

DURABILITAS *STONE MASTIC ASPHALT* (SMA)

Oleh

RIZKY MAIMUN



**FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2022**

ABSTRAK

DURABILITAS *STONE MASTIC ASPHALT* (SMA)

Oleh

RIZKY MAIMUN

Pada kebanyakan konstruksi lapis perkerasan sering kali terjadi kerusakan yang diakibatkan oleh genangan air hujan dan beban kendaraan yang berlebihan. Penelitian ini dimaksudkan untuk mengetahui durabilitas dari campuran beraspal *Stone Mastic Asphalt* (SMA). Penelitian yang telah dilakukan menggunakan uji Durabilitas Rendaman dan Durabilitas Ekspos dengan rentang waktu 0 hari, 3 hari dan 7 hari pada masing-masing pengujian durabilitas. Hasil penelitian, kadar aspal optimum (KAO) yang didapatkan sebesar 6% dari kadar aspal rencana 5%, 5,5%, 6%, 6,5% dan 7%. Hasil pengujian campuran berasal *Stone Mastic Asphalt* (SMA) *Size* 14mm mendapatkan nilai Indeks Durabilitas Pertama (IDP), r sebesar 0,27% untuk durabilitas rendaman dan 0,09% untuk durabilitas ekspos. Nilai Indeks Durabilitas Kedua (IDK), terdapat kehilangan kekuatan (a) bernilai positif pada durabilitas rendaman sebesar 11,7% akan tetapi terdapat penambahan kekuatan (a) yang bernilai negatif pada durabilitas ekspos sebesar -0,65%, jumlah kekuatan sisa (S_a) yang didapatkan sebesar 305,4% untuk nilai durabilitas ekspos dan pada variasi durabilitas rendaman yaitu sebesar 280%. Nilai durabilitas campuran relative menrun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman maupun pengeksposan yang disebabkan oleh pori-pori atau rongga campuran yang terisi air perendaman dan air hujan hasil ekspos yang dilakukan sehingga kerusakan campuran akan mudah terjadi.

Kata Kunci: Durabilitas, *Stone Mastic Asphalt*, *Marshall*.

ABSTRACT

DURABILITY OF STONE MASTIC ASPHALT (SMA)

By

RIZKY MAIMUN

In most pavement constructions, damage is often caused by puddles of rain and excessive vehicle loads. This study was intended to determine the durability of the Stone Mastic Asphalt (SMA) asphalt mixture. Research that has been carried out using the Immersion Durability and Exposure Durability tests with a time span of 0 days, 3 days and 7 days for each durability test. The results showed that the optimum asphalt content (OAC) obtained was 6% of the design asphalt content of 5%, 5.5%, 6%, 6.5% and 7%. The test results for the mixture of Stone Mastic Asphalt (SMA) Size 14mm got the First Durability Index (IDP), r of 0.27% for immersion durability and 0.09% for exposure durability. The value of the Second Durability Index (IDK), there is a loss of strength (a) which is positive in immersion durability of 11.7% but there is an increase in strength (a) which is negative in exposure durability of -0.65%, the amount of residual strength (S_a) obtained is 305.4% for the exposure durability value and the immersion durability variation is 280%. The relative durability value of the mixture decreases with increasing immersion and exposure time caused by the pores or mixed cavities filled with soaking water and rainwater resulting from exposure so that damage to the mixture will easily occur.

Keywords: Durability, Stone Mastic Asphalt, Marshall.

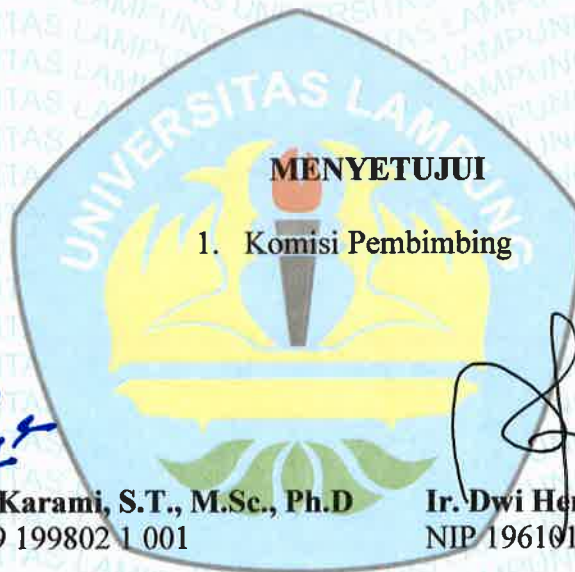
Judul Skripsi : **Durabilitas Stone Mastic Asphalt (SMA)**

Nama Mahasiswa : **Rizky Maimun**

Nomor Pokok Mahasiswa : 1715011048

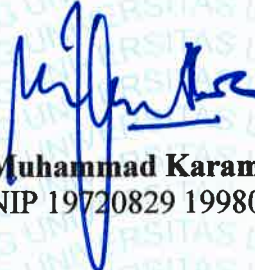
Program Studi : S1 Teknik Sipil

Fakultas : Teknik




Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001


Ir. Dwi Herianto, M.T.
NIP 19610102 198803 1 000


2. Ketua Program Studi S1 Teknik Sipil


3. Ketua Jurusan Teknik Sipil,

Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.
NIP 19720829 199802 1 001

Ir. Laksmi Irianti, M.T.
NIP 19620408 19893 2 001

MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

Ketua : Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

Sekretaris : Ir. Dwi Herianto, M.T.

Anggota : Sasana Putra, S.T., M.T.

2. Dekan Fakultas Teknik



Dr. Eng. Helmy Fitriawan, S.T., M.Sc.
NIP 19750928 200112 1 002

Tanggal Lulus Ujian Skripsi : 07 Oktober 2022

Three handwritten signatures in blue ink are located on the right side of the page. The top signature is the most legible, followed by two more stylized signatures below it.

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : **Rizky Maimun**

NPM : 1715011048

Prodi/Jurusan : S1/Teknik Sipil

Fakultas : Teknik

Judul : *Durabilitas Stone Mastic Asphalt (SMA)*

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah ditetapkan. Ide penelitian didapat dari Pembimbing I, oleh karena itu baik atas data penelitian berada pada Saya dan Pembimbing I, Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D.

Apabila dikemudian hari ternyata ditemukan adanya ketidakbenaran, saya bersedia menanggung akibat dan sanksi yang berlaku.

Bandar Lampung, 2 Desember 2022

Pembuat Pernyataan,



Rizky Maimun

RIWAYAT HIDUP



Rizky Maimun, lahir di Muara Gading Mas, 25 Mei 1999, yang merupakan anak kelima dari lima bersaudara pasangan dari Alm. Bapak Raden Amri dan Ibu Ummu Kulsum. Penulis menempuh pendidikan dimulai dari pendidikan Taman Kanak-kanak (TK) di TK Al-Qur'an Muara Gading Mas (2003-2005), melanjutkan Sekolah Dasar (SD) di SD Negeri 1 Muara Gading Mas (2005-2011), lalu Sekolah Menengah Pertama (SMP) di SMP Islam Nurul Iman (2011-2014), dan Sekolah Menengah Atas (SMA) diselesaikan di SMA Perintis 1 Bandar Lampung (2014-2017). Pada tahun 2017, penulis terdaftar sebagai mahasiswa Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Lampung melalui jalur SBMPTN. Selama menjadi mahasiswa penulis aktif di organisasi kemahasiswaan Himpunan Mahasiswa Teknik Sipil Universitas Lampung (HIMATEKS), penulis tercatat sebagai anggota Hubungan Luar (2018/2019), dan Sekretaris Departemen Hubungan Luar (2019/2020). Penulis melaksanakan kegiatan Kuliah Kerja Nyata (KKN) tahun 2021 pada periode I di Desa Muara Gading Mas, Kecamatan Labuhan Maringgai, Kabupaten Lampung Timur. Tahun 2020 penulis juga melaksanakan Kerja Praktik (KP) pada Proyek Pembangunan Gudang Bulog, Campang Raya, Bandar Lampung.

PERSEMBAHAN

بِسْمِ اللَّهِ الرَّحْمَنِ الرَّحِيمِ

Puji dan syukur kehadiran Allah SWT yang telah memberikan aku kekuatan dan kesempatan hingga berada di titik ini

Kupersembahkan skripsiku ini untuk orang-orang tersayang dalam hidupku

Teruntuk diriku sendiri, yang sudah berjuang bersama melewati segala hal. Ini bukan akhir dari perjuangan melainkan titik awal menuju harapan

Teruntuk kedua orang tuaku, kakakku, sahabatku dan teman hidupku yang selalu memberikan kasih sayang dan segala hal terbaik untuk hidupku

MOTTO

“Keep your eyes on the stars and your feet on the ground.”

- Theodore Roosevelt -

" Balas dendam terbaik adalah menjadikan dirimu lebih baik."

- Ali bin Abi Thalib -

“If you get tired, learn to rest not to quit.”

- unknown -

SANWACANA

Segala puji dan syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT, yang telah melimpahkan nikmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.

Skripsi dengan judul “**Durabilitas Stone Mastic Asphalt (SMA)**” ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Sipil di Universitas Lampung.

Pada penyusunan skripsi ini penulis mengucapkan terima kasih yang tak terhingga kepada semua pihak atas bantuan, dukungan, bimbingan, dan pengarahan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan, antara lain kepada :

1. Bapak Prof. Drs. Ir. Suharno, Ph.D., IPU., ASEAN Eng., selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Lampung.
2. Ibu Ir. Laksmi Irianti, M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
3. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D., selaku Ketua Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung.
4. Bapak Muhammad Karami, S.T., M.Sc., Ph.D. selaku Dosen Pembimbing I skripsi saya yang telah memberikan masukan perihal judul skripsi dan telah

meluangkan waktu serta memberikan pengarahan kepada saya dalam proses penyelesaian skripsi ini.

5. Bapak Ir. Dwi Herianto, M.T, selaku Dosen Pembimbing II skripsi saya yang telah meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan pengarahan kepada saya demi kesempurnaan skripsi ini.
6. Bapak Sasana Putra, S.T, M.T, selaku Dosen Penguji saya yang telah memberikan arahan serta motivasi selama masa perkuliahan dan penyelesaian skripsi ini.
7. Ibu Prof. Dr. Ir. Lusmeilia Afriani, D.E.A., IPM, selaku dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan nasihat semasa perkuliahan.
8. Bapak Alm. Ir. Idharmahadi Adha, M.T. dan Seluruh Dosen Jurusan Teknik Sipil yang telah memberikan ilmu pengetahuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik Sipil, Universitas Lampung.
9. Seluruh teknisi dan karyawan di Fakultas Teknik, yang telah memberikan bantuan kepada penulis selama menjadi mahasiswa di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.
10. Mama, Bapak, Cak, kak Fika, kak Ondang, bang Adi, kakak-kakak iparku dan keluarga yang amat sangat saya sayangi. Terima kasih sudah selalu hadir untuk memberikan kasih sayang, do'a restu, dan dukungan setiap harinya, sehingga penulis dapat menyelesaikan perkuliahan di Jurusan Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Lampung.

11. Teman-teman baik saya Nina, Mutiara, Anjani, Ira, Cenul, Helda, Cici, Neneng, Mela, Itoh, Ayu, Deni dan keluarga Aritonang, serta teman-teman Dulu sedekat daki dan lainnya yang tidak bisa saya sebutkan semua.
12. Keluarga Besar Teknik Sipil Universitas Lampung terkhusus teman-teman seperjuanganku angkatan 2017, terima kasih atas kebersamaan, dukungan, dan bantuannya selama penulis menjalani perkuliahan.
13. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu persatu yang telah memberikan bantuan dalam menyelesaikan skripsi ini. Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna, karena itu saran dan kritik yang membangun sangat penulis harapkan. Semoga skripsi ini dapat berguna dan bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

Bandar Lampung, 10 Oktober 2022

Penulis,

Rizky Maimun

DAFTAR ISI

	Halaman
ABSTRAK	i
ABSTRACT	ii
PERSETUJUAN.....	iii
PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN.....	v
RIWAYAT HIDUP	vi
PERSEMBAHAN.....	vii
MOTTO	viii
SANWACANA	ix
DAFTAR ISI.....	xii
DAFTAR GAMBAR.....	xiv
DAFTAR TABEL	xv
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	3
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Batasan Masalah	3
1.5 Manfaat Penelitian	4
1.6 Sistematika Penulisan	4
II. TINJAUAN PUSTAKA.....	6
2.1 Campuran Aspal Panas	6
2.2 <i>Stone Mastic Asphalt</i> (SMA)	6

2.3 Durabilitas.....	14
III. METODE PENELITIAN	18
3.1 Persiapan dan Pemeriksaan Material	19
3.2 Desain Campuran Beraspal.....	21
3.3 Pembuatan Benda Uji dan Pengujian <i>Marshall</i>	22
3.4 Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO).....	34
3.5 Pembuatan Benda Uji Durabilitas.....	36
3.6 Pengujian Durabilitas Rendaman dan Durabilitas Ekspos.....	38
3.7 Analisis Hasil Penelitian	41
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	44
4.1 Hasil Pengujian <i>Marshall</i>	44
4.2 Analisis Indeks Durabilitas Campuran Aspal	44
V. KESIMPULAN DAN SARAN	52
5.1 Kesimpulan	52
5.2 Saran	53

DAFTAR PUSTAKA

LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
2.1. Kurva Keawetan	17
3.1. Diagram Alir Penelitian	18
3.2. Sebelum dan sesudah di campur aspal dalam keadaan lepas	25
3.3. Proses penyedotan gelembung udara, dan (b) Piknometer berisi sampel.....	26
3.4. (a) Menimbang benda uji sesuai perhitungan, (b) Mengeluarkan benda uji padat dari <i>Mould</i>	30
3.5. (a) Seperangkat alat <i>Marshall Compactor</i> , (b) Benda uji padat hasil <i>Marshall Compactors</i>	31
3.6. Pengujian <i>marshall</i>	34
3.7. Menentukan kadar aspal optimum.....	36
3.8. Proses pembuatan benda uji	38
3.9. Alat pengujian <i>marshall</i>	39
3.10. Proses pengujian <i>marshall</i>	41
4.1. Indeks Kekuatan Sisa.....	46
4.2. Indeks durabilitas pertama (IDP) gabungan	47
4.3. Kehilangan kekuatan (a) gabungan	49
4.4. Kekuatan sisa (s_a) gabungan.	50

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
2.1. Gradasi agregat Gabungan untuk Campuran SMA	10
2.2. Ketentuan Agregat Kasar dalam Campuran Beraspal Panas	10
2.3. Ketentuan Agregat Halus Campuran Beraspal Panas.....	11
2.4. Persyaratan Aspal yang digunakan pada SMA.....	12
3.1. Standar Pengujian Agregat	19
3.2. Hasil Pengujian Agregat	20
3.3. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70.....	20
3.4. Gradasi Agregat Gabungan SMA 14 mm.....	22
3.5. Perhitungan Proporsi Berat Pengujian Gmm.....	23
3.6. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 5%	23
3.7. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 5,5%	23
3.8. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 6%	23
3.9. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 6,5%	24
3.10. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 7%	24
3.11. Data Hasil Pengujian kepadatan maksimum	26
3.12. Hasil Perhitungan <i>Maximum Density</i>	27
3.13. Perhitungan Proporsi Berat Campuran Beraspal	28
3.14. Kebutuhan Agregat per Kadar Aspal.....	29

3.15. Data Hasil Pengujian <i>Bulk Density</i>	31
3.16. Data Hasil Perhitungan <i>Bulk Density</i>	33
3.17. <i>Bulk Density</i> dan Kandungan Rongga Campuran	33
3.18. Hasil Uji Stabilitas dan <i>Flow</i>	34
3.19. Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal.....	36
3.20. Persyaratan campuran SMA	36
3.21. VIM (<i>Void In Mix</i>).....	35
3.21. Hasil uji kepadatan maksimum KAO	36
3.22. Proporsi Berat Campuran dengan Kadar Aspal Optimum	37
3.23. Berat Agregat Per-Saringan.....	37
3.24. Jumlah Benda Uji Durabilitas Rendaman dan Durabilitas Ekspos	37
4.1. Hasil Nilai Stabilitas	45
4.2. Indeks Kekuatan Sisa (IKS).....	46
4.3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP) Campuran SMA	46
4.4. Indeks Durabilitas Kedua Durabilitas Rendaman.....	48

I. PENDAHULUAN

1.1. Latar belakang

Seiring berjalannya waktu, kebutuhan akan infrastruktur jalan semakin meningkat, keanekaragaman aktivitas masyarakat di berbagai bidang. Lapis perkerasan jalan adalah bagian terpenting pada struktur konstruksi jalan. Beban lalu lintas tinggi menjadi masalah bagi perkerasan jalan dan iklim tropis menyebabkan tingginya suhu sehingga menyebabkan proses penuaan dan beban kendaraan semakin berat, beberapa struktur jalan relatif tidak memadai, sehingga mempengaruhi permukaan jalan menanggung beban lalu lintas. Secara teknis, selama masa pelayanan seringkali didapati lapis perkerasan jalan tidak sesuai dengan umur rencana yang ditentukan, kerusakan seperti rembesan air, alur, retak, dan kerusakan jalan lainnya. Kerusakan tersebut disebabkan oleh beberapa kendala dalam pemeliharaan jalan, maka perlu adanya campuran perkerasan yang memiliki stabilitas dan durabilitas tinggi, tidak sensitif terhadap cuaca panas, tahan oksidasi, tidak rembes air hujan, namun tetap aman untuk lingkungan.

Pada kasus diatas, banyak metode telah dikembangkan dalam rekayasa perkerasan untuk merawat lapisan permukaan, atas dan bawah. Untuk permukaan struktur yang menggunakan campuran panas, salah satunya yang sesuai dengan kondisi yang dibutuhkan saat ini adalah *Stone/Split Mastic Asphalt* (SMA). Campuran panas ini (SMA) pertama kali dikembangkan di Jerman pada tahun 1960. Sedangkan untuk campuran SMA masih belum banyak digunakan pada perkerasan jalan di Indonesia.

Menurut Sukirman (1999), *Stone/Split Mastic Asphalt* (SMA) adalah beton aspal gradasi terbuka dengan lapisan aspal yang tebal. Terdiri dari 70%

hingga 80% agregat kasar, dan bahan pengisi sekitar 11%. Terdapat kelebihan-kelebihan campuran ini diantaranya mengandung permukaan material yang tahan deformasi dan tahan lama, cocok untuk jalan dengan lalu lintas tinggi. SMA juga digunakan sebagai pilihan permukaan aspal yang tahan lama untuk jalan perumahan dan jalan raya. SMA memiliki kandungan agregat kasar yang tinggi dan sifat *interlocking* yang baik, membentuk kerangka batuan yang tahan terhadap deformasi permanen dan tahan air. Kerangka diisi dengan bitumen dan pengisi yang ditambahkan serat untuk memberikan stabilitas aspal dan mencegah hilangnya pengikat selama transportasi dan penempatan.

Kinerja ketahanan bekas roda SMA dikaitkan dengan komponen kerangka agregat kasar yang menunjukkan kontak batu-ke-batu karena gradasi-gradasi celahnya. Kerangka batu yang saling mengunci memberikan stabilitas untuk menahan beban lalu lintas yang berat dengan alur yang minimal. Kandungan pengikat aspal yang tinggi dari mortar meningkatkan durabilitas. Kandungan bahan pengisi mineral yang tinggi meningkatkan stabilitas dan durabilitas dengan menghasilkan mortar kaku yang tidak hanya tahan karat tetapi juga membantu menahan partikel agregat kasar pada tempatnya (Qiu, 2007).

Selain itu, beberapa keunggulan campuran SMA (Aloysius et al., 2010), diantaranya: dapat menahan alur (*Rutting resistance*) dengan suhu tinggi serta lalu lintas berat, tahan pengausan oleh roda kendaraan (*wearing resistance*), keseragaman (homogen) struktur dengan permukaan yang kasar, kadar aspal tinggi, lapisan aspal tebal sehingga tahan terhadap proses oksidasi bitumen akibat sinar UV, mencegah terjadinya pelapukan, dan kelekatan yang lebih baik terhadap campuran sehingga umur layanan menjadi lebih panjang, fleksibel dalam mengatasi ketidakstabilan lapisan dibawahnya.

Namun di sisi lain, SMA juga memiliki kekurangan, yaitu tidak peka terhadap perubahan kadar aspal terhadap campuran, kadar aspal tinggi mengakibatkan peningkatan biaya material, penurunan produktivitas akibat waktu

pencampuran dan waktu yang dibutuhkan untuk menambah pengisi ekstra, resiko pengaliran aspal dari agregat (pendarahan) jika tidak didinginkan hingga 40°C yang menyebabkan ketebalan lapisan aspal meipis (Ahmad et al., 2018)

Karena penelitian dan aplikasi masih terbatas, maka perlu dilakukan penelitian durabilitas campuran SMA sebagai lapisan tahan aus. Salah satu karakteristik *Stone Mastic Asphalt* (SMA) adalah kandungan agregat kasarnya yang tinggi. Penelitian ini berfokus pada campuran SMA yang terbaik untuk mendapatkan nilai durabilitas yang terbaik berdasarkan spesifikasi bina marga dan Australia.

1.2. Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang diatas, permasalahan pada penelitian ini adalah bagaimana nilai durabilitas atau daya tahan aspal pada campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA)?

1.3. Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui nilai durabilitas atau daya tahan aspal pada perkerasan *Stone Mastic Asphalt* (SMA) keadaan *Optimum Asphalt Content* (OAC).

1.4. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penelitian ini dilakukan pada Laboratorium Transportasi Jalan Teknik Sipil Universitas Lampung.
2. Standar ketentuan spesifikasi yang digunakan untuk campuran material *Stone Mastic Asphalt* (SMA) berdasarkan pada spesifikasi bina marga dan Australia.

3. Variasi kadar aspal ditentukan berdasarkan hasil grafik *Optimum Asphalt Content* (OAC).
4. Gradasi agregat menggunakan gradasi kasar berdasarkan spesifikasi Australia (Austroads 2004).
5. Banyaknya sampel berjumlah 15 sampel terdiri dari 3 sampel masing-masing variasi kadar aspal untuk pengujian KAO dan 18 buah untuk pengujian durabilitas yang terdiri dari 3 sampel pada masing-masing variasi pengujian..
6. Aspek durabilitas ditinjau dengan menggunakan *Mashall test*

1.5. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian yaitu penelitian ini diharapkan dapat memberikan referensi untuk pemilihan campuran aspal perkerasan jalan dan dijadikan sebagai pengembangan metode campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA).

1.6. Sistematika Penulisan

Secara sistematis, pembahasan yang diuraikan pada penelitian ini dibagi kedalam lima bab, antara lain sebagai berikut

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan latar belakang, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini berisikan teori-teori dan rumus-rumus yang digunakan sebagai referensi landasan atau acuan dari penelitian dari berbagai sumber.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan mengenai metode yang digunakan dalam penelitian untuk mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam proses pengolahan data.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menguraikan tentang pelaksanaan penelitian yang dilakukan, mencakup hasil pengumpulan data, pengolahan data, hasil analisis, dan pembahasan data berdasarkan hasil yang diperoleh dari teori yang ada.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisikan tentang kesimpulan dan saran yang diambil dari hasil penelitian. Pada akhir penulisan skripsi ini akan dilampirkan daftar pustaka sebagai referensi penunjang yang digunakan dan lampiran yang berisi data-data penunjang dalam proses pengolahan data.

II. TINJAUAN PUSTAKA

2.1. Campuran Aspal Panas

Campuran aspal panas adalah perpaduan campuran antara agregat dan aspal. Agregat mempunyai peran penting sebagai kekuatan utama dalam campuran perkerasan. Aspal sebagai pengikat antar partikel agregat. Material penyusun campuran aspal panas memiliki friksi dan kohesi yang mempengaruhi sifat mekanis aspal panas. Friksi agregat didapatkan dari ikatan antar butir agregat, gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat. Sifat kohesinya didapatkan dari sifat-sifat aspal yang digunakan. sehingga kinerja campuran beraspal dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal serta sifat-sifat campuran padat dari kedua bahan tersebut (Maulana, 2020).

2.2. *Stone Mastic Asphalt (SMA)*

Berdasarkan SNI 8129 (2015), Istilah campuran SMA di Eropa dikenal dengan *Stone Mastic Asphalt*, sedangkan di Amerika dikenal dengan *Stone Matrix Asphalt* dan disebut dengan istilah SMA. SMA adalah jenis campuran beraspal panas yang dapat digunakan sebagai lapis permukaan dengan beberapa karakteristik lapisan yang dapat memberikan beberapa keuntungan bagi pengendara karena mempunyai ketahanan gelincir (*skid resistant*) yang cukup tinggi. Di sisi lain, campuran SMA mempunyai gradasi agregat hampir seragam sehingga memiliki ketahanan-ketahanan terhadap deformasi (*rutting*) maka lebih tepat digunakan untuk kendaraan dan lalu lintas berat.

Sifat-sifat *Split Mastic Asphalt* (Dirgantara & Firmanto, 1999) antara lain, sebagai berikut :

1. Mampu melayani lalu lintas berat

<i>Stability Marshall</i>	: > 750 kg
<i>Flow Marshall</i>	: 2 - 4 mm
2. Tahan terhadap oksidasi

Tebal lapisan <i>film</i> aspal	: 10 μ
---------------------------------	------------
3. Tahan terhadap deformasi permanen pada suhu tinggi

Nilai stabilitas dinamis	: > 1500 lintasan (60°C; 6,4 kg/cm ²)
--------------------------	---
4. Kelenturan (fleksibilitas)

<i>Marshall quotient</i>	: 190 - 300 kg/mm
--------------------------	-------------------
5. Ketahanan terhadap cuaca dan perubahan temperatur (*durability*)

Titik lembek (aspal + selulosa)	: > 60°C
---------------------------------	----------
6. Kedap air Rongga udara

Indeks perendaman	: > 75% (60°C, 48 jam)
-------------------	------------------------
7. Aman untuk lalu lintas (kesat)

Nilai kekesatan	: > 0,60
-----------------	----------
8. Tingkat keseragaman campuran yang tinggi

Kadar agregat kasar	: tinggi
Viskositas aspal	: tinggi

Sukirman (2003), menyatakan bahwa *Stone Mastic Asphalt* (SMA) merupakan campuran agregat kasar, agregat halus, bahan pengisi, aspal, dan bahan tambah atau merupakan campuran beton aspal panas bergradasi senjang (*gap graded*) yang terdiri dari campuran *stone*, mastik aspal, serta bahan tambah. SMA dengan sifat-sifat sebagai berikut:

1. Persentase fraksi kasar/CA yang tinggi (70%-80%) dan memiliki gradasi terbuka (*open graded*).
2. Kadar aspal dan kekentalan/Ti aspal tinggi (6,5%-7,5%) sebagai tebal filler aspal cukup tebal.
3. Memerlukan agregat filler yang cukup banyak.
4. Memerlukan bahan tambahan untuk stabilitasi bitumen.

Lake et al. (2010), menyatakan sifat-sifat campuran SMA bergardasi terbuka dengan kadar *chipping* tinggi (sekitar 75%) ukuran agregat >2 mm, yaitu:

1. Dapat menahan alur (*Rutting resistance*) dengan suhu tinggi serta lalu lintas berat yang berpusat pada suatu tempat (jejak roda kendaraan). Struktur mineral tipe kerangka (*Skeleton*) dapat menahan reformasi dengan terjadinya perpindahan gaya langsung diantara *chipping* dan *mastic* yang berwujud aspal mortar sehingga dapat menahan struktur *chipping* tetap ditempatnya.
2. Dapat menahan terjadinya pengausan disebabkan oleh roda kendaraan (*wearing resistance*). Ketahanan diperoleh dari kontak langsung roda kendaraan dengan *chipping*.
3. Keseragaman (homogen) struktur dan struktur permukaan yang kasar.
4. Dengan kadar aspal tinggi disebabkan rongga-rongga dalam campuran.
5. Lapisan aspal dapat dilaksanakan dengan pelapisan yang tipis.
6. Dengan kadar aspal tinggi memberikan lapisan aspal yang tebal sehingga tahan terhadap proses oksidasi bitumen akibat sinar UV dari sinar matahari yang berfungsi sebagai katalisator, mencegah terjadinya pelapukan, dan kelekatan yang lebih baik terhadap campuran. Sehingga umur layanan menjadi lebih panjang.
7. Antara lapisan SMA sebagai *wearing course* dengan lapisan di bawah nya terjadi kelekatan yang lebih baik.
8. Fleksibel dalam mengatasi ketidakstabilan lapisan di bawah nya.

Sedangkan, kekurangan dari campuran SMA (Lake et al., 2010) adalah:

1. Tidak peka terhadap perubahan kadar aspal terhadap campuran.
2. Kadar aspal tinggi mengakibatkan peningkatan biaya material.
3. Penurunan produktivitas akibat waktu pencampuran dan waktu yang dibutuhkan untuk menambah pengisi ekstra.
4. Resiko pembilasan pengikat ke permukaan (pendarahan) jika tidak didinginkan hingga 40°C (bercak dan spot).

2.2.1. Campuran Bahan Material *Stone Mastic Asphalt* (SMA)

Komposisi *Stone mastic asphalt* terdiri dari 70-80% agregat kasar, 8-12% filler, dan 6-7% aspal. Emery et al. (1993), menggunakan campuran SMA yang terdiri dari agregat kasar 70% dengan ukuran yang dipakai 11-16 mm, kadar semen aspal 6,5-8% dengan kisaran nilai penetrasi sebesar 65, 80, 200 dan bahan tambahan yaitu kandungan filler 8-13%, kandungan serat 0,3-15% yang menggunakan mineral kaca atau serat selulosa (serat tidak digunakan dalam campuran bermuatan polimer tinggi). Metode desain campuran marshall (50 pukulan setiap permukaan pada 135°C) dengan rongga udara 3%, semua agregat 100 % hancur.

Bahan-bahan pembentuk dalam campuran *stone mastic asphalt* (SMA) yang utama adalah Agregat. Berdasarkan SNI 8129 (2015), agregat adalah sekumpulan butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lainnya, baik berupa hasil alam maupun hasil buatan. Secara umum agregat terbagi menjadi tiga, yaitu:

1. Agregat kasar

Fraksi agregat kasar untuk rancangan campuran adalah yang tertahan ayakan No. 4 (4,76 mm) dan haruslah bersih, keras, awet dan bebas dari lempung atau bahan yang tidak dikehendaki lainnya.

2. Agregat halus

Fraksi agregat halus dari sumber bahan manapun, harus terdiri dari penyaringan batu pecah dan terdiri dari bahan yang lolos ayakan No. 4 (4,76 mm)

3. Bahan pengisi (filler)

Bagian dari agregat halus yang minimum 75% beratnya harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 200 (75 micron).

Berikut ini adalah gradasi agregat gabungan untuk campuran SMA (Austroads, 2004) yang ditunjukkan pada Tabel 2.1 sebagai berikut:

Tabel 2.1. Gradasi agregat Gabungan untuk Campuran SMA

Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang Lolos Terhadap Total Agregat		
	Size 14 mm	Size 10 mm	Size 7 mm
19	100		
13.2	90-100	100	
9.5	30-55	90-100	100
6.7	20-35	30-55	85-100
4.75	18-30	20-40	30-62
2.36	15-28	15-28	20-35
1.18	13-24	13-24	16-28
0.60	12-21	12-21	14-24
0.300	10-18	10-18	12-20
0.150	9-14	9-14	10-16
0.075	8-12	8-12	8-12
<i>Binder Content</i>	5.8-6.8	6.0-7.0	6.0-7.3

Sumber: Austroads, 2004.

Agregat terbagi dalam 2 jenis yaitu agregat kasar dan agregat halus, antara lain sebagai berikut:

1. Agregat Kasar

Menurut SNI 1970 (2008), agregat kasar merupakan kerikil sebagai hasil disintegrasi alami dari batuan atau berupa batu pecah yang diperoleh dari industri pemecah batu dan mempunyai ukuran butir antara 4,75 mm (No.4) sampai 40 mm (No. 1½ inci). Ketentuan Agregat kasar dalam Campuran Aspal Panas serta ukuran nominal agregat kasar penampung dingin untuk campuran beraspal dilampirkan pada Tabel berikut:

Tabel 2.2. Ketentuan Agregat Kasar dalam Campuran Aspal Panas.

Pengujian	Jenis / Jumlah Putaran	Metoda Pengujian	Nilai
Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 Putaran 500 Putaran	SNI 3407-2008	Maks 6% Maks 30%
Abrasi dengan Mesin Los Angeles	100 Putaran	SNI 2417-2008	Maks 8%
Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	500 Putaran	SNI 2417-2008	Maks 40%
Butir pecah pada agregat kasar	SMA Lainnya	SNI 7619-2012	100/90 *) 95/90 **)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA Lainnya	ASTM D4791-19 Perbandingan 1:5	Maks 5% Maks 10%
Material lolos ayakan No.200		ASTM C117-2012	Maks 1%

2. Agregat Halus

Berdasarkan ASTM C33 agregat halus umumnya berupa pasir dengan partikel butir lebih kecil dari 5 mm atau lolos saringan No.4 dan tertahan pada saringan No. 200. Ketentuan agregat halus untuk campuran aspal panas ditunjukkan pada Tabel 2.3 berikut:

Tabel 2.3. Ketentuan Agregat Halus Campuran Beraspal Panas.

Pengujian	Metode Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasatan	SNI 03-6877-2002	Min. 45%
Gumpalan Lempung dan butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4131-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No.200	SNI ASTM C117:2012	Maks 10%

Bahan pengisi (filler) dapat menggunakan debu batu kapur, semen portland, abu terbang, abu tanur semen atau material non plastis lainnya, asalkan bahan yang lolos ayakan No.200 (75 micron) tidak kurang dari 75% dan bahan yang lolos ayakan No.30 (600 micron) mempunyai sifat nonplastis. Bahan pengisi yang digunakan tidak boleh menggumpal dan harus dalam keadaan kering (Lake et al., 2010).

2.2.2. Aspal

Aspal berasal dari alam atau dari pengolahan minyak bumi. Aspal atau bitumen adalah suatu cairan kental yang merupakan senyawa hidrokarbon dengan sedikit mengandung sulfur, oksigen, dan klor. Aspal sebagai bahan pengikat dalam perkerasan lentur mempunyai sifat viskoelastis (Maulana, 2020). Persyaratan aspal pada campuran SMA dijelaskan dalam Tabel 2.4 antara lain sebagai berikut:

Tabel 2.4. Persyaratan Aspal yang digunakan pada SMA

No	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe 1 Aspal pen. 60/70	Tipe II Aspal yang dimodifikasi		
				A	B	C
				Asbuton yang diproses	Elastomer Alam (Latex)	Elastomer Sintetis
1	Penetrasi pada 25°C(0,1mm)	SNI 2456:2011	60/70	Min. 50	50-70	Min 40
2	Titik Lembek(°C)	SNI 2434:2011	≥48	≥53	-	≥54
3	Daktilitas Pada 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	≥100	≥100	≥100
4	Titik Nyala (°C)	SNI 2433:2011	≥232	≥233	≥234	≥235
5	Kelarutan dalam Trichloroethylene (%)	ASTM D2042	≥99	≥90(*)	≥99	≥99
6	Berat Jenis Aspal	SNI 2441:2011	≥1,0	≥1,0	≥1,0	≥1,0
7	Stabilitas penyimpanan Perbedaan Titik lembek (°C)	ASTM D 5976 PART 6.1 SNI2434:2011	-	≤2.2	≤2.2	≤2.2
8	Berat yang Hilang(%)	SNI 06-2440-1991	≤0,8	≤0,8	-	-
9	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 2456:2011	≥54	≥54	≥54	≥54
10	Keelastisitas setelah pengembalian (%)	AASHTO T301-99	-	-	>45	>60
11	Daktilitas 25°C, (cm)	SNI 2432:2011	≥100	≥50	≥50	-

2.2.3. Nilai Karakteristik Campuran SMA

Menurut Lake et al. (2010) nilai karakteristik campuran SMA yaitu: *Voids in Mix* (VIM), *Void in the Mineral Agregat* (VMA), stabilitas, flow dan MQ.

1. *Voids in Mix* (VIM) / Rongga Udara dalam Campuran.

Menurut Sukirman (1999) VIM adalah persentase volume rongga dan volume total campuran setelah dipadatkan, dinyatakan dalam persen (%). VIM berfungsi untuk mengetahui besar dari rongga campuran, sehingga rongga yang ada tidak terlalu kecil (menimbulkan bleeding) ataupun terlalu besar (menimbulkan oksidasi/ penuaan aspal dengan masuknya udara).

2. *Void in the Mineral Agregat* (VMA) / Rongga di antara Mineral Agregat.

Menurut Sukirman (1999) VMA yaitu ruang yang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, volume aspal efektif dan termasuk rongga udara. VMA banyak ditemukan

terdapat pada partikel agregat suatu campuran beraspal yang telah dipadatkan, yaitu rongga udara dan volume kadar aspal efektif, yang biasanya dinyatakan dalam persentase terhadap volume total benda uji.

3. *Voids Filled with Asphalt* (VFA) / Rongga Terisi Bitumen.

Menurut Sukirman (1999) void Filled with Bitumen (VFA) adalah rongga yang terisi aspal pada campuran setelah mengalami proses pemadatan yang dinyatakan dalam bentuk (%) terhadap rongga antar butir agregat (VMA). Faktor faktor yang mempengaruhi VFA antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan, dan pemanasan aspal.

4. Stabilitas (*Stability*)

Menurut Sukirman (1999) stabilitas adalah kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk permanen seperti gelombang, alur ataupun bleeding. Stabilitas sendiri tergantung antara gesekan internal friction (gesekan antar agregat) dan kohesi. Dan gesekan antar agregat tergantung dari tekstur permukaan gradasi agregat, bentuk partikel, kepadatan campuran dan tebal film aspal.

5. *Flow* (Kelelehan)

Kelelehan adalah keadaan dimana terjadi perubahan bentuk pada suatu campuran aspal yang disebabkan oleh akibat suatu beban, dinyatakan dalam satuan mm. Parameter kelelehan digunakan untuk mengetahui nilai deformasi (perubahan bentuk) vertikal campuran pada saat diberikan beban hingga hancur (pada saat stabilitas maksimum).

6. *Marshall Quotient* (MQ)

Menurut Sukirman (1999) marshall quotient adalah hasil bagi dari nilai stabilitas dengan nilai flow yang digunakan pendekatan

terhadap tingkat kekakuan campuran. Lapis keras yang mempunyai nilai marshall quotient yang sangat tinggi akan mudah terjadi retak-retak akibat beban lalu lintas. Sebaliknya jika nilai marshall quotient yang cenderung sangat rendah menunjukkan campuran terlalu fleksibel yang dapat mengakibatkan perkerasan mudah berubah bentuk jika menahan beban lalu lintas.

2.3. Durabilitas

Durabilitas pada campuran SMA merupakan kemampuan beton aspal menerima beban lalu lintas seperti berat kendaraan dan gesekan antara roda kendaraan dan permukaan jalan, serta menahan keausan akibat pengaruh cuaca dan iklim, seperti udara, air, atau perubahan temperatur (Hidayat & Kushari, 2019). Durabilitas merupakan daya campuran bitumen untuk terus menerus melawan pengaruh terhadap temperature serta air (Craus et al, 1981). Salah satu faktor menurunnya nilai durabilitas adalah air, jika lapisan aspal sering terendam oleh air maka dapat disimpulkan bahwa lapisan tersebut mengalami penurunan nilai durabilitas.

Lake et al., (2010) menyatakan bahwa, salah satu cara untuk menilai potensi durabilitas campuran *split mastic asphalt* adalah dengan melihat nilai Indeks Kekuatan Sisa (IKS) yang didapatkan sebagai hasil dari tes perendaman Marshall. Durabilitas campuran adalah ketahanan suatu campuran terhadap pengaruh cuaca dan temperatur.

Indeks Kekuatan Sisa (IKS) atau *Index of Retained Strength* adalah perbandingan antara stabilitas benda uji setelah perendaman dan stabilitas benda uji standar dinyatakan dalam persen. IKS digunakan untuk menentukan kepekaan kekuatan beton aspal yang dinyatakan dengan nilai stabilitas akibat penurunan kekuatan benda uji akibat kerusakan oleh air. Cara yang dilakukan adalah Benda uji dibuat pada kadar aspal optimum yang ditentukan berdasarkan metode Marshall. Benda uji standar adalah benda uji yang disiapkan berdasarkan standar uji Marshall sesuai SNI 06-2489-1991 dan

benda uji setelah perendaman adalah benda uji yang direndam selama 24 jam pada suhu 60°C (Zurni, 2015).

Kekuatan Sisa (IKS) pada Marshall Test dapat dilihat pada persamaan 2.1 berikut :

$$IKS = \frac{S_2}{S_1} \times 100\% \geq 90\% \dots\dots\dots(2.1)$$

Ket :

IKS = Indeks Kekuatan Sisa (%)

S₁ = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman T1 (Kg)

S₂ = Nilai rata-rata stabilitas Marshall setelah perendaman T2 (Kg)

Menurut fathurrahman (2018), beberapa metode yang dapat digunakan untuk menilai durabilitas suatu campuran aspal adalah antara lain sebagai berikut:

1. Metode Pengujian Durabilitas Standar

Suatu indeks numerik dari berkurangnya kekuatan diperoleh dengan membandingkan kekuatan tekan benda uji yang direndam didalam air selama 30 menit dan 24 jam pada suhu 60 ± 10C di bawah kondisi yang ditentukan disebut dengan Indeks Kekuatan Sisa (IKS)

2. Metode Pengujian Durabilitas Modifikasi

Karakteristik campuran setelah perendaman 24 jam, tidak menjamin keawetan campuran aspal pada masa perendaman yang lebih lama.

3. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama juga dapat didefinisikan sebagai nilai sensitivitas penurunan stabilitas benda uji terhadap lama perendaman .

Persamaan untuk menghitung Indeks Durabilitas Pertama (Rulvita, 2020) dapat dilihat pada persaman 2.2:

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{S_i - (S_{i+1})}{(t_{i+1}) - t_i} \right) \dots\dots\dots(2.2)$$

Ket :

r = Nilai Indeks Penurunan Stabilitas (%)

S_i = Persen kekuatan sisa pada waktu t_i

S_{i+1} = Persen kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}

$T_i - t_{i+1}$ = Periode perendaman.

Nilai “r” positif menyatakan adanya penurunan stabilitas (kehilangan kekuatan), jika yang diperoleh nilai “r” negatif menyatakan adanya peningkatan stabilitas (perolehan kekuatan).

4. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua didefinisikan sebagai persentase rata – rata kehilangan kekuatan selama satu hari antara kurva keawetan dengan garis $S_0 = 100\%$, Indeks Durabilitas Kedua dapat dilihat dari persamaan 2.3:

$$\alpha = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n \alpha_i = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) \cdot [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots\dots\dots(2.3)$$

Ket :

S_i = Persen kekuatan sisa pada waktu t_i

T_n = Total waktu perendaman

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}

T_i, t_{i+1} = Waktu perendaman (dimulai dari proses awal penelitian)

Rulvita (2020), Pada indeks durabilitas tersebut dapat digambarkan kehilangan kekuatan pada satu hari. Dimana pada nilai “a” positif dapat dilihat adanya suatu kehilangan kekuatan, jika didapatkan nilai “a” negatif menggambarkan adanya suatu penambahan kekuatan. Berdasarkan pernyataan di atas, maka nilai $a < 100$. Maka hal tersebut menyatakan suatu persen ekuivalen kekuatan sisa pada satu hari (S_a) pada persamaan 2.4:

$$S_a = 100 - \alpha \dots\dots\dots(2.4)$$

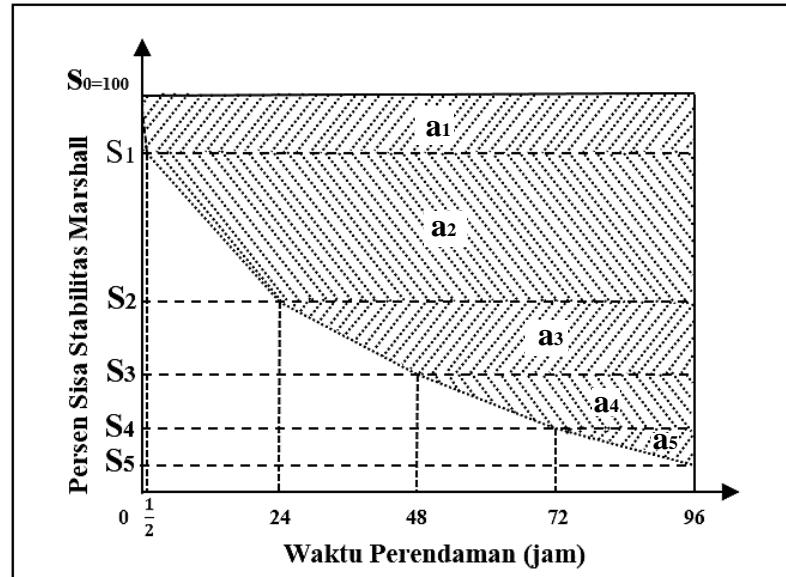
Nilai IDK bisa dinyatakan pada bentuk nilai absolute dari ekuivalen kehilangan kekuatan sebagai persamaan 2.5:

$$A = \frac{\alpha}{100} \cdot S_0 \dots\dots\dots(2.5)$$

Jika telah didapatkan suatu nilai IDK berdasarkan Indeks Durabilitas Test, maka kemudian hasil penelitian tersebut dapat dibuat dalam bentuk grafik

kurva keawetan dengan membandingkan suatu persentase stabilitas sisa dengan waktu rendam tersebut.

Gambar grafik kurva keawetan yang terlihat pada Gambar 2.1 sebagai berikut:



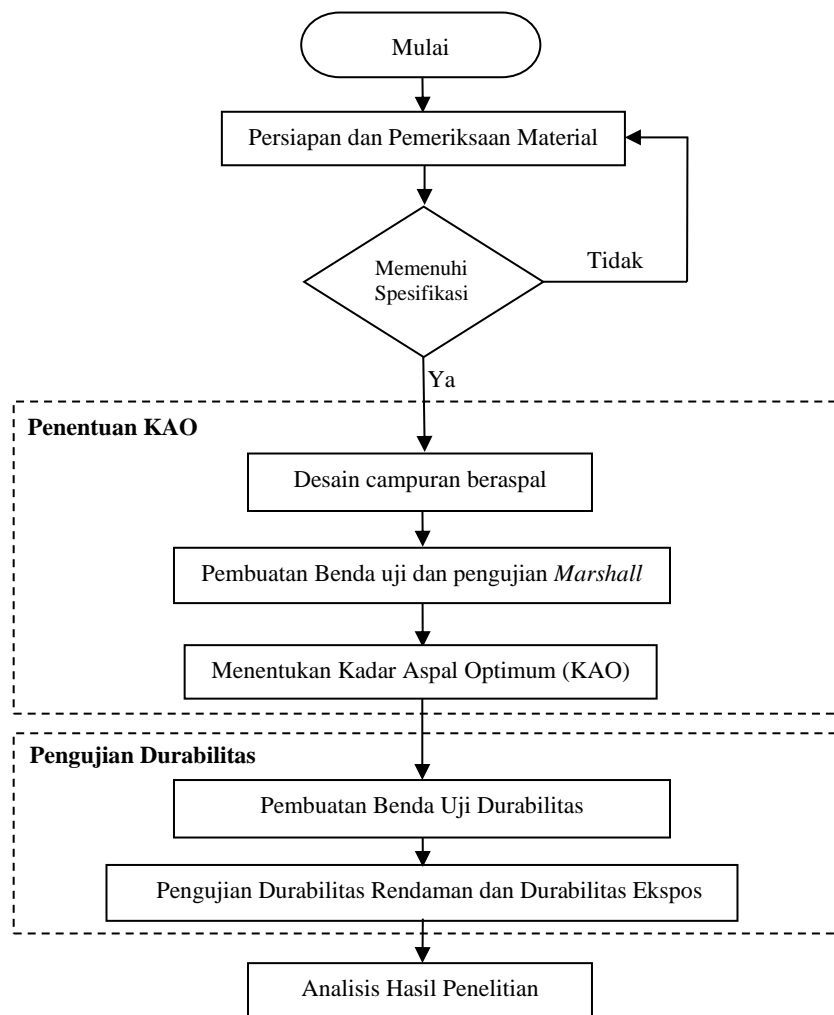
Gambar 2.1 Kurva Keawetan

(Sumber : Rulvita, 2020)

Maka dapat disimpulkan bahwa indeks durabilitas kedua (a) merupakan suatu luas daerah pada kurva keawetan tersebut kemudian dibatasi oleh suatu garis kurva keawetan serta garis horizontal pada persen stabilitas dimana tersisa sebesar 100% (luas daerah diarsir), pada persen ekuivalen kekuatan sisa pada satu hari (S_a) dapat ditunjukkan dengan luas daerah yang ada di bawah garis kurva keawetan tersebut (luas daerah tidak diarsir).

III. METODE PENELITIAN

Pada pelaksanaan penelitian ini, langkah-langkah yang akan dilakukan dapat dilihat pada Gambar 3.1 berikut ini:



Gambar 3.1. Diagram alir penelitian.

3.1. Persiapan dan Pemeriksaan Material

Terdapat beberapa tahap yang dilaksanakan dalam pengujian ini, tahap pertama adalah pemeriksaan material yang terdiri dari pemeriksaan agregat dan aspal.

3.1.1. Pemeriksaan Agregat

Agregat kasar, agregat halus adalah material campuran benda uji. Agregat yang digunakan berasal dari PT. Sumber Batu Berkah Lampung Selatan. Sebagaimana telah dijelaskan bahwa agregat kasar dideskripsikan sebagai agregat yang tertahan pada saringan no.4, agregat halus didefinisikan sebagai agregat yang lolos saringan no.4 dan tertahan pada saringan no.200.

1. Alat uji agregat

Alat uji yang digunakan untuk pemeriksaan agregat adalah mesin *Los Angeles*, alat pengering (*oven*), timbangan berat, alat uji berat jenis (piknometer), mesin *crushing compression* menggunakan kapasitas gaya sebesar 400 kN.

2. Pengujian agregat

Pengujian ini dilakukan untuk memastikan agregat telah memenuhi syarat sebelum digunakan dalam campuran. Standar pengujian dan hasil pengujian dapat dilihat pada Tabel 3.1. dan Tabel 3.2.

Tabel 3.1. Standar Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Standar Uji
1	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat halus.	SNI 03-1970-1990
2	Berat jenis (Berat jenis Bulk, Berat jenis SSD dan Berat Jenis Semu) dan penyerapan agregat kasar	SNI 03-1969-1990
3	<i>Los Angeles Test</i>	SNI 03-2417:2008
4	<i>Aggregate Crushing Value</i>	BS 812: part 3: 1975
5	<i>Aggregate Impact Value</i>	BS 812: part 3: 1975

Tabel 3.2. Hasil Pengujian Agregat

No	Jenis Pengujian	Syarat	Hasil	Memenuhi
A Agregat Kasar				
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,54	OK
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,59	OK
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,68	OK
4	Penyerapan	$< 3\%$	1,96	OK
B Agregat Halus				
1	Berat jenis <i>bulk</i>	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,56	OK
2	Berat jenis SSD	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,60	OK
3	Berat jenis semu	$\geq 2,5 \text{ gr/cm}^3$	2,67	OK
4	Penyerapan	$< 3\%$	1,64	OK
C	<i>Los Angeles Abrasion</i>	Maks 40%	15,8%	OK
D	<i>Agg. Crushing Value</i>	Maks 30%	0,91%	OK
E	<i>Aggregate Impact Value</i>	Maks 40%	6,01%	OK

Berdasarkan pengujian yang dilakukan, dapat disimpulkan bahwa material agregat yang digunakan telah sesuai dengan spesifikasi sehingga dapat digunakan sebagai bahan campuran *Stone Mastic Asphalt (SMA)*.

3.1.2. Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal pertamina penetrasi 60/70. Pengujian aspal bertujuan untuk mengetahui aspal yang digunakan sesuai spesifikasi yang telah ditetapkan. Hasil pengujian aspal dengan nilai rata-rata dapat dilihat pada Tabel 3.3.

Tabel 3.3. Hasil Pengujian Aspal Penetrasi 60/70

No	Jenis Pengujian	Satuan	Standar Uji	Spesifikasi	Hasil
1	Penetrasi	0,1 mm	SNI 06-2456-1991	60-70	65,17
2	Berat Jenis	gr/cm^3	SNI 06-2441-1991	≥ 1	1,015
3	Titik Lembek	$^{\circ}\text{C}$	SNI 06-2434-1991	≥ 48	52
4	Daktilitas	cm	SNI-06-2432-1991	≥ 100	100

Berdasarkan Tabel diatas, dapat dilihat bahwa material aspal penetrasi 60/70 yang digunakan memenuhi spesifikasi/standar.

3.1.3. *Filler*

Filler atau bahan pengisi yang dipakai merupakan material yang lolos saringan No.200 (diameter 0,075 mm). Filler yang digunakan merupakan abu batu.

3.2. Desain Campuran Beraspal

Material yang digunakan dalam penelitian ini terdiri dari agregat dan aspal yang terlebih dahulu harus diuji sebelum digunakan sebagai campuran *Stone Mastic Asphalt* 14 mm. Desain campuran bertujuan untuk meyeimbangkan komposisi material yang akan digunakan dalam campuran beraspal supaya menghasilkan sifat yang optimal dan tahan terhadap deformasi. Setelah dilakukan pengujian sifat fisik agregat serta aspal, Langkah selanjutnya melakukan penyaringan agregat memakai saringan standar dengan kadar aspal rencana yang digunakan adalah 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, 7%.

3.2.1. Gradasi Agregat

Dalam menentukan proporsi agregat pada campuran SMA dilakukan uji analisa saringan terlebih dahulu untuk mendapatkan asumsi awal gradasi agregat kasar dan agregat halus berdasarkan nilai perkiraan kadar aspal rencana. Gradasi campuran harus memenuhi batas atas dan batas bawah sesuai dengan Spesifikasi *Stone mastic asphalt*. Gradasi agregat yang digunakan pada penelitian ini menggunakan nilai batas tengah yang dapat dilihat pada Tabel 3.4. Gradasi Agregat Gabungan SMA 14 mm.

Tabel 3.4. Gradasi Agregat Gabungan SMA 14 mm.

Diameter Saringan(mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Gradasi Terpakai (Lolos saringan %)
	Batas bawah	Batas Atas	
19	100	100	100
13.2	90	100	95
9.5	30	55	42.5
6.7	20	35	27.5
4.75	18	30	24
2.36	15	28	21.5
1.18	13	24	18.5
0.60	12	21	16.5
0.300	10	18	14
0.150	9	14	11.5
0.075	8	12	10
Pan (0,001)	0	0	0

(Sumber: Austroads, 2004)

3.3. Pembuatan Benda Uji dan Pengujian *Marshall*

Dalam tahap ini, sebelum melakukan pengujian *Marshall*, dilakukan pengujian kepadatan maksimum campuran beraspal (*maximum density*), dan kepadatan dan rongga udara (*bulk density and void content*).

Penelitian ini menggunakan benda uji berbentuk silinder dengan diameter 10,16 cm dan tinggi 6,35 cm.

Adapun tahap-tahap pengujian yang dilakukan antara lain, sebagai berikut:

3.3.1. Kepadatan Maksimum Campuran Beraspal (Gmm) (*Maximum Density*)

Pengujian kepadatan maksimum campuran beraspal (Gmm) dilakukan pada kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% dengan berat total minimum 1000 gram. Pada pengujian berikut pada kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% menggunakan berat total minimum 1000 gr maka pada penelitian ini menggunakan berat total 1050 gram.

Berikut perhitungan persentase berat aspal dan berat agregat yang disajikan pada Tabel 3.5.

Tabel 3.5. Perhitungan Proporsi Berat Pengujian Gmm

	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
Berat Total Campuran	1050 gr	1050 gr	1050 gr	1050 gr	1050 gr
Berat Agregat	997,5 gr	992,3 gr	987 gr	981,8 gr	976,5 gr
Berat Aspal	52,5 gr	57,7 gr	63 gr	68,2 gr	73,5 gr

Selanjutnya menghitung kebutuhan agregat pada masing-masing kadar aspal yang disajikan dalam Tabel 3.6 hingga Tabel 3.10

Tabel 3.6. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 5%

Diameter Saringan (mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Persentase (%)		Berat (gram)
	Batas bawah	Batas Atas	Lolos	Tertahan	
19	100	100	100	0	0
13.2	90	100	95	5	49,9
9.5	30	55	42.5	52.5	523,7
6.7	20	35	27.5	15	149,6
4.75	18	30	24	3.5	34,9
2.36	15	28	21.5	2.5	24,9
1.18	13	24	18.5	3	29,9
0.60	12	21	16.5	2	20,0
0.300	10	18	14	2.5	24,9
0.150	9	14	11.5	2.5	24,9
0.075	8	12	10	1.5	15,0
Pan	0	0	0	10	99,8
Jumlah Berat Tertahan (gram)				100	997,5

Tabel 3.7. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 5,5%

Diameter Saringan (mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Persentase (%)		Berat (gram)
	Batas bawah	Batas Atas	Lolos	Tertahan	
19	100	100	100	0	0
13.2	90	100	95	5	49,6
9.5	30	55	42.5	52.5	520,9
6.7	20	35	27.5	15	148,8
4.75	18	30	24	3.5	34,7
2.36	15	28	21.5	2.5	24,8
1.18	13	24	18.5	3	29,8
0.60	12	21	16.5	2	19,8
0.300	10	18	14	2.5	24,8
0.150	9	14	11.5	2.5	24,8
0.075	8	12	10	1.5	14,9
Pan	0	0	0	10	99,2
Jumlah Berat Tertahan (gram)				100	992,3

Tabel 3.8. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 6%

Diameter Saringan (mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Persentase (%)		Berat (gram)
	Batas bawah	Batas Atas	Lolos	Tertahan	Tertahan
19	100	100	100	0	0
13.2	90	100	95	5	49,4
9.5	30	55	42.5	52.5	518,2
6.7	20	35	27.5	15	148,1
4.75	18	30	24	3.5	34,5
2.36	15	28	21.5	2.5	24,7
1.18	13	24	18.5	3	29,6
0.60	12	21	16.5	2	19,7
0.300	10	18	14	2.5	24,7
0.150	9	14	11.5	2.5	24,7
0.075	8	12	10	1.5	14,8
Pan	0	0	0	10	98,7
Jumlah Berat Tertahan (gram)				100	987

Tabel 3.9. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 6,5%

Diameter Saringan (mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Persentase (%)		Berat (gram)
	Batas bawah	Batas Atas	Lolos	Tertahan	Tertahan
19	100	100	100	0	0
13.2	90	100	95	5	49,1
9.5	30	55	42.5	52.5	515,4
6.7	20	35	27.5	15	147,3
4.75	18	30	24	3.5	34,4
2.36	15	28	21.5	2.5	24,5
1.18	13	24	18.5	3	29,5
0.60	12	21	16.5	2	19,6
0.300	10	18	14	2.5	24,5
0.150	9	14	11.5	2.5	24,5
0.075	8	12	10	1.5	14,7
Pan	0	0	0	10	98,2
Jumlah Berat Tertahan (gram)				100	981,8

Tabel 3.10. Kebutuhan Agregat Kadar Aspal 7%

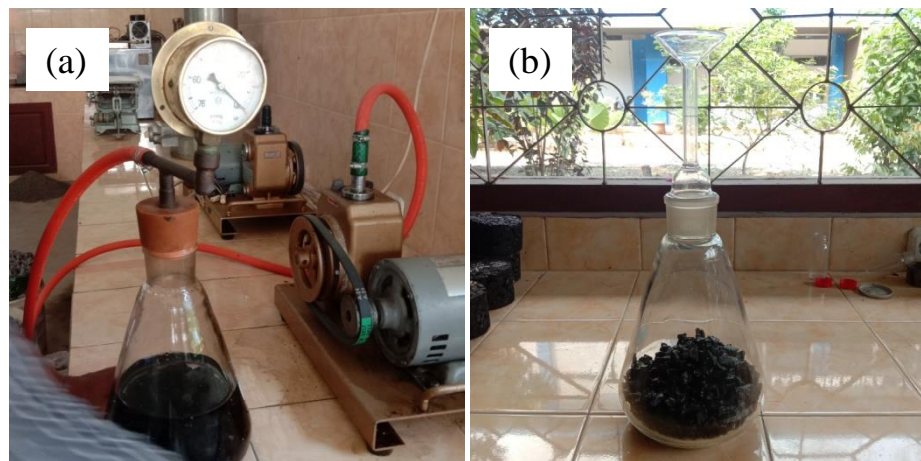
Diameter Saringan (mm)	Spesifikasi Gradasi (%)		Persentase (%)		Berat (gram)
	Batas bawah	Batas Atas	Lolos	Tertahan	Tertahan
19	100	100	100	0	0
13.2	90	100	95	5	48,8
9.5	30	55	42.5	52.5	512,7
6.7	20	35	27.5	15	146,5
4.75	18	30	24	3.5	34,2
2.36	15	28	21.5	2.5	24,4
1.18	13	24	18.5	3	29,3
0.60	12	21	16.5	2	19,5
0.300	10	18	14	2.5	24,4
0.150	9	14	11.5	2.5	24,4
0.075	8	12	10	1.5	14,6
Pan	0	0	0	10	97,7
Jumlah Berat Tertahan (gram)				100	976,5

Adapun prosedur pengujian kepadatan maksimum campuran beraspal berdasarkan WA standard 705.1, antara lain :

1. Siapkan benda uji dan seperangkat peralatan pengujian maksimum density
2. Timbang benda uji dalam gram
3. Masukkan air ke dalam Piknometer, timbang Piknometer berisi air dalam gram
4. Keluarkan 1/3 air yg ada di dalam Piknometer, lalu masukkan campuran aspal yang telah dihampar dan didinginkan ke dalam Piknometer dan Isi Piknometer dengan air sampai ketinggian air tidak menyentuh katup penutup alat penyedot gelembung udara
5. Masukkan katup penutup gelembung udara ke dalam Piknometer, Atur tekanannya sampai ± 60 , Nyalakan mesinnya dan kocok-kocok Piknometer sampai gelembung udaranya hilang
6. Isi kembali Piknometer dengan air sampai penuh, ratakan permukaan air dengan tutup kaca, lalu bersihkan air yg menempel pada Piknometer
7. Timbang berat Piknometer berisi air dan benda uji dalam gram, kemudian hitung nilai *maximum density*.



Gambar 3.2 sebelum dan sesudah di campur aspal dalam keadaan lepas



Gambar 3.3 (a) Proses penghisapan gelembung udara, dan (b) Piknometer berisi sampel

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data sebagai berikut:

Tabel 3.11. Data Hasil Pengujian kepadatan maksimum

Kadar Aspal	Berat Sampel	Piknometer	Pikometer+Air+Sampel
5	1020,9	1306,5	4208.4
	1012,5	1306,5	4196.8
	1019,3	1306,5	4207.2
5,5	1004,3	1306,5	4190
	1019,7	1306,5	4206.1
	1014,6	1306,5	4202.8
6	1014,1	1306,5	4193.6
	1016	1306,5	4198.4
	1019,2	1306,5	4207.3
6,5	1003,8	1306,5	4185.2
	1018,5	1306,5	4201.7
	1015,1	1306,5	4193.2
7	1002	1306,5	4182.4
	1017,4	1306,5	4198.6
	1016	1306,5	4198

Kemudian menghitung nilai kepadatan maksimum menggunakan rumus berdasarkan WA 732.2-2011 sebagai berikut:

$$\rho_{max} = \frac{m_2}{m_2 - (m_3 - m_1)} \rho_w \dots \dots \dots (3.1)$$

keterangan:

ρ_{max} = Kepadatan Maksimum aspal (t/m^3)

ρ_w = Kepadatan air pada 25°C (t/m^3)

- m_1 = Berat piknometer berisi air (gram)
 m_2 = berat benda uji di udara (gram)
 m_3 = Berat piknometer + sampel + air (gram)

Berikut adalah contoh perhitungan nilai kepadatan maksimum pada kadar aspal 5% sampel 1:

$$\rho_{\max} = \frac{1012,5}{1012,5 - (4195,8 - 3602,3)} \times 0,997 = 2,4092 \text{ gr/cm}^3$$

Selanjutnya akan disajikan dalam tabel hasil perhitungan berikut:

Tabel 3.12. Hasil Perhitungan *Maximum Density*

KA (%)	m_1	m_2	m_3	ρ_{\max}	ρ_{\max} rata-rata
5	3602,6	1020,9	4208.4	2,45	
5	3602,6	1012,5	4196.8	2,41	2,44
5	3602,6	1019,3	4207.2	2,45	
5,5	3602,6	1004,3	4190	2,40	
5,5	3602,6	1019,7	4206.1	2,44	2,43
5,5	3602,6	1014,6	4202.8	2,44	
6	3602,6	1014,1	4193.6	2,39	
6	3602,6	1016	4198.4	2,41	2,42
6	3602,6	1019,2	4207.3	2,45	
6,5	3602,6	1003,8	4185.2	2,38	
6,5	3602,6	1018,5	4201.7	2,42	2,39
6,5	3602,6	1015,1	4193.2	2,38	
7	3602,6	1002	4182.4	2,37	
7	3602,6	1017,4	4198.6	2,41	2,39
7	3602,6	1016	4198	2,41	

Berdasarkan nilai kepadatan maksimum dari masing-masing kadar aspal teoritis yang telah diperoleh dari perhitungan sebelumnya, maka selanjutnya dilakukan perhitungan proporsi berat campuran beraspal yang diperlukan untuk sebuah benda uji yang digunakan untuk mendapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO), sehingga dilakukan perhitungan sebagai berikut:

Dimana :

$$D = 10,16 \text{ cm} ; h = 6,35 \text{ cm}$$

$$\text{VIM (3,5-4,5\%)} = 100\% - \text{VIM}$$

$$= 100\% - 4\%$$

$$= 96\%$$

$$L \text{ permukaan tabung} = \frac{1}{4} \pi D^2$$

Sehingga rumus berat campuran aspal adalah:

$$\text{Berat campuran aspal} = \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \rho_{\max} \cdot (100 - \text{VIM}) \dots \dots \dots (3.2)$$

Berikut adalah contoh perhitungan untuk benda uji pada kadar aspal 5% dengan kepadatan maksimum 2,44 gr/cm³ yang akan diperoleh:

$$\begin{aligned} \text{Berat campuran aspal} &= \frac{1}{4} \cdot \pi \cdot D^2 \cdot h \cdot \rho_{\max} \cdot (100 - \text{VIM}) \\ &= \frac{1}{4} \times \pi \times 10,16^2 \times 6,35 \times 2,44 \times 96\% \\ &= 1204,6 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Aspal} &= \text{Berat campuran aspal} \times \text{kadar aspal}(\%) \\ &= 1204,6 \times 5\% \\ &= 60,2 \text{ gram} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Berat Agregat} &= \text{Berat campuran aspal} - \text{Berat aspal} \\ &= 1204,6 - 60,2 \\ &= 1144,4 \text{ gram} \end{aligned}$$

Perhitungan selengkapnya disajikan dalam Tabel Lampiran A, perhitungan rata-rata proporsi berat campuran disajikan dalam Tabel 3.13.

Tabel 3.13. Perhitungan Proporsi Berat Campuran Beraspal

Kadar Aspal (%)	Kepadatan maksimum Rata-rata (gr/cm ³)	Campuran Aspal (gram)	Berat Agregat (gram)	Berat Aspal (gram)
5	2,44	1204.6	1144.4	60.2
5,5	2,43	1199.6	1133.6	66.0
6	2,42	1194.1	1122.4	71.6
6,5	2,39	1182.5	1105.6	76.9
7	2,39	1182.5	1099.7	82.8

Selanjutnya menghitung kebutuhan agregat pada masing-masing kadar aspal 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7% yang berjumlah 3 sampel pada masing-masing kadar aspal, yang akan disajikan dalam Tabel 3.14.

Tabel 3.14. Kebutuhan Agregat per Kadar Aspal

Diameter saringan (mm)	Berat Tertahan (%)	Kadar Aspal (%)				
		5%	5,5%	6%	6,5%	7%
19,0	0	0	0	0	0	0
13,2	5	57,5	56,7	56,1	55,3	55,0
9,5	52,5	603,7	595,2	589,3	580,4	577,4
6,7	15	172,5	170,0	168,4	165,8	165,0
4,75	3,5	40,2	39,7	39,3	38,7	38,5
2,36	2,5	28,7	28,3	28,1	27,6	27,5
1,18	3	34,5	34,0	33,7	33,2	33,0
0,6	2	23,0	22,7	22,4	22,1	22,0
0,3	2,5	28,7	28,3	28,1	27,6	27,5
0,15	2,5	28,7	28,3	28,1	27,6	27,5
0,075	1,5	17,2	17,0	16,8	16,6	16,5
Pan	10	115,0	113,4	112,2	110,6	110,0
Jumlah	100	1150,0	1133,6	1122,4	1105,6	1099,7

3.3.2. Kepadatan dan Rongga Udara (*Bulk Density and Void Content*)

Berdasarkan Austroads (2013), pada tabel *methods of mix design for SMA* di Australia dijelaskan bahwa jika tidak tersedia pemadat *Gyratory* maka dapat menggunakan pemadat *marshall* dengan 75 pukulan yang setara dengan 120 *cycles* pada pemadat *gyratory*.

Pada pengujian ini benda uji dipadatkan terlebih dahulu, prosedur ini menggunakan alat pemadat *Marshall* yang tersedia di Laboratorium Jalan Raya Universitas Lampung untuk membuat benda uji campuran aspal yang kemudian di uji untuk mendapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

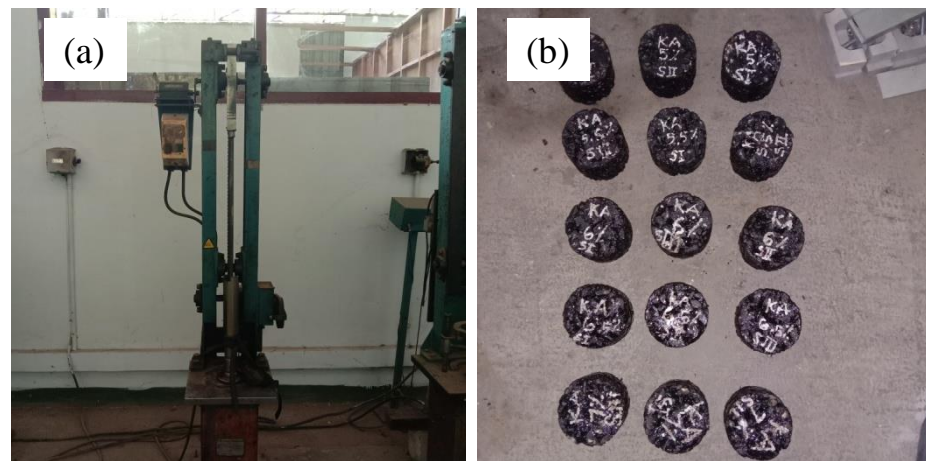
Tahap-tahap pengujian sebagai berikut:

1. Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode pemadat *Marshall*.
2. Prosedur pengujian
 - a. Siapkan bahan, timbang dan keringkan di oven selama ± 4 jam.
 - b. Timbang berat wajan yang dipanaskan (W_1), kemudian masukkan agregat kering ke dalam wajan, timbang agregat+wajan (W_2). Kemudian masukkan aspal sesuai perhitungan persentasenya yaitu 5%; 5,5%; 6%; 6,5% dan 7%.

- c. Campur agregat dan aspal hingga tercampur rata dalam suhu 152°C , setelah tercampur rata angkat dan aduk hingga suhu turun sesuai suhu pemadatan.
- d. Masukkan campuran aspal ke dalam *Mould* yang telah dilapisi kertas, padatkan dengan menusuknya sebanyak 15 kali dengan (pengisian pertama $\frac{1}{2}$ *Mould* tusuk 7 kali dan isi hingga penuh tusuk 8 kali), kemudian tempatkan *Mould* pada alat *Compactor* dan tumbuk sebanyak 75 kali tumbukan masing-masing sisi.
- e. Setelah itu keluarkan campuran padat dari *Mould* menggunakan *Extruder* dan ukur dimensinya (diameter dan tinggi) menggunakan jangka sorong.
- f. Timbang berat benda uji padat dan diberi tanda, kemudian rendam ke dalam *Waterbath* dengan suhu 60°C selama 24 jam.
- g. Setelah direndam selama 24 jam, lap benda uji hingga kering permukaan (SSD), kemudian timbang benda uji dalam keadaan jenuh (SSD).
- h. Atur berat keranjang dalam posisi nol, kemudian timbang benda uji dalam air, kemudian hitung kadar rongga dalam campuran.



Gambar 3.4 (a) Menimbang benda uji sesuai perhitungan, (b) Mengeluarkan benda uji padat dari *Mould*



Gambar 3.5 (a) Seperangkat alat *Marshall Compactor*, (b) Benda uji padat hasil *Marshall Compactor*

Dari pengujian yang telah dilakukan, didapatkan data-data yang dibutuhkan untuk perhitungan *Bulk Density*, sebagai berikut:

Tabel 3.15. Data Hasil Pengujian *Bulk Density*

Kadar Aspal (%)	Sampel ke-	Berat Kering (gram)	Tebal Rerata (cm)	Diameter (cm)	Sampel dalam Air (gram)
5%	1	1200,10	71.02	10,16	685,4
	2	1196,80	70.81	10,16	681,72
	3	1200,30	71.16	10,16	685,95
5,5%	1	1196,50	70.67	10,16	677,13
	2	1195,90	70.27	10,16	676,84
	3	1195,60	70.13	10,16	676,05
6%	1	1190,00	71.11	10,16	672,42
	2	1189,40	69.75	10,16	671,3
	3	1192,60	69.83	10,16	672,79
6,5%	1	1181,00	69.48	10,16	666,05
	2	1177,80	70.80	10,16	664,12
	3	1180,60	70.17	10,16	665,48
7%	1	1175,10	69.84	10,16	660,36
	2	1175,00	69.83	10,16	660,73
	3	1169,30	70.58	10,16	657,35

Dalam menghitung nilai kepadatan dan kadar rongga dalam campuran menggunakan rumus berdasarkan WA 733.1-2011 sebagai berikut:

$$V_{\text{sampel}} = \frac{m_1 - (m_3 - m_2)}{\rho_w} \dots \dots \dots (3.3)$$

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{m_1}{V_{\text{sampel}}} \dots \dots \dots (3.4)$$

Keterangan:

V_{sampel} = Volume sampel (cm³)

- ρ_w = Kepadatan air pada 25°C (t/m³)
 m_1 = Berat benda uji (gram)
 m_2 = Berat wadah yang tergantung dalam air (gram)
 m_3 = Berat wadah tergantung+sampel dalam air (gram)

Contoh perhitungan V_{sampel} pada kadar aspal 5% sampel 1 berikut.

$$V_{\text{sampel}} = \frac{1200,10 - (685,4 - 0)}{0,997} = 516,249 \text{ cm}^3$$

$$\rho_{\text{bulk}} = \frac{1200,10}{516,2487} = 2,32 \text{ t/m}^3$$

Selanjutnya disajikan dalam tabel data hasil perhitungan berikut:

Tabel 3.16 Data Hasil Perhitungan *Bulk Density*

Kadar Aspal (%)	Berat Kering (gram)	Sampel dalam Air (gram)	V_{sampel} (cm ³)	ρ Bulk
5%	1201,10	685,4	516,249	2.32
	1198,80	681,72	514,624	2.31
	1202,30	685,95	515,898	2.32
5,5%	1196,50	677,13	517,924	2.30
	1196,90	676,84	516,309	2.29
	1197,60	676,05	518,405	2.29
6%	1185,80	672,42	519,739	2.30
	1189,40	671,3	515,647	2.29
	1189,60	672,79	515,356	2.29
6,5%	1181,00	666,45	513,089	2.29
	1177,80	664,12	513,220	2.29
	1180,60	665,48	513,059	2.29
7%	1175,10	660,36	516,289	2.28
	1175,00	660,73	516,820	2.28
	1169,30	657,35	517,503	2.28

Dari pengujian yang telah dilakukan, kemudian dihitung untuk mendapatkan nilai kadar rongga udara menggunakan rumus-rumus:

$$\text{VIM} = \frac{\rho_{\text{max}} - \rho_{\text{bulk}}}{\rho_{\text{max}}} \times 100\% \dots\dots\dots (3.5)$$

$$\text{VMA} = \text{VIM} + \frac{\rho_{\text{bulk}} \times \rho_b}{b_j \text{ aspal}} \dots\dots\dots (3.6)$$

$$\text{VFB} / \text{VFA} = 100 \times \frac{\text{VMA} - \text{VIM}}{\text{VMA}} \dots\dots\dots (3.7)$$

Keterangan:

- ρ_{bulk} = Bulk density benda uji (t/m³)
 ρ_{max} = Kepadatan Maksimum aspal (t/m³)
 m_1 = Berat benda uji (gram)

- V_{sampel} = Volume sampel (cm^3)
 VIM = Persentase rongga udara (%)
 VMA = Persentase void in mineral Agregat (%)
 VFB/VFA = Persentase rongga terisi bitumen (%)

Contoh perhitungan pada kadar aspal 5% sampel 1 sebagai berikut:

$$\text{VIM} = \frac{2,45 - 2,32}{2,45} \times 100\% = 5,30 \%$$

$$\text{VMA} = 5,30 + \frac{2,32 \times 5}{1,0148} = 16,8\%$$

$$\text{VFB / VFA} = 100 \times \frac{16,8 - 5,30}{16,8} = 68,3\%$$

Perhitungan keseluruhan selanjutnya dilampirkan pada Tabel Berikut:

Tabel 3.17. *Bulk Density* dan Kandungan Rongga Campuran

Parameter	Kadar Aspal				
	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
VIM rata-rata (%)	5.45	4.50	3.94	3.80	3.77
• Standar deviasi(%)	0.24	0.16	0.29	0.03	0.04
• koefisien variasi (%)	4.47	3.55	7.49	0.86	1.06
VMA rata-rata (%)	16.9	16.9	17.5	18.4	19.5
• Standar deviasi(%)	0.21	0.14	0.25	0.03	0.03
• koefisien variasi (%)	1.27	0.82	1.45	0.15	0.17
VFB rata-rata (%)	67.7	73.4	77.5	79.4	80.7
• Standar deviasi(%)	1.03	0.72	1.36	0.15	0.17
• koefisien variasi (%)	1.52	0.99	1.76	0.18	0.21

3.3.3. Pengujian *Marshall*

Tujuan pengujian ini adalah untuk mengetahui kemampuan suatu campuran aspal menerima beban sampai terjadi deformasi sedangkan flow adalah besarnya perubahan bentuk yang terjadi akibat beban tersebut. Tahap-tahap pengujian *Marshall* sebagai berikut:

1. Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat metode *Marshall*.
2. Prosedur pengujian *Marshall*

- a. Pemeriksaan tinggi benda uji, berat kering, berat benda uji dalam air, dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.
- b. Melakukan Rendaman benda uji di waterbath di dalam air selama 30 menit dengan suhu 60°.
- c. Benda uji dikeluarkan kemudian diletakan pada alat uji Marshall untuk dilakukan pengujian.
- d. Dari hasil pengujian didapat nilai stabilitas dan flow.



Gambar 3.6. Pengujian *marshall*.

Hasil pengujian benda uji padat menggunakan alat *marshall* yang telah dilakukan, didapatkan nilai stabilitas dan *Flow*

Tabel 3.18. Hasil Uji Stabilitas dan *Flow*

Parameter	Kadar Aspal				
	5%	5.5%	6%	6.5%	7%
Stabilitas Rata-rata (Kg)	693.8	710.0	827.6	792.7	734.3
Standar deviasi	0.51	0.66	0.52	0.43	0.21
Koefisien variasi (%)	0.07	0.09	0.06	0.05	0.03
Flow Rata-rata (mm)	3.7	3.8	4.5	5.1	5.1
Standar deviasi	0.002	0.003	0.002	0.004	0.002
Koefisien variasi (%)	0.04	0.07	0.03	0.07	0.03

3.4. Menentukan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Kualitas campuran pada dasarnya ditentukan oleh rongga dalam campuran (*voids in mix* atau VIM) yaitu hubungan antara rongga kerangka (rongga agregat kasar), rongga agregat mineral, kandungan pengikat dan rongga udara

(AAPA, 2000). Kadar aspal optimum bertujuan untuk menentukan besar kadar aspal efektif yang akan dipakai dalam campuran. Cara menentukan kadar aspal optimum (KAO) pada penelitian ini menggunakan metode Australia dengan grafik VIM (*Void In Mix*), dengan nilai VIM target 4% spesifikasi AAPA 2000.

Menurut Austroads (2008), Untuk pemadat *marshall* dilakukan pada 150°C menggunakan 75 pukulan per sisi dengan desain rongga udara 4% untuk lalu lintas berat, sedangkan alat pemadat Gyratory dilakukan dengan 120 *gyratory cycles* dengan desain rongga udara 4% untuk normal situasi dan 5% untuk situasi lalu lintas berat. Pernyataan tersebut sesuai dengan spesifikasi AAPA yaitu menggunakan desain rongga udara target sebesar 4%. Berikut merupakan Tabel Nominal Minimum dan Tabel persyaratan campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) berdasarkan spesifikasi AAPA 2000 dan AAPA 2004 dengan ukuran 14 mm yang dapat dilihat pada Tabel 3.19 dan Tabel 3.20

Tabel 3.19. Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran	Tebal nominal minimum (cm)
SMA - Tipis	3,0
SMA – Halus	4,0
SMA –Kasar	5,0

Tabel 3.20. Persyaratan campuran SMA

Mix Size (mm)	7	10	14
Air Voids (%)	3,5-4,5	3,5-4,5	3,5-4,5
Design Air Voids – target (%)	4.0	4.0	4.0
VMA (%)	19	18	17
Marshall (blows)	50	75	75
Gyratory (cycles)	80	120	120

Sumber : AAPA 2000 & AAPA 2004

Berdasarkan pengujian dan perhitungan yang telah dilakukan pada *bulk density*, nilai VIM rata-rata yang diperoleh dilampirkan dalam Tabel 3.21.

Tabel 3.21. VIM (*Void In Mix*)

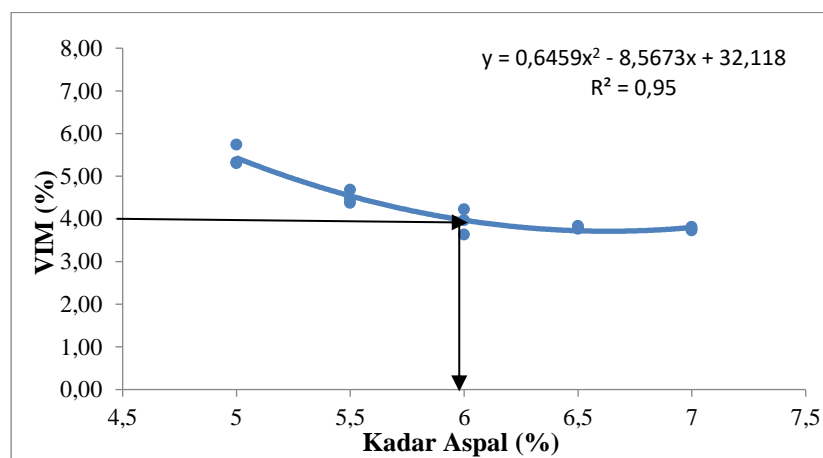
Kadar Aspal	5%	5,5%	6%	6,5%	7%
VIM Rata-rata (%)	5,45	4,50	3,94	3,80	3,77

Berdasarkan Tabel 3.21 diatas, kemudian didapatkan grafik VIM yang dilampirkan pada Gambar 3.7. Dari hasil grafik VIM maka dapat dihitung menggunakan rumus perhitungan persamaan: $y = 0,645x^2 - 8,567x + 32,118$

Maka nilai x yang di dapatkan :

$$x = 5,9719 \sim 6,0$$

Berdasarkan hasil perhitungan diatas, maka didapatkan nilai kadar aspal optimum (KAO) campuran beraspal yaitu pada KAO 6,0%



Gambar 3.7. Menentukan kadar aspal optimum

3.5. Pembuatan Benda Uji Durabilitas

Pada tahap sebelumnya didapat KAO sebesar 6,0% sehingga telah didapatkan nilai kepadatan maksimum seperti pada Tabel 3.21.

Tabel 3.21. Hasil uji kepadatan maksimum KAO

Parameter	6,0% kadar aspal		
	1	2	3
Density of water (t/m^3), p_w	0.997	0.997	0.997
Berat piknometer+air (gram), m_1	3602.6	3602.6	3602.6
Berat sampel di udara (gram), m_2	1014.1	1016	1019.2
Berat piknometer+air+sampel (gram), m_3	4193.6	4198.4	4207.3
Kepadatan Maksimum aspal (t/m^3), p_{max}	2.39	2.41	2.45
Kepadatan maksimum rata-rata (t/m^3)	2.41		
Standar deviasi	0.0003		
Koefisien Variasi (%)	0.02		

Selanjutnya dilaksanakan pembuatan benda uji durabilitas rendaman dan ekspos. Setelah mendapatkan nilai kepadatan maksimum kemudian dilakukan perhitungan proporsi berat campuran beraspal menggunakan persamaan (3.2) sehingga proporsi berat campuran terlihat pada Tabel 3.22

Tabel 3.22. Proporsi Berat Campuran dengan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal (%)	Campuran Aspal (gr)	Berat Agregat (gr)	Berat Aspal (gr)	Jenis pengujian
6.0%	1194.1	1122.4	71.6	Rendaman
6.0%	1194.1	1122.4	71.6	Ekspos

Kemudian menyaring berat agregat berdasarkan diameter saringan, proporsi agregat pada masing-masing saringan dapat dilihat pada Tabel 3.23 berikut.

Tabel 3.23. Berat Agregat Per-Saringan

Diameter Saringan (mm)	Berat Tertahan Saringan (gr)
19	0.0
13.2	56.12
9.5	589.27
6.7	168.36
4.75	39.28
2.36	28.06
1.18	33.67
0.6	22.45
0.3	28.06
0.15	28.06
0.075	16.84
0.001 (Pan)	112.24
Total Berat agregat (gr)	1122.4

Setelah proporsi campuran ditentukan, kemudian dilakukan pembuatan benda uji. Benda uji yang dibutuhkan dalam penelitian disajikan pada Tabel 3.24 di bawah ini, antara lain sebagai berikut.

Tabel 3.24. Jumlah Benda Uji Durabilitas Rendaman dan Durabilitas Ekspos

Jenis Pengujian Durabilitas	Lama Pengujian			Jumlah total benda uji
	0 hari	3 hari	7 hari	
Rendaman	3	3	3	18 buah
Ekspos	3	3	3	

Adapun tahapan pembuatan benda uji yaitu sebagai berikut:

1. Agregat ditimbang dan dioven hingga suhu 170°C.

2. Agregat yang telah dioven kemudian dikeluarkan dan dicampur dengan aspal panas sesuai dengan perhitungan, dicampur hingga agregat terselimuti dengan baik (a).
3. Sampel yang sudah tercampur dengan baik selanjutnya dituang ke dalam mold yang telah disiapkan (b), kemudian dipadatkan menggunakan penumbuk (*hammer*) seberat ± 4 Kg dengan tinggi jatuh 45 cm sebanyak 75 kali tumbukan untuk masing-masing sisi (c).
4. Pematatan selesai dan benda uji siap dilakukan pengujian *marshall* (d).



(a)



(b)



(c)



(d)

Gambar 3.8. Proses pembuatan benda uji.

3.6. Pengujian Durabilitas Rendaman dan Durabilitas Ekspos

Pada tahap ini dilakukan pengujian durabilitas menggunakan dua cara yaitu dengan cara direndam dan dibiarkan di luar ruangan (ekspos).

Untuk pengujian durabilitas rendaman dan durabilitas ekspos didapatkan dari nilai stabilitas yang akan diubah menjadi nilai durabilitas pada pengujian *Marshall*. Oleh sebab itu, dibutuhkan pengujian *Marshall* untuk mendapatkan nilai stabilitas yang akan diubah menjadi durabilitas. Berikut ini merupakan tahapan pengujian *Marshall*.



Gambar 3.9. Alat pengujian *marshall*

1. Mempersiapkan alat uji *Marshall*

Alat uji yang digunakan adalah seperangkat alat untuk metode *Marshall*.

2. Prosedur pengujian *Marshall*

- a. Pemeriksaan tinggi benda uji, berat kering, berat benda uji dalam air, dan berat pada kondisi kering permukaan jenuh.
- b. Untuk pengujian durabilitas rendaman dilakukan perendaman benda uji sesuai variasi lama rendaman 0 hari, 3 hari, dan 7 hari (gambar (a)).
- c. Untuk pengujian durabilitas ekspos, benda uji dibiarkan di luar ruangan terbuka sehingga terkena panas matahari dan hujan serta angin sesuai variasi lama pengujian 0 hari, 3 hari, dan 7 hari (gambar (b)).
- d. Setelah melaksanakan perendaman dan dibiarkan di luar ruangan sesuai lama pengujian, lalu merendam benda uji di *waterbath* di dalam air selama 30 menit dengan suhu 60° (gambar (c)).

- e. Benda uji dikeluarkan kemudian diletakan pada alat uji *Marshall* untuk dilakukan pengujian. (gambar (d) dan (e)).
- f. Memulai pembebanan benda uji sampai pembebanan maksimum tercapai atau menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan, kemudian catat nilai kelelahan (*flow*) dan stabilitas yang ditunjukkan oleh jarum arloji (gambar (f)).
 - a. Dial atas untuk pembacaan angka stabilitas
 - b. Dial bawah untuk pembacaan angka *flow*



(a)



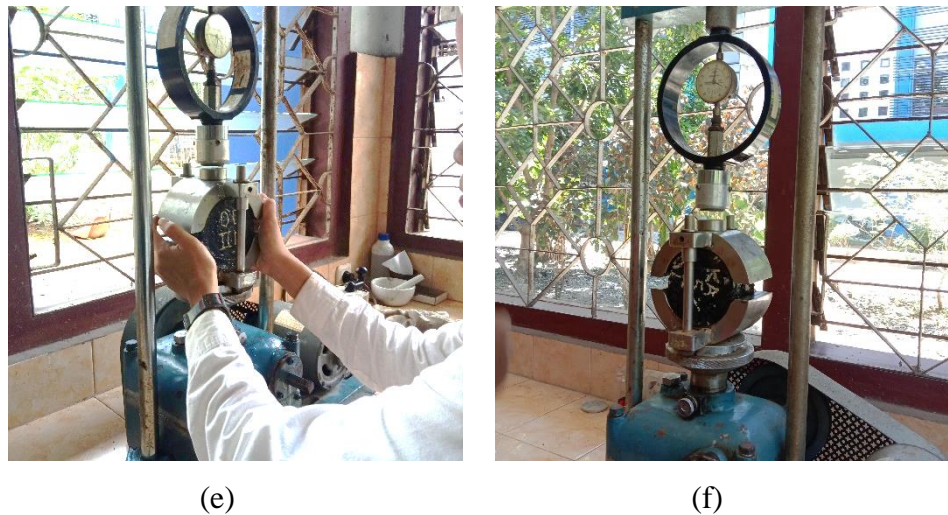
(b)



(c)



(d)



Gambar 3.10. Proses pengujian *marshall*

3.7. Analisis Hasil Penelitian

Pada tahap analisis hasil penelitian ini dilakukan analisis durabilitas campuran beraspal menggunakan Indeks Durabilitas Pertama (IDP) dan Indeks Durabilitas Kedua (IDK) untuk mengetahui perbandingan ketahanan masing-masing campuran beraspal *Stone Mastic Asphalt* (SMA) dalam menahan faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas rendaman dan durabilitas ekspos.

3.7.1. Indeks Durabilitas Pertama (IDP)

Indeks Durabilitas Pertama (IDP) adalah nilai berurutan dari jumlah kelandaian terhadap kurva keawetan yang menyatakan hilangnya persentase kekuatan selama periode waktu perendaman maupun ekspos dengan durasi jam sebagai penjumlahan kemiringan bagian-bagian yang merupakan kelandaian secara berurutan kurva durabilitas menurut Craus, dkk (1981).

Berikut persamaan 3.8 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai indeks durabilitas pertama (Rieke, 2020):

$$r = \sum_{i=0}^{n-1} \left(\frac{S_i - S_{i+1}}{(t_{i+1}) - t_i} \right) \dots\dots\dots(3.8)$$

Keterangan :

r = Nilai Indeks Penurunan Stabilitas (%)

S_i = Persen kekuatan sisa pada waktu t_i

S_{i+1} = Persen kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}

t_i-t_{i+1} = Periode perendaman.

Nilai “ r ” pada masing-masing campuran bernilai positif yang berarti ada kehilangan kekuatan, sedangkan jika nilai “ r ” pada masing-masing campuran bernilai negatif maka diindikasikan ada penambahan kekuatan. Indeks daya tahan pertama merupakan sehubungan dengan nilai absolut dari kehilangan bobot dalam kekuatan (R) yang ditunjukkan pada persamaan 3.9 berikut:

$$R = \frac{r}{100} \times S_0 \dots \dots \dots (3.9)$$

Keterangan:

r = Indeks durabilitas pertama (%/hari)

R = Bobot kekuatan (kg/hari)

S_0 = Persentase kekuatan awal (%)

3.7.2. Indeks Durabilitas Kedua (IDK)

Indeks Durabilitas Kedua (IDK) merupakan luas dari suatu kehilangan kekuatan rata-rata nilai keawetan atau kehilangan kekuatan (a), Kekuatan Sisa (S_a), dan nilai absolut dari ekuivalen kehilangan kekuatan (A) dapat dihitung dengan menggunakan persamaan Berikut persamaan 3.10 hingga persamaan 3.13 merupakan rumus yang digunakan untuk menghitung nilai indeks durabilitas kedua dan untuk IDK menggunakan rumus berikut:

$$a = \frac{1}{t_n} \sum_{i=1}^n a_i \text{ atau } a = \frac{1}{2t_n} \sum_{i=0}^{n-1} (S_i - S_{i+1}) \cdot [2t_n - (t_i + t_{i+1})] \dots \dots \dots (3.10)$$

$$\bar{s}_a = (100 - a) \dots \dots \dots (3.11)$$

$$A = \frac{a}{100} S_0 \dots \dots \dots (3.12)$$

$$\bar{S}_a = S_0 - A \dots \dots \dots (3.13)$$

Keterangan :

S_i = Persen kekuatan sisa pada waktu t_i

t_n = Total waktu perendaman atau ekspos

S_{i+1} = Persentase kekuatan sisa pada waktu t_{i+1}

t_i+t_{i+1} = Waktu perendaman atau ekspos (dimulai dari proses awal penelitian)

S_0 = Persentase kekuatan awal (%)

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil kesimpulan bahwa perbandingan ketahanan masing-masing campuran beraspal SMA dalam menahan faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas rendaman maupun durabilitas ekspos adalah sebagai berikut:

1. Nilai durabilitas campuran relatif menurun seiring dengan bertambahnya waktu perendaman dan pengeksposan. Nilai IDP yang diperoleh pada variasi rendaman yaitu sebesar 0,3% dan untuk variasi penjemuran sebesar 0,1% yang menandakan bahwa terjadi kehilangan kekuatan selama perendaman dan pengeksposan dengan penurunan yang relative kecil.
2. Nilai penurunan terkecil adalah pada variasi ekspos yaitu 0,1%, hal ini disebabkan suhu udara dan cuaca di tempat pengeksposan cenderung sedikit terkena panas dan hujan, sehingga proses oksidasi yang terjadi relatif lebih ringan dan proses penuaan campuran aspal juga menjadi lebih lama.
3. Nilai IDK pada variasi rendaman yang diperoleh yaitu dengan kumulatif sebesar 11,7%, hal ini terjadi disebabkan oleh terjadinya peningkatan kekakuan aspal yang menyebabkan peningkatan campuran sebagai akibat dari perendaman yang kemudian menjadi semakin keras dan getas, sehingga berakibat pada keawetan atau kekuatan yang menurun menjadi lebih besar. Namun pada variasi ekspos nilai yang diperoleh sebesar - 0,7% yang menandakan adanya penambahan kekuatan.

4. Dari pengujian yang dilakukan dapat disimpulkan bahwa campuran *Stone Mastic Asphalt* (SMA) dengan spesifikasi ini dapat menahan faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas campuran atau daya tahan campuran dengan baik dan dengan mendapatkan nilai stabilitas yang memenuhi spesifikasi yaitu diatas 750 kg dengan nilai rata-rata sebesar 827,6 kg untuk 0 hari, untuk variasi perendaman 737,7 kg untuk 3 hari dan 643,2 untuk 7 hari. Sedangkan untuk variasi ekspos 875,5 untuk 3 hari, dan 764,6 untuk 7 hari.

5.2 Saran

Berdasarkan kesimpulan di atas dan pengamatan selama penelitian, berikut beberapa saran yang dapat diberikan adalah:

1. Penelitian serupa dapat dilakukan dengan menggunakan campuran bahan tambahan seperti aspal buton atau bahan tambahan lainnya untuk meningkatkan durabilitas.
2. Prosedur pemadatan benda uji sebaiknya menggunakan pemadat *gyratory* karena kerusakan agregat lebih besar ketika menggunakan *Marshall Hammer* (Austroads, 2013).

DAFTAR PUSTAKA

- AAPA (2000). *Stone Mastic Asphalt: Design & Application Guide*. AAPA Implementation Guide IG-4
- AAPA (2004). *National Asphalt Specification*. AAPA Second Edition AS-2.
- Ahmat F. A., Novita P., & Joy F. B. (2018). Pengaruh Penggunaan Bahan Tambah Viatop Pada Campuran Stone Matrix Asphalt Terhadap Titik Lembek Aspal Dan Sifat Drain Down Campuran. *Jurnal HPJI* Vol. 3, 49-58.
- Austrroads (2004). *Stone Mastic Asphalt*. APRG Technical Note 16. ARRB Transport Research.
- Austrroads (2013). *Development of a Stone Mastic Asphalt Mix Design Procedure: Selection of Appropriate Compaction Equipment for the Mix Design*. Austrroads Technical Report.
- Craus, J., Ishai, I., & Sides, A. (1981). Durability Of Bituminous Paving Mixtures AsRelated To Filler Type And Properties. *Association Of Asphalt Paving Technologists*, 50.
- Direktorat Jenderal Bina Marga Kementerian Pekerjaan Umum. (2018). Spesifikasi Umum 2018 (Revisi 2). Kementerian Pekerjaan Umum Direktorat Jenderal Bina Marga, Jakarta.
- Dirgantara, C., & Firmanto, M. (1999). Analisis Perubahan Perilaku Campuran Split Mastic Asphalt + Roadcel 50 Dengan Pasir Besi Sebagai Filler Kaitannya Dengan Durabilitas. *Universitas Islam Indonesia*, 1–66.

- Emery, J. J., Schenk, W., Carrick, J. J., Davidson, J. K., Macinnis, W. K., & Kennepohl, G. J. A. (1993). Stone Mastic Asphalt Trials In Ontario. *Transportation Research Record*, 1427, 47–53.
- Fathurrahman Ramdhan, A. (2018). Analisis Workabilitas Dan Durabilitas Material Split Mastic Asphalt (Sma) Grading 0/11 Pada Gradasi Batas Atas, Batas Bawah Dan Batas Tengah. In *Universitas Muhammadiyah Surakarta*. Universitas Muhammadiyah Surakarta.
- Hidayat, R., & Kushari, B. (2019). Analisis Karakteristik Campuran Stone Matrix Asphalt Dengan Abu Ampas Tebu Sebagai Filler Pengganti. *Jurnal Sipil Statik*, 1–12.
- Karami, M. (2017). Application Of The Cementitious Grouts On Stability And Durability Of Semi Flexible Bituminous Mixtures. *Aip Conference Proceedings*, 1903(November). <https://doi.org/10.1063/1.5011492>
- Lake, A. G., Djakfar, L., Zaika, Y., Sipil, J. T., Teknik, F., & Malang, U. B. (2010). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt Dengan. *Jurnal Rekayasa Sipil*, 4(3), 175–184.
- Maulana B., A. (2020). *Kinerja Marshall Pada Campuran Split Mastic Asphalt (Sma) Menggunakan Serat Selulosa Alami Tongkol Jagung*. Universitas Jember.
- Qiu Y. F. (2007). Design And Performance Of Stone Mastic Asphalt In Singapore Conditions. Doctoral thesis. Nanyang Tegnological University. Singapore.
- Rosianti, Mashuri. (2015). Pengaruh Suhu Pemasakan Terhadap Workabilitas Perkerasan Beton Aspal Lapis Aus. *Infrastruktur*, 5(2), 96-105.

Rulvita S., R. (2020). *Pengaruh Penambahan Lateks Terhadap Durabilitas Campuran Split Mastic Asphalt (Sma)* (Vol. 3, Issue 2017). [Http://Repositorio.Unan.Edu.Ni/2986/1/5624.Pdf](http://Repositorio.Unan.Edu.Ni/2986/1/5624.Pdf)

Suaryana, N. (2012). Kajian Material SMA Asbuton Berdasarkan Kriteria Deformasi Permanen. *Jurnal Jalan-Jembatan*, 29 (2), 66-81.

Sukirman, S. (1999). Perkerasan Lentur Jalan Raya. In *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova.

Sukirman, S. (2003). Beton Aspal Campuran Panas. In *Institut Teknologi Nasional* (3rd Ed.). Institut Teknologi Nasional.

Zurni, R. (2015). Pengaruh Penggunaan Polimer Elvaloy Terhadap Nilai Index Kekuatan Sisa Pada Campuran Material Perkerasan Daur Ulang. *Jurnal Itenas Rekayasa*, 1, 1–7.