manual bila diperlukan.
 - e. Pemasangan Lapis Resap Pengikat atau Lapis Perekat.

Lapis resap pengikat (prime coats) adalah lapisan yang diletakkan diatas lapis pondasi agregat, sedangkan lapis perekat (tack coats) diletakkan di atas lapis berasoak atau lapis beton semen.



Gambar 3.2. Bagan alir cara pencampuran menggunakan alat pencampuran manual di lapangan

3.7 Pemeriksaan Karakteristik Campuran Aspal Beton dengan Metode *Marshall*

3.7.1 *Mix Design* Metode *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*. 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.

3.7.2 Karakteristik Metode *Marshall*

Unit Weight

Unit weight (berat volume) dinyatakan dalam satuan gram/cm³ dan dapat dihitung dengan rumus (Laboratorium Eco Material, 2011):

$$Gmb = \frac{W}{B} \dots\dots\dots(3.2)$$

Dimana :

Gmb = Berat volume kering campuran (gram/cm³)

W = Berat benda uji di udara (gram)

B = Volume benda uji (cm³)

VIM (Voids in Mix)

Nilai VIM dinyatakan dalam bilangan satu angka dibelakang koma atau dalam persen (%) terhadap campuran dan dihitung dengan rumus :

$$P = \left[1 - \frac{D}{SG_{mix}} \right] \times 100 \% \dots\dots\dots (3.3)$$

$$SG_{mix} = \frac{100}{\frac{\%W_a}{SG_a} + \frac{\%W_f}{SG_f} + \frac{\%W_b}{SG_b}} \dots\dots\dots (3.4)$$

$$D = \frac{4 Ma}{\pi d^2 L} \dots\dots\dots (3.5)$$

Dimana :

- P = Volume rongga udara dalam campuran (%)
- SG_{mix} = Berat jenis maksimum campuran
- SG = *Spesific Grafity* komponen (gram/cm³)
- D = Berat jenis efektif total agregat (gram/cm³)
- % W = % berat tiap komponen

Stability (Stabilitas)

Stabilitas dinyatakan dalam satuan Kg dan diperoleh dari pembacaan arloji pada alat uji *Marshall* dengan rumus sebagai berikut :

$$Stability = O \times E' \times Q \dots\dots\dots(3.6)$$

Dimana :

- Stability* = Stabilitas *Marshall* (Kg)
- O = Pembacaan arloji stabilitas (Lbf)
- E' = Angka korelasi volume benda uji

Q = Kalibrasi alat *Marshall*

Nilai stabilitas yang disyaratkan untuk aspal beton adalah minimal 450 Kg (spesifikasi khusus campuran aspal dingin dan Asbuton, 2006).

Flow (Kelelehan plastis)

Nilai *flow* diperoleh dari pembacaan arloji kelelehan pada alat uji *Marshall* dan dinyatakan dalam satuan mm.

VMA (Voids in Mineral Agregat)

Nilai VMA diperoleh dengan rumus :

$$VMA = 100 - \frac{100 - Pb}{Gsb} \times Gmb \dots\dots\dots(3.7)$$

Dimana :

VMA = Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat (%)

Gsb = Berat jenis kering total agregat

Pb = Kadar aspal (%)

Gmb = Berat volume kering campuran (gram/cm³)

VFB (Voids Filled Bitument)

Nilai VFB diperoleh dengan rumus :

$$VFB = \frac{100(VMA - P)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots\dots\dots(3.8)$$

Dimana :

VFB = Volume pori antara butir agregat yang terisi aspal

VMA = Volume pori antara butir agregat di dalam beton aspal padat (%)

P = Volume rongga udara dalam campuran (%)

MQ (*Marshall Quetiont*)

Hasil bagi dari stabilitas dan flow, yang besarnya merupakan indikator dari kelenturan yang potensial terhadap keretakan disebut *Marshall Quotient*. Nilai *Marshall Quotient* dihitung dengan rumus 3.8.

$$MQ = \frac{S}{F} \dots\dots\dots(3.9)$$

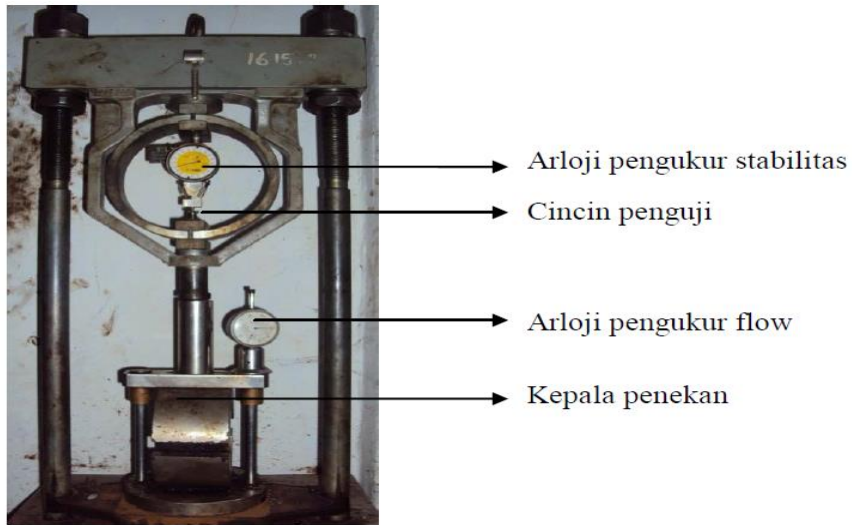
Dimana :

MQ = *Marshall Quotient* (kg/mm)

S = Stabilitas (kg)

F = Nilai *flow* (mm)

Gambar 3.3. menunjukkan alat pengujian *Marshall* yang dapat digunakan untuk mengukur stabilitas dan *flow* sehingga dapat menunjukkan ukuran ketahanan suatu benda uji dalam menerima beban yang ada. Tabel 3.10 memperlihatkan ketentuan sifat-sifat campuran dingin AC-WC berdasarkan spesifikasi khusus campuran dingin Asbuton dan emulsi tahun 2006, dimana rongga diantara mineral agregat (VMA) yaitu minimal 16%, rongga dalam campuran (VIM) yaitu 3-12%, stabilitas Marshall minimal 450 kg, stabilitas sisa setelah perendaman 4 × 24 jam adalah minimal 16%, tebal film aspal adalah minimal 8 mikron dan penyelimutan agregat kasar adalah minimal 75%. Parameter-parameter inilah yang menjadi acuan dalam merencanakan campuran aspal dingin dengan Asbuton. Tabel 3.6. memperlihatkan ketentuan sifat-sifat campuran dingin AC-WC.



Gambar 3.3. Alat Pengujian *Marshall*

Tabel 3.10. Ketentuan sifat-sifat campuran dingin AC-WC

Karakteristik Campuran	Persyaratan
Rongga di antara mineral agregat (VMA), (%)	Min. 16
Rongga dalam campuran (VIM) Marshall, (%)	3 - 12
Stabilitas Marshall pada 22°C, (kg)	Min. 450
Stabilitas sisa setelah perendaman 4 × 24 jam (%)	Min. 60
Tebal film aspal, mikron	Min. 8
Penyelimutan agregat kasar, %	Min. 75

Sumber : Spek Khusus Campuran Dingin Asbuton dan Emulsi-Des 2006

BAB IV

HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Material

4.1.1. Hasil Pemeriksaan Karakteristik Agregat

Pemeriksaan karakteristik agregat dilakukan untuk menentukan kelayakan agregat yang digunakan dalam penelitian, mengingat agregat merupakan komponen dengan jumlah terbesar pada suatu campuran beraspal. Tabel 4.1. dan Tabel 4.2. menunjukkan hasil pengujian karakteristik agregat kasar dan abu batu yang telah dilakukan.

Tabel 4.1. Hasil pemeriksaan karakteristik agregat kasar

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan air				
	Batu pecah 0,5 - 1 cm	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	2.68	2.5	-	-
	Berat jenis semu	2.77	2.5	-	-
	Batu pecah 1 - 2 cm				
	Berat jenis bulk	2.63	2.5	-	-
	Berat jenis SSD	2.68	2.5	-	-
Berat jenis semu	2.78	2.5	-	-	
3	Indeks kepipihan				
	Batu pecah 0,5 - 1 cm	20.10	-	25	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	9.38	-	25	%
4	Keausan agregat				
	Batu pecah 0,5 - 1 cm	25.72	-	40	%
	Batu pecah 1 - 2 cm	24.36	-	40	%

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan Lab. Eco-Material Univ. Hasanuddin

Tabel 4.2. Hasil pemeriksaan karakteristik abu batu

No.	Pemeriksaan	Hasil uji	Spesifikasi		Satuan
			Min	Max	
1	Penyerapan air	2.79	-	3.0	%
2	Berat jenis bulk	2.45	2.5	-	-
	Berat jenis SSD	2.52	2.5	-	-
	Berat jenis semu	2.63	2.5	-	-
3	<i>Sand equivalent</i>	89.66	50	-	%

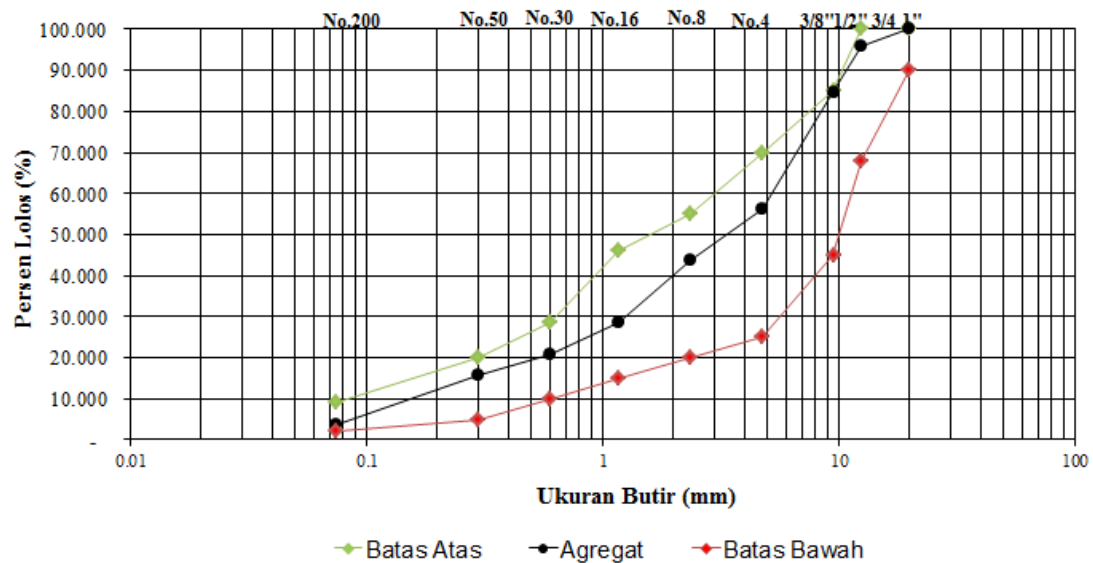
Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan Lab. Eco-Material Univ. Hasanuddin

Berdasarkan dari hasil pengujian karakteristik agregat kasar (batu pecah) dan abu batu, terlihat bahwa agregat yang digunakan memenuhi spesifikasi Bina Marga (2006) untuk bahan jalan yang disyaratkan.

4.1.2. Penentuan Gradasi Campuran

Penelitian ini mengacu pada standar gradasi spesifikasi Bina Marga Pemanfaatan Asbuton Buku 5 (Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi). 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 batu pecah 1-2 cm, batu pecah 0.5-1 cm dan abu batu kemudian dijumlahkan dan dilakukan analisa saringan hingga didapatkan persentase gabungan yang diharapkan.

Setelah itu, perbandingan agregat gabungan yang telah didapatkan tersebut disesuaikan dengan nilai interval sesuai dengan spesifikasi. Kemudian, agregat gabungan serta interval spesifikasi diplot kedalam grafik, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1. Gradasi agregat gabungan campuran aspal emulsi

Pada Gambar 4.1. dapat dilihat bahwa proporsi agregat gabungan yang direncanakan berada dalam interval spesifikasi Bina Marga Pemanfaatan Asbuton Buku 5 (Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi) untuk bahan jalan sehingga dapat diperoleh campuran yang optimal.

Dengan menggunakan rumus 3.1 maka ditentukan kadar aspal emulsi sebuah benda uji.

$$PA = (0,05 AK + 0,1 AH) + 0,5 F) \times 0,7$$

Dimana :

$$AK = 51,96\% \quad AH = 40,63\%$$

$$F = 1,89\%$$

$$PA = (0,05 \cdot 51,96\% + 0,1 \cdot 40,63\%) + 0,5 \cdot 1,89\%) \times 0,7)$$

$$= 5,3\%$$

Dibulatkan menjadi 5,5% dengan mengacu pada Buku III yang dikeluarkan oleh Direktorat Pekerjaan Umum Tahun 2006.

Tabel 4.3 menunjukkan rekapitulasi parameter Marshall untuk penentuan kadar aspal emulsi optimum.

Tabel 4.3. Rekapitulasi Hasil Pengujian Parameter Marshall

Kadar aspal (%)	Stabilitas (kg)	VIM (%)	VMA (%)
4.5	417.89	5.96	14.74
5	604.02	6.36	16.18
5.5	1064.00	5.45	16.45
6	512.71	4.39	16.58
6.5	330.10	2.02	15.60

Stabilitas					
	4.5	5	5.5	6	6.5
VIM					
	4.5	5	5.5	6	6.5
VMA					
	4.5	5	5.5	6	6.5

$$\text{Kadar Aspal Optimum (KAO)} = \frac{5 + 6}{2} = 5,5$$

Berdasarkan kadar aspal optimum yang diperoleh dibuat benda uji dengan variasi campuran *Buton Granular Asphalt* (BGA) dan kadar aspal emulsi dari 5.5% dari berat total campuran. Tabel 4.4. memperlihatkan komposisi material dalam berat dan dalam persen yang didapatkan dari hasil analisa saringan. Tabel 4.5. memperlihatkan berat residu aspal emulsi dan *Buton Granular Asphalt* (BGA).

Tabel 4.4. Komposisi material dalam berat untuk 1200 gram benda uji (diameter mould 10 cm)

Kadar Aspal (8.8%)		Agregat (gram)					Jumlah	Kandungan BGA
		Batu Pecah 1-2 cm	Batu Pecah 0.5-1 cm	Abu Batu	Filler			
Aspal Emulsi (105.6gr)	Bitumen BGA (tidak ada)	207.94	393.98	471,80	Abu batu (20,68)	Mineral BGA (Tidak ada)	1200 gr	0
Residu (62,35%) 65.84 gr								
Aspal Emulsi (98.7 gr)	Bitumen BGA 2.5% (6.9gr)	207.94	393.98	448.70	Abu batu (20,68)	Mineral BGA (23.1)	1200 gr	30 gr
Residu (62,35%) 61.54gr								
Aspal Emulsi (91.8gr)	Bitumen BGA 5% (13.8gr)	207.94	393.98	425.6	Abu batu (20,68)	Mineral BGA (46.2)	1200 gr	60 gr
Residu (62.35%) 57.24 gr								
Aspal Emulsi (84,90 gr)	Bitumen BGA 7.5% (20.7gr)	207.94	393.98	402.5	Abu batu (20,68)	Mineral BGA (69.3)	1200 gr	90 gr
Residu (62.35%) 52.94 gr								
Aspal Emulsi (78.0 gr)	Bitumen BGA 10% (27.6gr)	207.94	393.98	379.4	Abu batu (20.68)	Mineral BGA (92.4)	1200 gr	120 gr
Residu (62.35%) 48.63 gr								
Aspal Emulsi (71,10gr)	Bitumen BGA 12.5% (34.5 gr)	207.94	393.98	356.3	Abu batu (20.68)	Mineral BGA (115.5)	1200 gr	150 gr
Residu (62.35%) 44.33 gr								

Sumber : Hasil pengujian dan perhitungan Lab. Ecomaterial UNHAS

Tabel 4.5. Berat residu aspal emulsi dan Buton Granular Asphalt (BGA)

Kadar BGA %	Berat residu aspal emulsi (gr)	Berat bitumen BGA (gr)	Total (gr)
0	65.84	0.00	65.84
2,5	61.54	6.90	68.44
5	57.24	13.80	71.04
7,5	52.94	20.70	73.64
10	48.63	27.60	76.23
12,5	44.33	34.50	78.83

4.2. Hasil Pemeriksaan Parameter Stabilitas Untuk Menentukan Kadar Optimum BGA Campuran Aspal Emulsi

Tabel 4.6. memperlihatkan tabel rekapitulasi hasil pengujian parameter stabilitas yang terdiri dari stabilitas, flow dan hasil bagi Marshall (*Marshall Quetiont*, MQ) campuran aspal emulsi yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA) sebesar 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10% dan 12,5% sebagai bahan substitusi aspal minyak (petroleum bitumen) yang terkandung dalam residu aspal emulsi. Maksud dari substitusi BGA dalam penelitian ini adalah menggantikan secara parsial bitumen aspal minyak yang terkandung dalam residu aspal emulsi sebesar 0%, 2,5%, 5,0%, 7,5%, 10% dan 12,5% yang merupakan variabel bebas dalam penelitian ini untuk menentukan kadar BGA optimum. Kadar aspal residu optimum aspal emulsi yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebesar 5,5%.

Tabel 4.6. Tabel rekapitulasi hasil pengujian parameter stabilitas (*Marshall Test*)

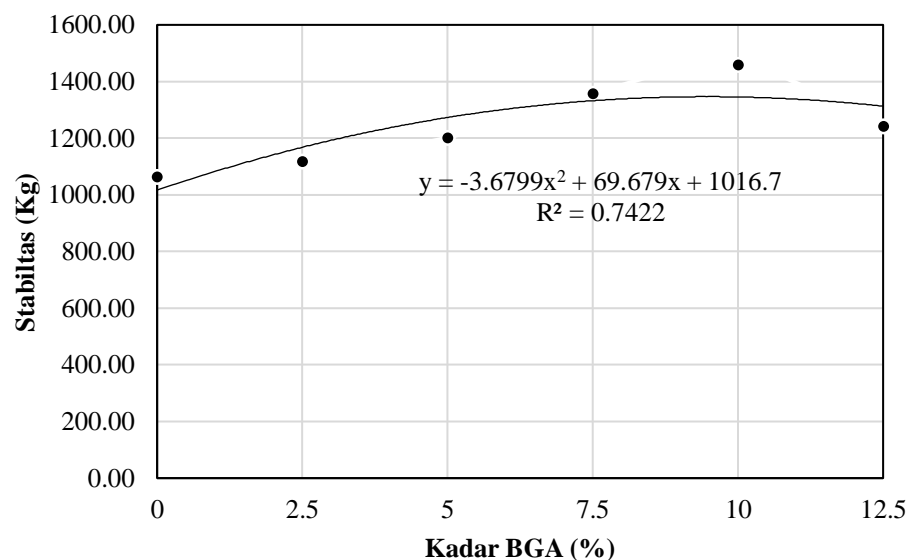
Kadar BGA %	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quetiont (kg/mm)
0	1064.00	2.03	555.46
2,5	1120.00	3.72	301.44
5	1202.13	4.08	295.91
7,5	1358.93	4.09	332.07
10	1459.73	4.33	337.46
12,5	1243.20	2.77	449.38

Terlihat bahwa hasil pengujian parameter stabilitas yang diperlihatkan pada Tabel 4.6. berupa stabilitas semakin meningkat seiring dengan peningkatan kadar BGA hingga mencapai nilai yang optimum dan mengalami penurunan nilai stabilitas ketika melwati nilai optimum pada campuran aspal dingin (*cold mix*) menggunakan BGA. Perilaku ini menyerupai apabila menggunakan aspal minyak (*petroleum bitumen*) dalam campuran aspal panas (*hot mix*). Peningkatan nilai stabilitas yang terjadi untuk setiap peningkatan kadar BGA adalah sebesar 5,26% (kadar BGA 2,5% terhadap kadar BGA 0,0%), 7,33% (kadar BGA 5,0% terhadap kadar BGA 2,5%), 13,04% (kadar BGA 7,5% terhadap kadar BGA 5,0%) dan 7,41% (kadar BGA 10% terhadap kadar BGA 7,5%). Sedangkan penurunan nilai stabilitas yang terjadi adalah sebesar 14,83% (kadar BGA 10% terhadap kadar BGA 12,5%). Semua nilai stabilitas yang diperoleh memenuhi spesifikasi yang disyaratkan oleh spesifikasi 2010 Revisi 3 tentang campuran beraspal, Buku 5 Bina Marga tentang campuran

aspal dingin dan Asbuton sebagai peremaja emulsi (2006) dan spesifikasi khusus campuran aspal dingin (2006) yaitu minimal 450 kg.

4.2.1. Hubungan Kadar BGA dengan Stabilitas

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar BGA dengan stabilitas yang ditunjukkan pada Gambar 4.2. Hasil pengujian memperlihatkan ketika kandungan kadar BGA meningkat maka nilai stabilitas juga meningkat hingga mencapai suatu nilai optimum. Gambar memperlihatkan sama dengan campuran aspal yang menggunakan bitumen aspal minyak (*petroleuem bitumen*) yaitu ketika kandungan kadar BGA berada pada kandungan kadar BGA optimum maka nilai stabilitas tertinggi terjadi pada campuran tersebut, dan ketika kandungan kadar BGA melewati kandungan kadar BGA optimum maka secara perlahan nilai stabilitas juga menurun.



Gambar 4.2. Hubungan kadar BGA dengan stabilitas

Nilai stabilitas yang diperoleh memenuhi semua spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga, yaitu ≥ 450 kg. Nilai stabilitas terendah yaitu pada campuran dengan kadar BGA 0%, dengan nilai stabilitas 1064,00 kg dan nilai stabilitas tertinggi pada campuran dengan kadar BGA 10% dengan nilai stabilitas 1459,73 kg. Campuran dengan kandungan kadar BGA 2,5% memiliki nilai stabilitas 1120,00 kg yang relatif lebih kecil dibanding campuran dengan kandungan BGA 5,0% dengan nilai stabilitas 1202,13 kg dan campuran dengan kandungan kadar BGA 7,5% dengan nilai stabilitas 1358,93 kg dan campuran dengan kadar BGA 12,5% memiliki nilai stabilitas yaitu sebesar 1243,20 kg. Dengan demikian, dapat kita ketahui bahwa kandungan kadar BGA optimum berada pada kandungan kadar BGA 10%.

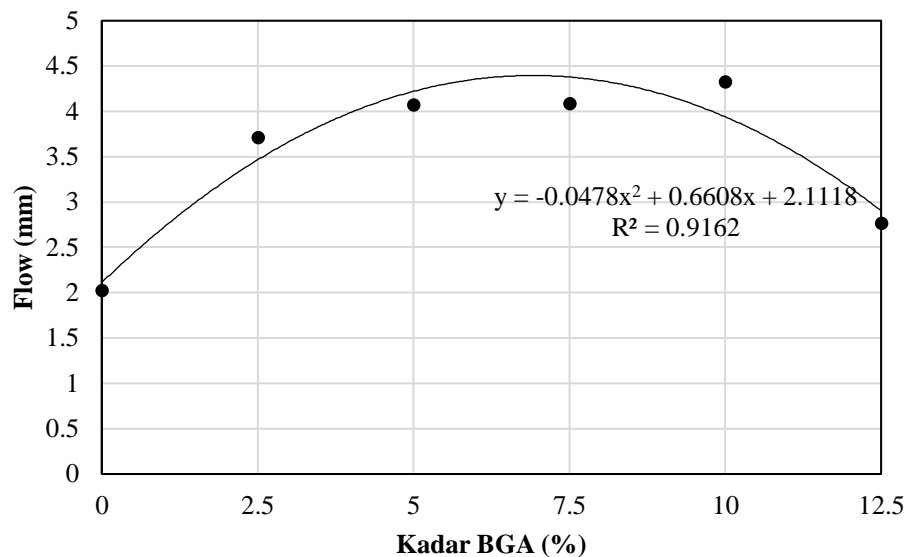
Rendahnya stabilitas campuran aspal emulsi dikarenakan *flow* yang terjadi besar dan agregat yang terselimuti lebih tebal dan pada akhirnya akan mengurangi daya ikat antar agregat dalam campuran pada saat dibebani. Berkurangnya ikatan antar agregat akan mengurangi stabilitas campuran. Selain itu, bertambahnya kandungan kadar BGA maka bertambah pula kadar air yang ada di dalam aspal emulsi. Setelah menguap, kandungan air akan menyebabkan terjadinya rongga halus pada campuran hingga pada kadar optimum rongga halus memberikan kemampuan untuk lebih lentur (*flexibilitas*), namun bertambahnya rongga antar campuran dapat menyebabkan nilai stabilitas menurun. Nilai stabilitas menunjukkan kekuatan dan ketahanan campuran beton aspal terhadap terjadinya perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur (*rutting*) maupun *bleeding*. Semakin rendah nilai stabilitas

campuran, menunjukkan semakin rendahnya kinerja campuran dalam memikul beban roda kendaraan.

4.2.2. Hubungan Kadar BGA dengan Flow

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar BGA dengan *flow* yang ditunjukkan pada Gambar 4.3. Hubungan kandungan kadar BGA dengan *flow* didapatkan hubungan yang kuat. Dapat terlihat bahwa ketika campuran berada pada kandungan kadar BGA optimum yaitu 10% *flow* terbesar terjadi pada kandungan kadar BGA optimum. Hal ini menunjukkan bahwa BGA membuat campuran aspal emulsi menjadi lebih getas dan kaku.

Berdasarkan aturan spesifikasi yang disyaratkan oleh Buku 5 Bina Marga tentang campuran aspal dingin dan Asbuton (2006), tidak ada persyaratan tentang besaran nilai *flow*. Nilai *flow* terendah yaitu pada campuran dengan kadar BGA 0,0%, dengan nilai *flow* 2,03 mm dan nilai *flow* tertinggi pada campuran dengan kadar BGA 10% dengan nilai *flow* 4,33 mm. Campuran dengan kandungan kadar BGA 7,5% memiliki nilai *flow* 4,09 mm yang relatif lebih besar dibanding campuran dengan kandungan BGA 5,0% dengan nilai *flow* 4,08 mm dan campuran dengan kandungan kadar BGA 12,5% dengan nilai *flow* 2,77 mm dan campuran dengan kadar BGA 2,5% memiliki nilai *flow* yaitu sebesar 3,72 mm. Kandungan air akan menyebabkan terjadinya rongga halus pada campuran hingga pada kadar optimum rongga halus memberikan kemampuan untuk lebih lentur (*flexibilitas*), namun bertambahnya rongga antar campuran dan penggunaan kandungan kadar aspal emulsi yang tinggi dapat menyebabkan nilai kelelahan plastis (*flow*) meningkat.



Gambar 4.3. Hubungan kadar BGA dengan *flow*

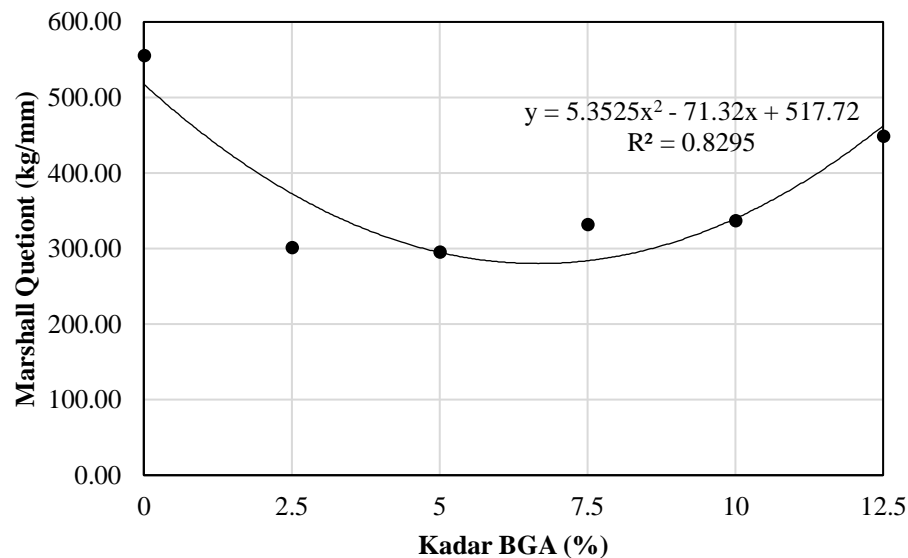
4.2.3. Hubungan Kadar BGA dengan MQ

Berdasarkan hasil pengujian *Marshall*, hubungan antara kadar BGA dengan *marshall quotient* yang ditunjukkan pada Gambar 4.4. Hubungan kandungan kadar BGA dengan *marshall quotient* didapatkan hubungan yang kuat. Berdasarkan aturan spesifikasi yang disyaratkan oleh Buku 5 Bina Marga tentang campuran aspal dingin dan Asbuton (2006), tidak ada persyaratan tentang besaran nilai MQ.

Nilai *marshall quotient* terendah yaitu pada campuran dengan kadar kandungan BGA 2,5% sebesar 301,44 kg/mm, dan nilai *marshall quotient* tertinggi pada campuran dengan kadar kandungan BGA 0,0% sebesar 555,46 kg/mm. Campuran dengan kandungan kadar BGA 12,5% memiliki nilai *marshall quotient* 449,38 kg/mm yang relatif lebih besar dibandingkan campuran dengan kandungan BGA 10% dengan nilai *marshall quotient* 337,46 kg/mm dan campuran dengan kandungan

kadar BGA 7,5% dengan nilai *marshall quetiont* 332,07 kg/mm dan campuran dengan kadar BGA 5,0% memiliki nilai *marshall quetiont* sebesar 295,91 kg/mm.

Rendahnya nilai *marshall quetiont* campuran aspal emulsi dikarenakan stabilitas yang terjadi kecil serta *flow* yang besar dan agregat yang terselimuti lebih tebal dan 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. Setelah menguap, kandungan air akan menyebabkan terjadinya rongga halus pada campuran hingga pada kadar optimum rongga halus memberikan kemampuan untuk lebih lentur (*flexibilitas*), namun bertambahnya rongga antar campuran dan penggunaan kandungan kadar BGA yang tinggi dapat menyebabkan nilai kelelahan plastis (*flow*) meningkat.



Gambar 4.4. Hubungan kadar BGA dengan MQ

4.2.4. Penentuan Kadar BGA Optimum

Berdasarkan penelitian terdahulu, salah satu cara untuk menentukan kadar aspal optimum atau kadar BGA optimum adalah dengan cara matematis yaitu persamaan regresi dari hubungan kadar BGA dengan nilai stabilitas ($F(x)$), dibuat menjadi turunan pertama sama dengan nol atau dapat ditulis $F'(x) = 0$. Berdasarkan hubungan antara kadar BGA dengan nilai stabilitas, persamaan yang diperoleh adalah :

$$F(x) = -11,495 X^2 + 220,2 X + 819,4$$

$$F'(x) = -22,99 X + 220,2$$

$$F'(x) = 0$$

$$-22,99 X + 220,2 = 0$$

$$-22,99 X = -220,2$$

$$X = 9,57 \approx 10$$

Oleh karena itu, nilai kadar BGA optimum dalam penelitian ini adalah 10% yang selanjutnya digunakan untuk membuat benda uji dengan mempertimbangkan dan memberikan perlakuan waktu pemeraman (*curing*) yaitu 0 hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari. Pemberian waktu pemeraman ini, sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan oleh **Israil, dkk., (2016)** yang menyebutkan bahwa campuran aspal emulsi membutuhkan waktu pemeraman selama 7 hari (1 minggu) untuk mencapai stabilitas maksimum dengan menggunakan Bitumen Hasil Ekstraksi Aspal Alam Buton (BHEAAB) sebagai bahan pengikat. Selain itu, **Abbas Al-Hdabi, dkk., (2013)** dalam penelitiannya menyebutkan bahwa

Campuran aspal emulsi yang konvensional dimana membutuhkan waktu setidaknya 2 sampai 24 bulan untuk Campuran Aspal Dingin Emulsi (CBEM).

4.3. Hasil Pemeriksaan Parameter Stabilitas Dengan Variasi Waktu Pemeraman Dalam Kondisi Kadar BGA Optimum

Tabel 4.7. memperlihatkan tabel rekapitulasi hasil pengujian parameter stabilitas yang terdiri dari stabilitas, flow dan hasil bagi Marshall (*Marshall Quetiont*, MQ) campuran aspal emulsi yang menggunakan *Buton Granular Asphalt* (BGA) sebesar 10% yang merupakan kadar BGA optimum sebagai bahan substitusi aspal minyak (petroleum bitumen) yang terkandung dalam residu aspal emulsi.

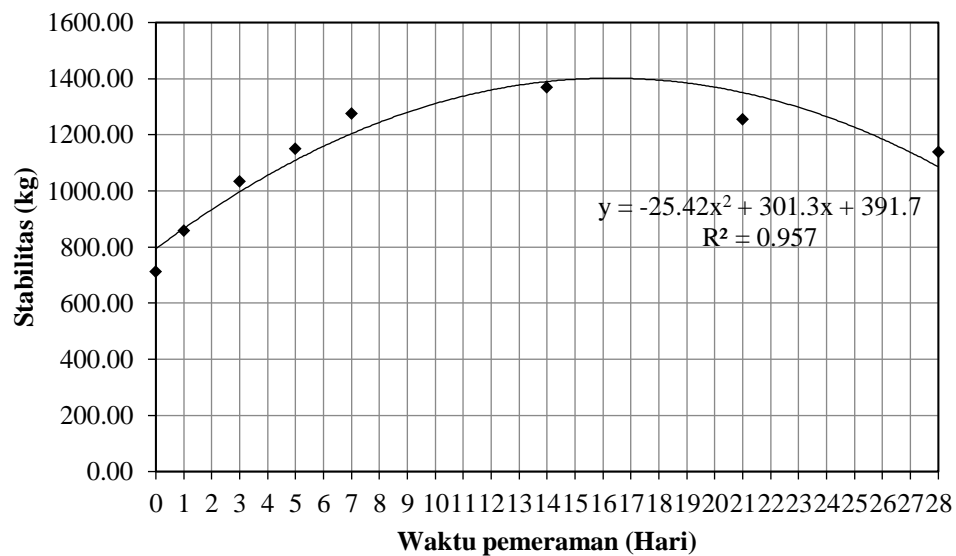
Tabel 4.7. Tabel rekapitulasi hasil pengujian parameter stabilitas (*Marshall Test*) dengan variasi waktu pemeraman

Waktu pemeraman (Hari)	Stabilitas (kg)	Flow (mm)	Marshall Quetiont (kg/mm)
0	713,07	2,33	305,63
1	858,67	2,23	385,72
3	1034,13	2,67	388,95
5	1149,87	3,10	371,11
7	1276,80	2,53	504,11
14	1370,13	4,05	338,77
21	1254,40	2,50	502,42
28	1138,67	2,37	484,48

Terlihat pada Tabel 4.7. nilai stabilitas semakin meningkat seiring dengan peningkatan waktu pemeraman dan ketika telah melewati waktu pemeraman yang maksimum maka nilai stabilitas pun semakin menurun. Waktu pemeraman dibutuhkan oleh campuran aspal emulsi untuk memberikan waktu untuk air yang terkandung dalam aspal emulsi untuk menguap dan meninggalkan aspal emulsi, yang dalam penelitian ini, digunakan aspal emulsi dengan kadar air sebesar 36,65%. Benda uji yang dibuat pada variasi waktu pemeraman adalah campuran aspal emulsi dengan kadar residu optimum aspal emulsi adalah 5,5% dan menggunakan kadar BGA optimum sebagai substitusi berat residu dari aspal emulsi sebesar 10%.

4.3.1. Hubungan Waktu Pemeraman dengan Stabilitas

Gambar 4.5. memperlihatkan hubungan antara waktu pemeraman dengan nilai stabilitas.



Gambar 4.5. Hubungan waktu pemeraman dengan nilai stabilitas

Terlihat pada Gambar 4.5. hubungan antara waktu pemeraman dengan nilai stabilitas memiliki korelasi yang kuat yaitu nilai $R^2 = 0,957$. Nilai stabilitas yang terjadi pada waktu pemeraman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari masing-masing adalah sebesar 713,07 kg, 858,67 kg, 1034,13 kg, 1149,87 kg, 1276, 80 kg, 1370,13 kg, 1254,40 kg dan 1138,67 kg. Peningkatan nilai stabilitas yang terjadi pada waktu pemeraman 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari terhadap waktu pemeraman 0 hari adalah masing-masing sebesar 20,41%, 45,02%, 61,25%, 79,05%, 92,14%, 75,91% dan 59,68%. Sedangkan penurunan nilai stabilitas yang terjadi pada waktu pemeraman 21 hari dan 28 hari terhadap waktu pemeraman 14 hari adalah masing-masing sebesar 8,64% dan 16,89%.

Kandungan air dalam aspal emulsi tersebut berkorelasi dengan teori yang tertulis didalam Pedoman Pembuatan Aspal Emulsi Jenis Kationik (Departemen Pekerjaan Umum, 1999) yaitu pecahnya aspal emulsi (*breaking*) adalah memecahnya aspal emulsi setelah tercampur dengan agregat. Pada saat memecah, partikel partikel aspal memisahkan diri dari air dan menyelimuti agregat. Gambar 4.5. menunjukkan bahwa nilai stabilitas berkorelasi dengan kadar aspal emulsi berbasis substitusi BGA dengan masa curing. Hasil analisis mengarah pada kesimpulan bahwa kadar aspal emulsi berbasis BGA lebih tinggi korelasinya terhadap stabilitas dibanding masa curing.

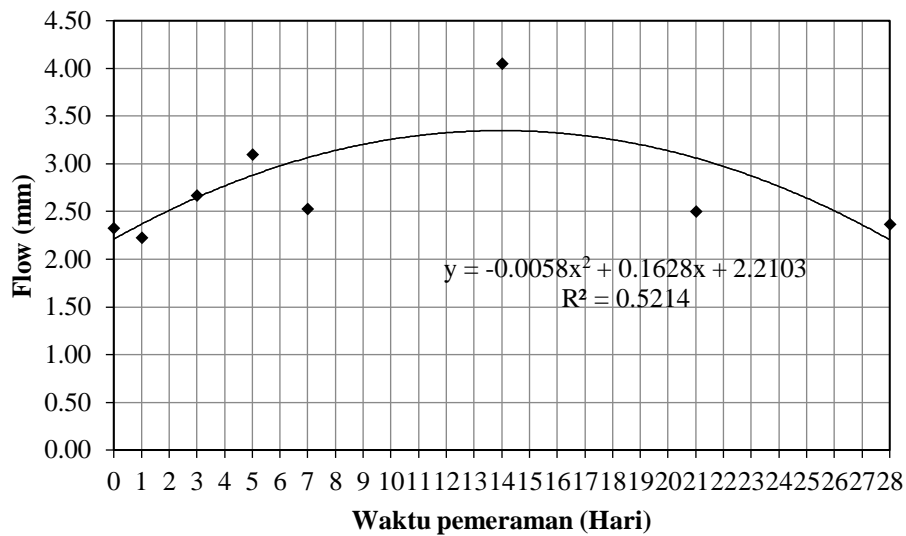
Selain itu, bahwa proses pencampuran dan pemadatan menyebabkan menguapnya air yang terkandung dalam aspal emulsi sehingga air akan meninggalkan rongga sekitar partikel bitumen dari aspal emulsi. Rongga yang muncul ini

menyebabkan kemampuan stabilitas campuran. Mengancam patahan dalam campuran yang menyebabkan terjadinya perlemahan kemampuan campuran dalam menerima beban tarik. Perilaku ini berakibat pada retak dilapisan bawah menuju permukaan yang diawali oleh retak rambut hingga retak buaya pada permukaan AC-WC. Analisis berikutnya adalah kelebihan kadar aspal dapat menyebabkan rongga yang bertambah pada partikel aspal yang bekerja.

Adhesi yang diharapkan bekerja maksimal pada partikel bitumen aspal emulsi dan BGA tidak dapat tercapai sehingga kohesi dari bitumen aspal emulsi dan BGA terhadap material pun tidak maksimal tercapai. Apabila kohesi antara bitumen aspal dengan material batu pecah tidak dapat bekerja maksimal, maka hal ini juga menyebabkan perlemahan ikatan dan rekatan dalam campuran dapat menurun. Oleh karena itu, dapat menjadi penyebab menurunnya nilai stabilitas pada peningkatan kadar aspal yang digunakan. Disamping berbagai hal tersebut, bleeding dapat terjadi pada kadar aspal yang melampaui kadar aspal optimum. Sebaliknya dengan berkurangnya kadar aspal akan menyebabkan rongga diantara agregat tidak terisi secara maksimal dengan aspal emulsi sehingga presentase VIM (*Void in Mineral*) tidak bisa tercapai dan penyelimutan agregat dari aspal emulsi tidak maksimal terjadi sehingga akan menyebabkan nilai stabilitas menurun.

4.3.2. Hubungan Waktu Pemeraman dengan Flow

Gambar 4.6. memperlihatkan hubungan antara waktu pemeraman dengan nilai flow yang didapatkan dari hasil pengujian stabilitas.



Gambar 4.6. Hubungan waktu pemeraman dengan nilai *flow*

Ukuran *flow* atau biasa dikenal dengan keelehan memiliki satuan mm yang dapat mempresentasikan ukuran fleksibilitas dari suatu campuran beraspal. Nilai *flow* yang diperoleh ini, terlihat pada waktu pemeraman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari adalah masing-masing sebesar 2,33 mm, 2,23 mm, 2,67 mm, 3,10 mm, 2,53 mm, 4,05 mm, 2,50 mm dan 2,37 mm.

Nilai *flow* merupakan gambaran kelenturan campuran aspal yang dapat mengikuti deformasi akibat beban yang diberikan (beban roda kendaraan) tanpa retak. Nilai pori yang ditinggalkan oleh air sebagai pelarut dalam aspal emulsi berbasis aspal minyak substitusi BGA akan menyebabkan deformasi dalam campuran sehingga terlihat dalam pengujian bahwa dengan kadar aspal emulsi yang melewati kadar optimum menyebabkan potensi rongga yang besar sehingga nilai *flow* semakin besar yang menyebabkan penurunan nilai stabilitas. Nilai kadar air berbanding lurus dengan

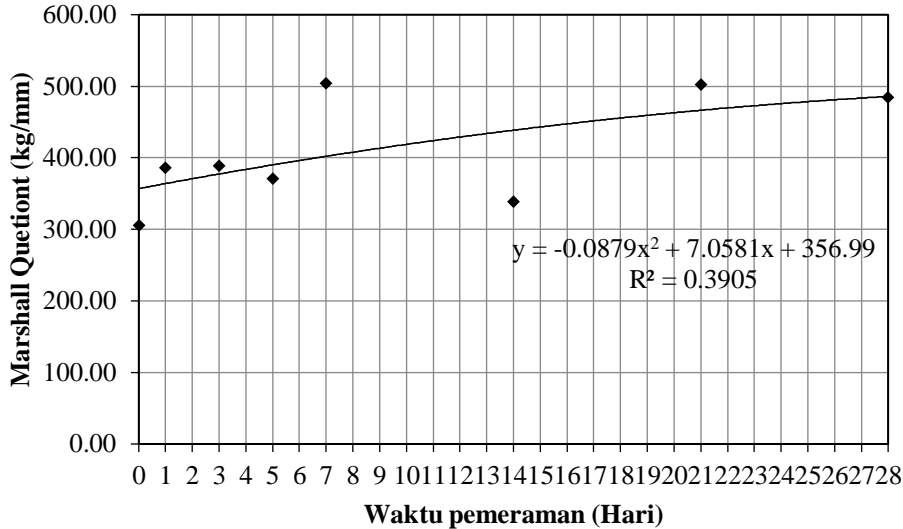
nilai rongga dan nilai *flow* (campuran menjadi tidak elastis atau biasa dikenal dengan istilah getas). Pada kadar aspal emulsi yang tidak mencapai optimum, maka distribusi aspal ke dalam rongga diantara agregat (VMA) akan berkurang, sehingga menyebabkan presentase volume kadar aspal efektif terhadap VMA (VFB) tidak efektif lagi dan akan menyebabkan campuran aspal AC-WC (*Asphalt Concrete Wearing Course*) yang diuji mengalami keruntuhan dan akibatnya stabilitas menurun.

4.3.3. Hubungan Waktu Pemeraman dengan Marshall Quetiont

Gambar 4.7. memperlihatkan hubungan antara waktu pemeraman dengan nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quetiont*). Nilai Marshall Quetiont yang didapatkan sangat bervariasi berdasarkan waktu pemeraman yang diberikan. Pada waktu pemeraman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari menunjukkan nilai Marshall Quetiont (MQ) adalah masing-masing sebesar 305,63 kg/mm, 385,72 kg/mm, 388,95 kg/mm, 371,11 kg/mm, 504,11 kg/mm, 338,77 kg/mm, 502,42 kg/mm dan 484,48 kg/mm.

Hasil bagi Marshall merupakan rasio antara nilai stabilitas dan nilai kelelahan. Campuran AC-WC dengan nilai stabilitas yang cukup tinggi, mempunyai hasil bagi Marshall yang lebih besar. Nilai stabilitas, *flow* dan *Marshall quetiont* dalam campuran AC-WC yang menggunakan perekat aspal emulsi berbasis aspal minyak substitusi BGA sangat ditentukan oleh besarnya kandungan kadar BGA dan bitumen dalam aspal emulsi. Adhesi dan kohesi antara bahan pengikat terhadap agregat sangat

ditentukan oleh besarnya presentase air yang terkandung dalam aspal emulsi dan presentase kadar BGA yang digunakan.



Gambar 4.7. Hubungan waktu pemeraman dengan nilai *Marshall Quotient*

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Berdasarkan analisis hasil pengujian serta pembahasan maka dapat ditarik kesimpulan yaitu :

1. Berdasarkan hubungan antara kandungan kadar aspal emulsi dan seluruh parameter Marshall dan volumetrik didapatkan kadar optimum residu aspal emulsi adalah sebesar 5,5% dan hubungan antara parameter stabilitas dengan kadar BGA maka didapatkan kandungan kadar BGA optimum substitusi bitumen aspal emulsi berada pada kadar 10%.
2. Nilai stabilitas yang diperoleh pada waktu pemeraman 0 hari, 1 hari, 3 hari, 5 hari, 7 hari, 14 hari, 21 hari dan 28 hari masing-masing adalah sebesar 713,07 kg, 858,67 kg, 1034,13 kg, 1149,87 kg, 1276, 80 kg, 1370,13 kg, 1254,40 kg dan 1138,67 kg menggunakan campuran aspal emulsi berbasis substitusi BGA. Kekuatan maksimum dari campuran aspal emulsi berada pada masa pemeraman selama 14 hari.

5.2. Saran

Dari hasil penelitian yang diperoleh, maka terdapat beberapa hal yang disarankan, yaitu : Hasil penelitian ini dapat digunakan untuk mendukung penggunaan aspal emulsi berbasis aspal minyak dan BGA serta sekiranya dapat dijadikan pertimbangan untuk menentukan masa pemeraman campuran aspal emulsi di lapangan.

DAFTAR PUSTAKA

- AASHTO T 245-97 (ASTM D 1559-76). Resistance Plastic of Bituminous Mixtures Using Marshall Apparatus. American Society for Testing and Materials.
- Abbas Al-Hdabi, Hassan Al Nageim, Felicite Ruddock, Linda Seton. (2013). A novel Cold Rolled Asphalt mixtures for heavy trafficked surface course. *Construction and Building Materials* 49 (2013) 598–603.
- Abdul Gaus, Tjaronge M. W, Nur Ali, Rudy Djamaluddin. (2015). Compressive strength of asphalt concrete binder course (AC-BC) mixture using buton granular asphalt (BGA). *Procedia Engineering* 125 (2015) 657 – 662.
- Abrar Mahyuddin, M. W. Tjaronge, Nur Ali, M. Israil Ramli (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).
- Affandi, F., 2006. Hasil pemurnian asbuton Lawele sebagai bahan pada campuran aspal untuk perkerasan jalan. *Jurnal jalan – jembatan*, Vol. 23 No. 3, hal. 6 – 28
- Anonim, 1991. SNI 06-2489-1991, Metode Pengujian Campuran Aspal Dengan Alat Marshall, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Anonim, 2011. SNI 4798:2011, Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Badan Standar Nasional Jakarta.
- Anonim. RSNI T-01-2005 Pengujian Indeks Kepipihan dan Kelonjongan.

Anonim. SNI 03-1968-1990 Pengujian Analisa Saringan Agregat Kasar dan Agregat Halus.

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

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

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

Anonim. SNI 03-2816-1992 Pengujian Kadar Organik Pasir.

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

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

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

Anonim. SNI 06-2432-1991 Pengujian Daktalitas Aspal.

Anonim. SNI 06-2433-1991 Pengujian Titik Nyala Aspal.

Anonim. SNI 06-2434-1991 Pengujian Titik Lembek Aspal.

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

Anonim. SNI 06-2440-1991 Pengujian Kehilangan Berat Aspal.

Anonim. SNI 06-2441-1991 Pengujian Berat Jenis Aspal.

Anonim. SNI 06-2456-1991 Pengujian Penetrasi Aspal.

Anonim. SNI 1969-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar.

Anonim. SNI 1970-2008 Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus.

Atkins, Harold N., 2003. *Highway Materials, Soil, and Concrete*. Pearson Education Inc., Upper Saddle River, New Jersey.

- Badan Standarisasi Nasional, 2011, SNI 4798:2011 Spesifikasi Aspal Emulsi Kationik, Jakarta.
- Bambang S. Subagio, B. I. Siswosoebrotho, Rudy H. Karsaman (2003).
Development Of Laboratory Performance Of Indonesian Rock Asphalt (Asbuton) In Hot Rolled Asphalt Mix. Proceedings of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol.4, October, 2003.
- Bambang S. Subagio, Rudy H. Karsaman, Jimmy Adwang, Ishaq Fahmy (2005).
Fatigue Performance Of Hra (Hot Rolled Asphalt) And *Superpave*® Mixes Using Indonesian Rock Asphalt (*Asbuton*) As Fine Aggregates And Filler. Journal of the Eastern Asia Society for Transportation Studies, Vol. 6, pp. 1207 -1216, (2005).
- Bina Marga, 1999, Pedoman Pembuatan Aspal Emulsi Jenis Kationik, Jakarta.
- Bina Marga, 2006, Spesifikasi Khusus Campuran Dingin dengan Asbuton dan Emulsi.
- Bina Marga, 2006, *Pemanfaatan Asbuton Buku 5 Campuran Beraspal Dingin dengan Asbuton Butir Peremaja Emulsi*, Jakarta.
- Budiamin, Tjaronge M. W, Sumarni Hamid Aly, Rudy Djamaluddin (2015).
Mechanical Characteristics Of Hotmix Cold Laid Containing Buton Granular Asphat (Bga) And Flux Oil As Wearing Course. ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences Vol. 10, No. 12, July 2015.
- Departemen Pekerjaan Umum (DPU), 1985. *Petunjuk Perencanaan Perkerasan Kaku (Beton Semen)*.

Departemen Pekerjaan Umum 1990, *Kajian Teknis Mineral Aspal Buton*,
Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.

Di Kolaka Sulawesi Tenggara.

Ditjen Bina Marga Kemen PU RI, 2010, Divisi 6 Pekerjaan Aspal, Spesifikasi
Umum 2010 (Revisi 3), Jakarta.

DPU, 2006, Pemanfaatan Aspal Buton Buku 3: Campuran Beraspal Panas dengan
Asbuton Olahan, Pedoman Konstruksi dan Bangunan No. 001-03/BM/2006,
Dirjen Bina Marga, Jakarta.

Ferguson, Bruce K., 2005. *Porous Pavement*. Florida USA: CRC Press.

Furqon Affandi (2010). Pengaruh Asbuton Semi Ekstraksi Pada Campuran *Stone
Mastic Asphalt*.

Hosin David Lee, Yongjoo Thomas Kim, Soohyok Dan Im (2009). Examination
Of Curing Criteria For Cold In-Place Recycling. Phase 2: Measuring
Temperature, Moisture, Deflection and Distress from CIR Test Section.

Israil, M.W. Tjaronge, Nur Ali, Rudy Djameluddin (2016). Extraction of Bitumen
Asbuton as Asphalt Emulsion in Cold Asphalt Mix Ac-Wc. International
Journal of Applied Engineering Research ISSN 0973-4562 Volume 11,
Number 22 (2016).

James. 2006. *Overview of Asphalt Emulsion*. *Transportation Research Circular
Number E-C102*. Washington: Transportation Research Board of National
Academies.

- Jinhai Yan, Fujian Ni, Meikun Yang, Jian Li (2010). An Experimental Study On Fatigue Properties Of Emulsion And FoamCold Recycled Mixes. *Construction and Building Materials* 24 (2010) 2151–2156.
- Kemas Ahmad Zamhari, Madi Hermadi, Mohamed H. Ali (2014). Comparing The Performance of Granular And Extracted Binder From Buton Rock Asphalt. *International Journal Of Pavement Research And Technology* Vol.7 No.1 Jan. 2014.
- Kurniadji, 2008. *Laporan Akhir Kajian Teknologi Asbuton dan Unit Pencampur aspal (AMP)*, Pusat Penelitian Jalan dan Jembatan, Bandung.
- L.E Chavez-Valencia, E. Alonso, A. Manzano, J. Perez, M.E. Contreas, C. Signoret (2005). Improving The Compressive Strengths Of Cold-Mix Asphalt Using Asphalt Emulsion Modified By Polyvinyl Acetate. *Construction And Building Materials* 21 (2007) 583–589.
- M A Shafii, M Y Abdul Rahman, J Ahmad (2011). Polymer Modified Asphalt Emulsion. *International Journal of Civil & Environmental Engineering IJCEE-IJENS* Vol: 11 No: 06.
- Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas Buku 1, 2006, Departemen Pekerjaan Umum.
- Mohamad Rizal, M. W. Tjaronge, Nur Ali, Taslim Bahar (2017). Performance Of Porous Asphalt Affected By Aging Process. *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)* Volume 8, Issue 6, June 2017.
- Neni Kusnianti (2008). Pemanfaatan Mineral Asbuton Sebagai Bahan Stabilisasi Tanah.

Nur Ali, Lawalenna Samang, M. W. Tjaronge, Muhammad Isran Ramli (2011).
Experimental Study on Effects of Flood Puddle to Durability of Asphaltic
Concrete Containing Refined Bituminous Asphalt. Journal of the Eastern Asia
Society for Transportation Studies, Vol.9, 2011

Nyoman Suaryana (2008). Penelitian Pemanfaatan Asbuton Butir

Nyoman Suaryana, (2008). Penelitian Pemanfaatan Asbuton Butir di Kolaka
Sulawesi Tenggara-Indonesia.

Pedoman Pemanfaatan Asbuton Buku 1, 2006, Departemen Pekerjaan Umum.

PT. Sarana Karya (Persero), 1987. *Asbuton*. Jakarta.

Rosalina dan Mulizar, (2013). Penelitian Karakteristik Campuran Aspal Emulsi
Bergradasi Rapat.

SNI 03-3634-1994 Pengujian Aspal Emulsi Tertahan Saringan No. 20,

SNI 03-3642-1994 Pengujian Kadar Residu Aspal Emulsi dengan Penyulingan,

SNI 03-3644-1994 Pengujian Jenis Muatan Partikel Aspal Emulsi,

SNI 03-6828-2002 Pengujian Pengendapan Aspal Emulsi,

SNI 03-7658-2002 Tentang Metode Pengujian Kuat Tekan Campuran Beraspal

SNI 06-6721-2002 Pengujian Kekentalan Aspal Cair dan Aspal Emulsi dengan
Alat Saybolt,

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.

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

Transportation Research, Number E-C 102, (2006). *Asphalt Emulsion Technology.*