



**KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN SPLIT MASTIC
ASPHALT (SMA) DENGAN PENAMBAHAN SELULOSA
SERAT KAPUK**

SKRIPSI

Oleh :

Riza Millatul Aminin

161910301071

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020



**KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN SPLIT MASTIC
ASPHALT (SMA) DENGAN PENAMBAHAN SELULOSA
SERAT KAPUK**

SKRIPSI

Diajukan guna melengkapi dan memenuhi salah satu syarat
untuk menyelesaikan Program Studi Teknik Sipil (S1)
dan mencapai gelar Sarjana Teknik

Oleh :

Riza Millatul Aminin

161910301071

PROGRAM STUDI STRATA-1 TEKNIK

JURUSAN TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS JEMBER

2020

PERSEMBAHAN

Segala puji syukur kepada Allah SWT atas segala rahmat dan hidayah yang Engkau berikan sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Shalawat serta salam semoga tetap tercurahkan kepada junjungan Nabi besar Muhammad SAW yang telah menjadi suri tauladan terbaik dalam kehidupan ini.

Persembahan tugas akhir dan rasa terimakasih penulis ucapkan untuk:

1. Ibu dan (Alm) Ayah tercinta yang selalu mendoakan, memberi dukungan serta motivasi baik moril dan materil;
2. Adik – adik tercinta, Faradila Amini dan Ulil Abshor Abdillah yang selalu memberikan dukungan dan sebagai motivasi untuk lebih baik;
3. Guru – guru yang telah memberikan ilmu dan pemahaman sejak taman kanak-kanak hingga dibangku perkuliahan;
4. Indra Hari Prasetyo, selaku Teknisi Laboratorium Transport Fakultas Teknik Universitas Jember yang telah memberikan penjelasan mengenai pengujian laboratorium;
5. Handini Regitasari, Agusti Maulana, dan Venus Juanda yang telah menemani, dan melakukan penelitian bersama saat pengujian laboratorium;
6. Teman seperjuanganku Sara, Afifah, Nillam, Marisa, Mariska, Momo, Intan, Michelle yang telah mendukung dan memberikan doa dan semangat dalam pengerjaan tugas akhir ini;
7. Teman-teman mantap mania Fikri, Gagas, Vigit yang telah membantu dan memberikan doa dan semangat dalam penyelesaian tugas akhir ini;
8. Teman-teman Teknik Sipil 2016 yang telah membantu, memberikan semangat dan kemudahan dalam penyusunan tugas akhir ini;
9. Semua pihak yang turut berperan dalam penyelesaian tugas akhir ini yang tidak dapat disebutkan satu per satu.

Terimakasih kepada pihak yang terlibat, semoga Allah SWT membalas kebaikan tersebut dikemudian hari, dan dipermudah segala urusannya.

MOTTO

“Barang siapa yang menjadikan Allah keterpesonaannya, maka dia akan mempesona bagi semua mata”

(Gamal Albinsaid)

“Jika kau tak sanggup menahan lelahnya belajar, maka kau harus sanggup menahan perihnya kebodohan”

(Imam Syafi’i)

“Iman tanpa ilmu bagaikan lentera ditangan bayi, ilmu tanpa iman bagaikan lentera ditangan pencuri”

(Buya Hamka)

PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Riza Millatul Aminin

NIM : 161910301071

Menyatakan dengan sesungguhnya bahwa tugas akhir saya yang berjudul “Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk” adalah benar-benar hasil karya sendiri, kecuali kutipan yang sudah saya sebutkan sumbernya, penelitian ini belum pernah diajukan pada institusi manapun, dan bukan karya jiplakan. Saya bertanggung jawab atas keabsahan dan kebenaran isinya sesuai dengan sikap ilmiah yang harus dijunjung tinggi. Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenar benarnya, tanpa ada tekanan dan paksaan dari pihak mana pun serta bersedia mendapatkan sanksi akademik jika ternyata dikemudian hari pernyataan ini tidak benar.

Jember, 20 Januari 2020

Yang menyatakan,

Riza Millatul Aminin

NIM. 161910301071

TUGAS AKHIR

**KARAKTERISTIK MARSHALL CAMPURAN SPLIT MASTIC
ASPHALT (SMA) DENGAN PENAMBAHAN SELULOSA
SERAT KAPUK**

Oleh:

Riza Millatul Aminin

NIM. 161910301071

Pembimbing:

Dosen Pembimbing Utama : Akhmad Hasanuddin, S.T.,M.T.

Dosen Pembimbing Anggota : Dr. Dewi Junita K., S.T., M.T.

PENGESAHAN

Skripsi yang berjudul “Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk” : Riza Millatul Aminin, 161910301071 telah diuji dan di sahkan pada:

Hari, tanggal : Kamis, 09 Januari 2020

Tempat : Fakultas Teknik Universitas Jember

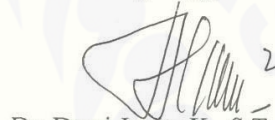
Tim Pembimbing:

Pembimbing Utama



Akhmad Hasanuddin, S.T., M.T.
NIP. 19710327 199803 1 003

Pembimbing Anggota



Dr. Dewi Junita K., S.T., M.T.
NIP. 19710610 199903 2 001

Tim Penguji:

Penguji Utama



Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T.
NIP. 19701024 199803 2 001

Penguji Anggota



Willy Kriswardhana, S.T., M.T.
NIP. 19900523 201903 1 013



Mengesahkan,

Dekan,

Dr. Ir. Entin Hidayah, M.UM
NIP. 19661215 199503 2 001

PRAKATA

Puji syukur kehadiran Allah SWT atas segala rahmat dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan tugas akhir yang berjudul “Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk”. Tugas akhir ini disusun untuk memenuhi salah satu syarat menyelesaikan pendidikan strata satu (S1) Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember.

Penyusunan tugas akhir ini tidak terlepas dari bantuan berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis menyampaikan terimakasih kepada:

1. Akhmad Hasanuddin, S.T., M.T. dan Dewi Junita Koesumawati, S.T.,M.T. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan ilmu dan saran yang bermanfaat
2. Indra Nurtjahjaningtyas, S.T., M.T. dan Willy Kriswardhana, S.T., M.T. selaku dosen penguji yang telah memberikan saran perbaikan tugas akhir.
3. Winda Triwahyuningtyas, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik yang telah memberikan bimbingan selama penulis menjadi mahasiswa.
4. Willy Kriswardhana, S.T., M.T. dan Winda Triwahyuningtyas, S.T., M.T. selaku komisi bimbingan
5. Dr. Anik Ratnaningsih, S.T., M.T. selaku kepala Prodi S1 Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
6. Gusfan Halik, S.T., M.T. selaku ketua Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember
7. Dr. Ir. Entin Hidayah, S.T., M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Jember.

Jember, 02 Januari 2020

Penulis

RINGKASAN

Karakteristik Marshall Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan Penambahan Selulosa Serat Kapuk; Riza Millatul Aminin., 161910301071; 2020: 73 halaman; Jurusan Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Jember

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran gradasi timpang dengan persentase agregat kasar tinggi. Partikel agregat kasar tersebut menyatu dengan filler, serat atau polymer dalam suatu ketebalan film aspal. Campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi dan mempunyai kekuatan lebih besar karena persentase agregat kasar yang digunakan pada campuran sangat tinggi. Campuran SMA juga memiliki kadar aspal tinggi sehingga keawetan yang dihasilkan akan lebih baik. Tingginya kadar aspal pada campuran Split Mastic Asphalt membutuhkan suatu bahan tambah (aditif) yang dapat menstabilkan dan memberi perkuatan. Salah satu bahan aditif yang dapat digunakan adalah serat selulosa yang berfungsi untuk membantu menahan keretakan (cracking), alur karena roda kendaraan (rutting), iklim tropis, beban kendaraan berat, dan faktor lingkungan lainnya.

Serat kapuk merupakan serat selulosa alami dengan nama ilmiah *Ceiba Pentandra* merupakan tanaman tropis yang banyak digunakan sebagai bahan dasar matras dan bantal. Serat kapuk memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi, kandungan selulosa pada serat kapuk berkisar antara 35% - 64%. Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui kinerja campuran Split Mastic Asphalt dengan penambahan serat kapuk sebagai aditif. Metode penelitian dengan perbandingan kuantitatif kinerja campuran SMA tanpa serat kapuk dan campuran SMA dengan variasi penambahan serat kapuk. Variasi kadar serat kapuk yang digunakan pada campuran 0,01%, 0,025%, 0,05%, 0,075% dan 0,1% terhadap berat campuran, dengan kadar aspal optimum yang digunakan 6,41%. Kinerja campuran ditinjau dari kekuatan dan keawetan yang dihasilkan.

Hasil penelitian menunjukkan penambahan serat kapuk dapat meningkatkan kinerja campuran, yang ditinjau dari kekuatan dan keawetan. Kekuatan campuran yang dilihat dari nilai stabilitas memiliki nilai tertinggi pada kadar 0,075% serat kapuk, meningkat hingga 15,72%. Berdasarkan keawetan (*durabilitas*) penambahan serat kapuk terhadap campuran aspal yang dilihat dari nilai *flow* dan *MQ*, fleksibilitas terbaik terdapat pada campuran dengan nilai *flow* terbesar dan *MQ* terendah terdapat pada kadar tertinggi 0,1%, dengan nilai *flow* 3,85 mm dan nilai *MQ* 327,62. Dari segi biaya berdasarkan material yang dibutuhkan, semakin tinggi kadar serat kapuk yang digunakan maka semakin tinggi biaya yang dibutuhkan. Biaya campuran dengan kekuatan optimum dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan biaya campuran dari keawetan optimum.

SUMMARY

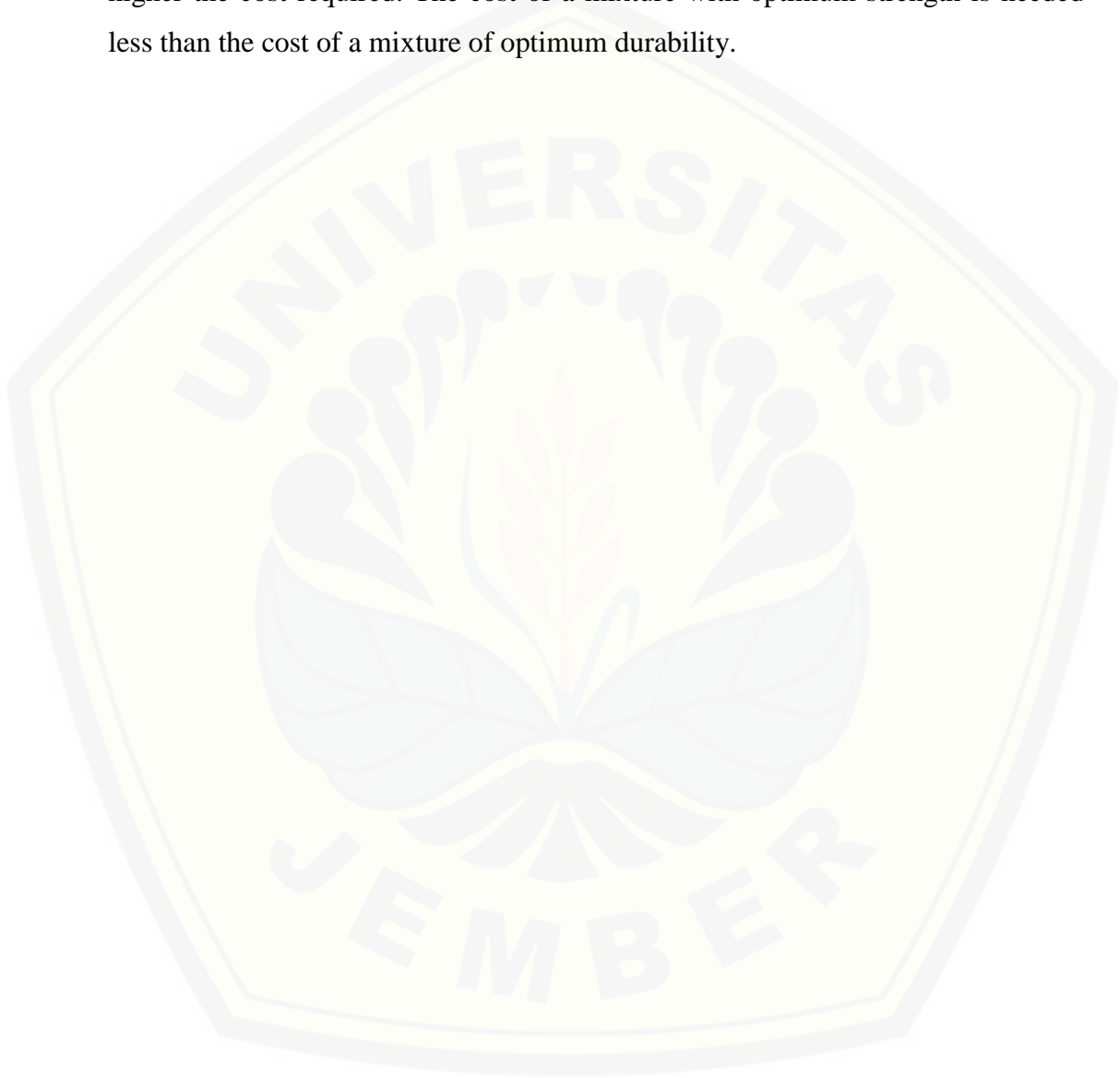
Marshall Characteristic of Split Mastic Asphalt (SMA) with Cellulose Kapuk Fiber Addition; Riza Millatul Aminin, 161910301071; 2020: 74 pages; Departement of Civil Engineering; Faculty of Engineering; University of Jember

Split Mastic Asphalt (SMA) is a mixture with unequal gradations that has a high percentage of coarse aggregate. The coarse aggregate particles are fused with filler, fiber or polymer in a thickness of asphalt film. SMA mixtures are more resistant to deformation and have greater strength because the percentage of coarse aggregates used in the mixture is very high. SMA mixture also has high asphalt content, that the durability produced will be better. High percentage of asphalt in the Split Mastic Asphalt mixture require an additive that can stabilize and strengthen. One of the additives that can be used is cellulose fiber has functions to avoid cracking, rutting, tropical climate, heavy vehicle loads, and other environmental factors.

Kapuk fiber is a natural cellulose fiber with the scientific name *Ceiba Pentandra* is a tropical plant that is widely used as a basis for mattresses and pillows. Kapok fiber has high cellulose content. The cellulose content in cotton fiber ranges from 35% to 64%. This study aims to determine the performance of the Split Mastic Asphalt mixture by adding cotton fiber as an additive with the Marshall test. Variation in cotton fiber content used in the mixture of 0.01%, 0.025%, 0.05%, 0.075% and 0.1% of the weight of the mixture, with optimum asphalt content used is 6.41%. The research method used is quantitative comparison of the performance of a mixture without cotton fiber with variations in the mixture of cotton fiber addition. Mixed performance in terms of strength and durability of the mixture.

The results showed the addition of cotton fiber can improve the performance of the mixture, in terms of strength and durability. The strength of the mixture seen from the stability value has the highest value at the level of 0.075% cotton fiber, increasing up to 15.72%. Based on the durability of cotton

fiber added to the asphalt mixture as seen from the flow value and MQ, the best flexibility is in the mixture with the largest flow value and the lowest MQ is at the highest level 0.1%, with a flow value of 3.85 mm and MQ value 327.62. In terms of cost based on the material needed, the higher the cotton fiber content used, the higher the cost required. The cost of a mixture with optimum strength is needed less than the cost of a mixture of optimum durability.



DAFTAR ISI

	Halaman
BAB I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah.....	2
1.3 Tujuan Penelitian	3
1.4 Manfaat Penelitian	3
1.5 Batasan Masalah	3
BAB II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Split Mastic Asphalt	4
2.1.1 Sifat sifat pada SMA	5
2.2 Campuran Beraspal Panas.....	6
2.3 Agregat.....	7
2.3.1 Agregat Kasar.....	7
2.3.2 Agregat Halus.....	8
2.3.3 Gradasi Agregat.....	9
2.3.4 Berat Jenis Agregat.....	10
2.3.5 Keausan Agregat.....	11
2.4 Aspal.....	12
2.4.1 Jenis Aspal	12
2.4.2 Fungsi Aspal sebagai Material.....	12
2.4.3 Aspal Semen/Aspal Keras.....	13
2.5 Bahan Aditif.....	14
2.5.1 Serat Selulosa.....	15
2.5.2 Serat Kapuk.....	15
2.6 Perancangan Campuran.....	16
2.6.1 Penentuan Jumlah Agregat terhadap Campuran	16
2.6.2 Penentuan Komposisi Aspal terhadap Campuran.....	18
2.7 Metode Marshall.....	18
2.7.1 Uji Marshall.....	19
2.7.2 Parameter Pengujian Marshall.....	18

BAB III. Metodologi Penelitian	25
3.1 Lokasi Penelitian	25
3.2 Jenis Penelitian	25
3.3 Pelaksanaan Penelitian.....	25
3.1.1 Tahapan Persiapan	25
3.1.2 Pengujian Material	26
3.1.1 Pembuatan Sampel untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum	32
3.1.2 Pembuatan Sampel dengan penambahan serat kapuk	35
3.4 Analisis Data.....	37
3.5 Diagram Alir Penelitian.....	38
BAB IV. Pembahasan	41
4.1 Pengujian Agregat	41
4.1.1 Pengujian Agregat Kasar	41
4.1.2 Pengujian Agregat Halus	45
4.2 Pengujian Bitumen Aspal	47
4.3 Pengujian Serat Kapuk	47
4.4 Perencanaan Campuran	48
4.4.1 Pemilihan Gradasi Agregat Campuran	48
4.4.2 Perhitungan Kadar Aspal Optimum	47
4.5 Hasil Pengujian Marshall Campuran SMA.....	52
4.6 Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	59
4.7 Hasil Pengujian Marshall Campuran SMA dengan Serat Kapuk.....	60
4.8 Rancangan Biaya Campuran Aspal Volume 1 ton.....	66
4.9 Analisis Data dan Pembahasan	69
BAB V. Penutup	71
5.1 Kesimpulan	71
5.2 Saran	71
DAFTAR PUSTAKA	73
LAMPIRAN	75

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1 Ketentuan Sifat sifat Campuran Stone Matrix Asphalt.....	6
2.2 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal	7
2.3 Ketentuan agregat kasar dalam campuran beraspal panas	8
2.4 Ketentuan agregat halus dalam campuran beraspal panas	9
2.5 Gradasi Agregat Gabungan untuk Campuran Beraspal	9
2.6 Ketentuan Aspal pada campuran beraspal panas Aspal Pen 60/70.....	13
2.7 Persyaratan serat selulosa pada SMA.....	15
2.8 Karakteristik dari Material Serat.....	15
2.9 Penelitian Terkait penambahan selulosa terhadap campuran.....	23
4.1 Pengujian Agregat Kasar.....	41
4.2 Pengujian Agregat Halus.....	45
4.3 Pengujian Aspal Pen 60/70	47
4.4 Pengujian Serat Kapuk sebagai Serat Selulosa pada SMA.....	48
4.5 Perhitungan Rencana Proporsi Campuran SMA.....	49
4.6 Perhitungan Kebutuhan Berat Campuran (1 sampel).....	50
4.7 Hasil Perhitungan Prosentase Campuran Agregat Gabungan	51
4.8 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran SMA.....	52
4.9 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran SMA penambahan serat kapuk.....	60
4.10 Kebutuhan material dalam perencanaan 1 ton volume campuran.....	68
4.11 Biaya yang dibutuhkan dalam perencanaan 1 ton volume campuran	68
4.12 Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran SMA dengan penambahan Serat Kapuk.....	69

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
2.1 Mesin Los Angeles untuk Abrasi Agregat.....	11
2.2 Skematis Jenis Volume Aspal Beton	21
4.1 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar.....	44
4.2 Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar.....	44
4.3 Grafik Analisa Saringan Agregat Halus.....	46
4.4 Analisa Saringan pada Serat Kapuk.....	48
4.5 Rancangan Proporsi Campuran Split Mastic Asphalt.....	49
4.6 Grafik nilai VMA terhadap persen kadar aspal.....	53
4.7 Grafik Nilai VIM terhadap Persen Kadar Aspal	54
4.8 Grafik Nilai VFA terhadap Persen Kadar Aspal.....	55
4.9 Grafik Stabilitas terhadap Persen Kadar Aspal	56
4.10 Grafik nilai flow terhadap Persen Kadar Aspal	57
4.11 Grafik <i>Density</i> terhadap Persen Kadar Aspal.....	57
4.12 Grafik nilai <i>Marshall Qoutient</i> terhadap Persen Kadar Aspal.....	58
4.13 Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Campuran SMA	59
4.14 Grafik Nilai VMA terhadap Persen Penambahan Serat kapuk	61
4.15 Grafik Nilai VIM terhadap Persen Penambahan Serat kapuk.....	62
4.16 Grafik Nilai VFA terhadap Persen Penambahan Serat kapuk	63
4.17 Grafik Stabilitas terhadap Persen Penambahan Serat kapuk.....	64
4.18 Grafik nilai flow terhadap Persen Penambahan Serat kapuk.....	65
4.19 Grafik <i>Density</i> terhadap Persen Penambahan Serat kapuk	66
4.20 Grafik nilai <i>Marshall Qoutient</i> terhadap Persen Penambahan Serat kapuk...67	67

BAB 1. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Lapisan perkerasan jalan merupakan bagian utama dari struktur konstruksi jalan. Menurut Sukirman (2003) perkerasan jalan merupakan lapisan perkerasan yang berada di antara lapisan tanah dasar dan roda kendaraan yang berfungsi sebagai media pergerakan transportasi dan selama umur layanannya diharapkan tidak terjadi kerusakan yang berarti. Banyak jalan yang mengalami kerusakan sebelum umur layanannya berakhir. Penelitian serta inovasi terus dikembangkan untuk meningkatkan kualitas pada perkerasan dan mengantisipasi kerusakan pada jalan sebelum waktunya, kerusakan jalan yang terjadi meliputi retak, distorsi, berlubang dan pengelupasan pada permukaan. Salah satu campuran beton aspal yang banyak dikembangkan dan digunakan adalah campuran Split Mastic Asphalt (SMA).

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran dengan gradasi timpang yang mempunyai persentase agregat kasar tinggi. Partikel agregat kasar tersebut menyatu dengan filler, serat atau polimer dalam suatu ketebalan film aspal (Tahir, 2009). Campuran SMA lebih tahan terhadap deformasi, mempunyai kekuatan yang lebih tinggi karena kadar agregat kasarnya besar dan lebih tahan lama, karena kadar aspalnya tinggi serta distabilisasi dengan serat selulosa, sehingga dapat digunakan untuk perencanaan lapisan beton aspal yang optimum dan dapat melayani sesuai dengan umur layan perkerasan jalan (Abdillah, Pradani, & Batti, n.d.).

Tingginya kadar aspal pada campuran Split Mastic Asphalt membutuhkan suatu bahan tambah yang dapat menstabilkan dan memberi perkuatan. Menurut (Tahir, 2011) serat selulosa dapat digunakan sebagai bahan *aditif* pada perkerasan Split Mastic Aspal untuk menahan keretakan (*cracking*), alur karena roda kendaraan (*rutting*), iklim tropis, beban kendaraan berat, dan faktor lingkungan lainnya. Bahan tambah yang biasanya digunakan dalam campuran adalah selulosa sintesis seperti arbocel, namun harga serat sintesis

tersebut relatif mahal, oleh karena itu dibutuhkan suatu bahan tambah serat selulosa yang terbuat dari bahan alami yang relatif murah dan dapat digunakan untuk menstabilkan dan memberi perkuatan pada campuran.

Serat kapuk merupakan serat selulosa alami dengan nama ilmiah *Ceiba Pentandra* merupakan tanaman tropis yang banyak digunakan sebagai bahan dasar matras dan bantal. Serat kapuk memiliki bentuk penampang melintang, berbentuk bulat lonjong dengan lumen yang lebar dan dindingnya sangat tipis. Indonesia merupakan negara penghasil kapuk terbesar di dunia. Pada tahun 2013, luas perkebunan tanaman kapuk di Indonesia mencapai 157.283 ha dengan produksi 61.273 ton serat kapuk per tahun. Serat kapuk memiliki kandungan selulosa yang cukup tinggi. Kandungan selulosa pada serat kapuk berkisar antara 35% - 64% (Rizkiansyah et al., 2016).

Campuran *Split Mastic Asphalt* pernah diteliti dengan menambahkan beberapa jenis serat selulosa alami untuk mendapatkan kinerja yang lebih baik. Penelitian yang dilakukan Tahir (2011) terhadap Kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* dengan penambahan serat selulosa alami dedak padi dikatakan bahwa penambahan selulosa dapat meningkatkan kinerja campuran, dari stabilitas, durabilitas, dan fleksibilitas. Campuran SMA dengan penambahan serat kapuk sebagai selulosa alami pernah diteliti oleh Meryati dan Rezky (2004). Penelitian tersebut menggunakan spesifikasi Bina Marga 2002 dengan kadar kapuk yang sangat kecil yaitu 0,005%, 0,0075%, dan 0,01% dari berat campuran. Pada penelitian ini menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2018 sebagai pedoman campuran *Split Mastic Asphalt*, serta variasi kadar serat kapuk yang digunakan lebih tinggi dibanding penelitian sebelumnya, yaitu 0,01%, 0,025%, 0,05%, 0,075%, 0,1% dari berat campuran, untuk mendapatkan kinerja campuran beton aspal yang lebih baik.

1.2 Rumusan Masalah

Dari latar belakang diatas dapat ditarik suatu rumusan masalah, bagaimana kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) kasar dengan penambahan selulosa serat kapuk?

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini yaitu, untuk mengetahui kinerja campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) kasar dengan penambahan selulosa serat kapuk.

1.4 Manfaat Penelitian

Manfaat yang diharapkan dengan adanya penelitian ini adalah memberikan informasi dan inovasi pemanfaatan serat kapuk sebagai campuran pada *Split Mastic Asphalt* (SMA)

1.5 Batasan Masalah

1. Jenis SMA yang digunakan adalah SMA Kasar dengan ketebalan minimum 5 cm
2. Penelitian ini dilakukan dengan menggunakan pedoman Direktorat Jenderal Bina Marga Spesifikasi Umum 2018. untuk Pekerjaan Konstruksi Jalan dan Jembatan
3. Parameter Marshall yang digunakan untuk mengetahui kinerja aspal yaitu nilai *density*, *stabilitas*, *flow*, *Marshall Quotient*, VIM, VFB, dan VMA

BAB 2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Split Mastic Asphalt

Split Mastic Asphalt (SMA) merupakan campuran perkerasan dengan kadar agregat kasar tinggi. Kandungan agregat kasar yang tinggi dapat meningkatkan kontak antar butiran batu dengan batu pada campuran, sehingga dapat meningkatkan efisiensi penyaluran beban roda kendaraan. Partikel agregat kasar akan tercampur baik dengan filler, serat, dan atau polimer dalam satu ketebalan aspal (Collins, 1996). Menurut (Razali, 2013) Split Mastic Asphalt dikembangkan untuk mendapatkan suatu lapisan aspal yang mampu memberikan ketahanan maksimum akibat pengausan oleh beban kendaraan (*wearing resistance*) dan memberikan ketahanan maksimum terhadap deformasi lalu lintas berat.

Split terdiri dari agregat kasar dengan kadar jumlah yang tinggi, dengan ukuran agregat kasar (2,0 mm sampai dengan 13,0 mm) kadar agregat kasar pada SMA bisa mencapai 75% dari gradasi total. Mastik aspal terdiri dari campuran agregat halus, filler, dan aspal. Bahan tambahan (aditif) yang digunakan berupa serat selulosa, yang berfungsi untuk menstabilkan aspal, guna menghasilkan mutu campuran pada beton aspal lebih tahan terhadap oksidasi, retak dan bleeding. Serta tahan terhadap keausan yang disebabkan oleh roda kendaraan. Split Mastic Asphalt dibagi menjadi 3 jenis menurut gradingnya, yaitu :

- a. SMA grading 0/11, merupakan campuran SMA dengan ukuran maksimum butiran agregat 11 mm. SMA grading 0/11 digunakan pada lapisan wearing course pada jalan dengan ketebalan lapisan 3 cm – 5 cm
- b. SMA grading 0/8, merupakan campuran SMA dengan ukuran maksimum butiran agregat 8 mm. SMA grading 0/8 digunakan pada pelapisan ulang (overlay) wearing course pada jalan lama dengan ketebalan lapisan 2 cm – 4 cm
- c. SMA grading 0/5, merupakan campuran SMA dengan ukuran maksimum butiran agregat 5 mm. SMA grading 0/5 digunakan pada lapisan tips

permukaan untuk pemeliharaan dan perbaikan pada jalan, dengan ketebalan lapisan 2 cm – 4 cm

Menurut (Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat, 2018) Split Mastic Asphalt atau yang biasa disebut Stone Matrix Asphalt dibedakan menjadi tiga bagian menurut ketebalan campuran aspalnya, yaitu:

- a. Stone Matrix Asphalt Tipis : Tebal Nominal Minimum 3,0 cm
- b. Stone Matrix Asphalt Halus : Tebal Nominal Minimum 4,0 cm
- c. Stone Matrix Asphalt Kasar : Tebal Nominal Minimum 5,0 cm

2.1.1 Sifat-sifat pada Split Mastic Asphalt (SMA)

Beberapa sifat campuran SMA adalah bergradasi terbuka, dengan adanya kadar chipping yang tinggi (ukuran agregat > 2 mm) sekitar 75% memberikan sifat:

1. Tahan terhadap alur (Rutting Resistance) pada temperatur tinggi dan lalu lintas berat yang terkonsentrasi pada suatu tempat (jejak roda kendaraan). Ketahanan terhadap reformasi disumbangkan oleh struktural mineral dengan tipe kerangka (skeleton), yaitu dengan adanya perpindahan gaya langsung diantara chipping yang ada dan mastic yang berupa aspal mortar sehingga mampu menahan struktur chipping tetap pada kedudukannya.
2. Tahan terhadap proses pengausan oleh roda kendaraan (wearing resistance). Ketahanan ini disumbangkan dengan adanya kontak langsung antara roda kendaraan dan chipping yang cukup besar.
3. Memiliki struktur permukaan yang kasar dan seragam (homogen).
4. Digunakan aspal dengan kadar yang cukup tinggi karena banyaknya rongga yang terdapat dalam campuran.
5. Dapat dilaksanakan dengan pelapisan yang tipis.
6. Dengan tingginya kadar aspal memberikan lapisan aspal yang tebal sehingga memberikan ketahanan terhadap proses oksidasi pada bitumen yang terjadi karena sinar ultraviolet dari matahari yang berfungsi sebagai katalisator dapat menyebabkan terjadinya pelapukan dan kelekatan yang

lebih baik terhadap campuran. Dengan adanya sifat ini sehingga memberikan umur layanan yang lebih panjang.

7. Tidak peka terhadap perubahan kadar aspal terhadap campuran.
8. Menghasilkan kelekatan yang lebih baik antara lapisan SMA sebagai wearing course dengan lapisan bawahnya.
9. Lebih fleksibel dalam mengatasi perubahan bentuk akibat kurang mantapnya lapisan bawah. Umumnya campuran SMA terbentuk dari dua unsur, yaitu agregat sebagai bahan utama, aspal, dan bahan tambahan.

Tabel 2.1 Ketentuan Sifat-sifat Campuran Stone Matrix Asphalt

Sifat Sifat Campuran		SMA	SMA Mod
		Tipis, Halus dan Kasar	Tipis, Halus dan Kasar
Jumlah Tumbukan per bidang			50
Rongga dalam campuran (%)	Min		4,0
	Maks		5,0
Rongga dalam agregat (VMA) (%)	Min		17
Rasio VCA_{mix}/VCA_{drc}			<1
Draindown pada temperatur produksi, % berat dalam campuran (waktu 1 jam)	Maks		0,3
Stabilitas Marshall (kg)	Min	600	750
Pelelehan (mm)	Min		2
	Maks		4,5
Stabilitas Marshall sisa (%) setelah perendaman selama 24 jam 60 °C	Min		90
Stabilitas Dinamis (lintasan/mm)		2500	3000

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.2 Campuran Beraspal Panas

Campuran beraspal merupakan suatu kombinasi campuran antara agregat dan aspal. Aspal berfungsi sebagai pengikat antar partikel agregat, dan agregat merupakan kekuatan utama dalam campuran perkerasan. Sifat-sifat mekanis aspal dalam campuran beraspal diperoleh dari friksi dan kohesi dari bahan-bahan pembentuknya. Friksi agregat diperoleh dari ikatan antar butir agregat (interlocking), dan kekuatannya tergantung pada gradasi, tekstur permukaan, bentuk butiran dan ukuran agregat maksimum yang digunakan. Sedangkan sifat

kohesinya diperoleh dari sifat-sifat aspal yang digunakan. Oleh sebab itu kinerja campuran beraspal sangat dipengaruhi oleh sifat-sifat agregat dan aspal serta sifat-sifat campuran padat yang sudah terbentuk dari kedua bahan tersebut.

Tabel 2.2 Tebal Nominal Minimum Campuran Beraspal

Jenis Campuran	Ukuran nominal agregat kasar penampung dingin (cold bin) minimum yang diperlukan (mm)			
	5-8	8-11	11-16	16-22
Stone Matrix Asphlat – Tipis	Ya	Ya		
Stone Matrix Asphlat – Halus	Ya	Ya	Ya	
Stone Matrix Asphlat – Kasar	Ya	Ya	Ya	Ya
	5-8	8-11	11-16	16-22
Lataston Lapis Aus	Ya	Ya		
Lataston Lapis Fondasi	Ya	Ya		
Laston Lapis Aus	Ya	Ya		
Laston Lapis Antara	Ya	Ya	Ya	
Laston Lapis Fondasi	Ya	Ya	Ya	Ya

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.3 Agregat

Agregat secara umum adalah batuan yang sudah di pecah. Agregat merupakan komponen utama suatu struktur perkerasan jalan yaitu berdasarkan prosentase berat struktur perkerasan 90-95% agregat, atau 70-85% berdasarkan prosentase volume, dengan demikian daya dukung, keawetan, dan mutu perkerasan jalan juga ditentukan dari sifat dari sifat agregat dan pencampuran agregat dengan bahan material lainnya.

2.3.1 Agregat Kasar

Agregat yang secara umum mempunyai ukuran yang lebih besar dari 0,234 mm yang digunakan untuk campuran aspal panas secara umum baik itu aspal beton. Menurut SNI 1970-2008, agregat kasar adalah 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). Berdasarkan ASTM C33 Agregat kasar terdiri dari kerikil atau batu

pecah dengan partikel butir lebih besar dari 5 mm atau antara 9,5 mm dan 37,5 mm.

Tabel 2.3 Ketentuan agregat kasar dalam campuran beraspal panas

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Kekelan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	Maks. 12%
	Magnesium Sulfat	Maks. 18%
Abrasi dengan mesin Los Angeles 1)	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran 500 putaran
	SNI 2417:2008	Maks. 6% Maks. 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran 500 putaran
Kelekatan agregat terhadap aspal Butir Pecah pada Agregat Kasar	SMA	SNI 2439:2011 SNI 7619:2012
	Lainnya	Min 95% 100/90*) 95/90**)
Partikel Pipih dan Lonjong	SMA	ASTM D4791-10
	Lainnya	Maks. 5% Perbandingan 1:5
Material lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117: 2012	Maks. 1%

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.3.2 Agregat Halus

Agregat Halus merupakan bahan pengisi diantara agregat kasar sehingga menjadikan ikatan lebih kuat yang mempunyai BJ 1400 kg/m. Agregat halus yang baik tidak mengandung lumpur lebih besar 5 % dari berat, tidak mengandung bahan organik lebih banyak, terdiri dari butiran yang tajam dan keras, dan bervariasi.

Berdasarkan SNI 03-6820-2002, agregat halus adalah agregat besar butir maksimum 4,76 mm berasal dari alam atau hasil alam, sedangkan agregat halus olahan adalah agregat halus yang dihasilkan dari pemecahan dan pemisahan butiran dengan cara penyaringan atau cara lainnya dari batuan atau terak tanur tinggi. 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.

Tabel 2.4 Ketentuan agregat halus campuran beraspal panas

Pengujian	Metoda Pengujian	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min 50%
Uji Kadar Rongga Tanpa Pemasadatan	SNI 03-6877-2002	Min 45%
Gumpalan Lempung dan Butir butiran mudah pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat lolos ayakan No. 200	SNI ASTM C117;2012	Maks.10%

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.3.3 Gradasi Agregat

Gradasi Agregat merupakan gabungan variasi ukuran butir agregat yang berpengaruh terhadap rongga dalam campuran, serta berpengaruh terhadap *workability* (kemudahan dalam pengerjaan) suatu campuran. Berikut ini merupakan spesifikasi gradasi agregat gabungan untuk campuran beraspal.

Tabel 2.5 Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Beraspal

Ukuran Ayakan		% Berat yang lolos terhadap total agregat							
ASTM	(mm)	Stone Matrix Asphalt (SMA)			Lataston (HRS)		Laston (AC)		
		Tipis	Halus	Kasar	WC	Base	WC	BC	Base
1½"	37,5			100					100
1"	25			100				100	90-100
¾"	19		100	90-100	100	100	100	90-100	76-90
½"	12,5	100	90-100	50-88	90-100	90-100	90-100	75-90	60-78
3/8"	9,5	70-95	50-80	25-60	75-85	65-90	77-90	66-82	52-71
No. 4	4,75	30-50	20-35	20-28			53-69	46-64	35-54
No. 8	2,36	20-30	16-24	16-24	50-72	35-55	33-53	30-49	23-41
No. 16	1,18	14-21					21-40	18-38	13-30
No. 30	0,600	12-18			35-60	15-35	14-30	12-28	10-22
No. 50	0,300	10-15					9-22	7-20	6-15
No. 100	0,150						6-15	5-13	4-10
No. 200	0,075	8-12	8-11	8-11	6-10	2-9	4-9	4-8	3-7

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.3.4 Berat Jenis Agregat

Berat Jenis Agregat adalah perbandingan antara berat agregat dan berat volume air. Nilai berat jenis agregat berpengaruh dalam perencanaan campuran,

nilai berat jenis harus memenuhi spesifikasi yang telah disyaratkan. Berat Jenis (*specific gravity*) dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

- a. Berat Jenis Bulk (*Bulk Specific Gravity*), merupakan berat jenis yang memperhitungkan berat agregat dalam kondisi kering dan seluruh volume pada agregat (volume pori yang dapat diresapi aspal, dilewati air, dan volume partikel).

$$\text{Berat jenis bulk} = \frac{BK}{(V_s+V_i+V_p+V_c)\gamma_a} = \frac{BK}{(B_j-B_a)} \dots\dots\dots(2.1)$$

- b. Berat Jenis Kering Permukaan (*Saturated Surface Dry*), merupakan berat jenis yang memperhitungkan berat agregat dalam kondisi kering permukaan dan volume pori yang dapat diresapi aspal ditambah dengan volume partikel.

$$\text{Berat jenis kering permukaan} = \frac{B_j}{(V_s+V_i+V_p+V_c)\gamma_a} = \frac{B_j}{(B_j-B_a)} \dots\dots\dots(2.2)$$

- c. Berat Jenis Semu (*apparent specific gravity*), merupakan berat jenis yang memperhitungkan berat agregat kondisi kering dan volume agregat yang tidak diresapi air.

$$\text{Berat jenis semu} = \frac{BK}{(V_s+V_i)\gamma_a} = \frac{BK}{(B_k-B_a)} \dots\dots\dots(2.3)$$

- d. Berat Jenis Efektif (*effective specific gravity*), merupakan berat jenis yang hampir sama dengan berat jenis semu, namun perhitungan volume agregatnya menggunakan volume agregat tidak dapat meresap aspal.

$$\text{Berat jenis efektif} = \frac{BK}{(V_s+V_i+V_p)\gamma_a} \dots\dots\dots(2.4)$$

Dimana :

V_s = Volume bagian massif

V_i = Volume Pori yang tidak dapat diresapi air

V_p = Volume pori yang hanya dapat diresapi aspal

V_c = Volume pori yang dapat diresapi aspal

B_k = Berat Kering agregat setelah dioven

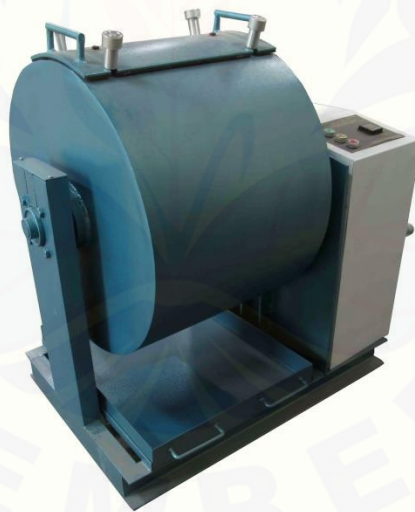
B_j = Berat kering agregat dalam keadaan kering permukaan

B_a = Berat agregat yang ditimbang dalam air

γ_a = Berat jenis air

2.3.5 Keausan Agregat

Keausan agregat merupakan daya tahan yang dimiliki agregat terhadap adanya suatu proses penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Kehancuran agregat yang disebabkan oleh proses mekanis salah satunya adalah pengujian abrasi dengan menggunakan mesin *Los Angeles*. Sedangkan kehancuran agregat yang diakibatkan oleh proses kimiawi adalah pengaruh kelembaban dan perubahan suhu. Penggunaan agregat yang tidak memenuhi syarat keausan agregat akan mempengaruhi stabilitas dan perekatan agregat terhadap aspal.



Gambar 2.1 Mesin *Los Angeles* untuk Uji Abrasi Agregat

Hasil pengujian keausan agregat dari campuran agregat kasar (CA) dan agregat medium (MA) dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Keausan Agregat} = \frac{\sum \left(\frac{a-b}{b} \right) \times 100\%}{\sum n} \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana :

a = berat agregat kasar dan medium sebelum pengujian

b = berat agregat tertahan saringan 200 setelah pengujian

n = jumlah pengujian

2.4 Aspal

Aspal merupakan senyawa hidrokarbon, yang terdiri dari asphaltenes dan maltenes. Pada konstruksi perkerasan jalan, aspal berfungsi sebagai bahan pengikat yang memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antar aspal itu sendiri. Selain itu, aspal berfungsi sebagai pengikat rongga antara butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri. Aspal harus mempunyai daya tahan terhadap cuaca, mempunyai adhesi dan kohesi yang baik dan memberikan sifat elastik yang baik.

Campuran SMA dengan agregat bergradasi terbuka (*open graded*) membutuhkan kadar aspal yang tinggi, aspal yang digunakan sebagai bahan ikat dan pengisi rongga antar agregat harus distabilkan dengan bahan tambahan/additive. Stabilisasi ini akan meningkatkan titik leleh (*softening point*) aspal, meningkatkan adhesi aspal terhadap agregat serta menaikkan viskositas aspal sehingga mencegah pengaliran aspal (*drain out*) dari campuran serta mencegah terjadinya segregasi dan bleeding.

2.4.1 Jenis Aspal

Jenis aspal dibagi menjadi dua, yaitu :

1. Aspal alam, yang didapat di suatu tempat di alam dan dapat digunakan sebagaimana diperolehnya atau dengan sedikit pengolahannya.
2. Aspal buatan, aspal yang diperoleh dari residu pengilangan minyak bumi. Hasil proses destilasi/penyulingan minyak tanah mentah dihasilkan 3 (tiga) macam aspal, yaitu :
 - a. Aspal keras/panas (*asphalt cement, AC*)
 - b. Aspal dingin/cair (*cut back asphalt*)
 - c. Aspal emulsi (*emulsion asphalt*)

2.4.2 Fungsi Aspal sebagai Material

Fungsi Aspal sebagai Material perkerasan jalan raya, sebagai berikut:

1. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat dan antara sesama aspal.
2. Bahan pengisi, mengisi rongga antara butir agregat dan pori – pori yang ada di dalam butir agregat itu sendiri.

2.4.3 Aspal Semen/Aspal Keras

Aspal semen merupakan aspal yang digunakan dalam keadaan panas dan cair, Aspal semen pada temperatur ruang ($25^{\circ}\text{C} - 30^{\circ}\text{C}$) berbentuk padat. Pengelompokkan aspal semen dapat dilakukan berdasarkan nilai penetrasi pada temperatur 25°C ataupun berdasarkan nilai viskositasnya. Di Indonesia aspal semen biasanya dibedakan berdasarkan nilai penetrasinya, yaitu :

- a. AC pen 40/50, yaitu AC dengan penetrasi antara 40-502.
- b. AC pen 60/70, yaitu AC dengan penetrasi antara 60-703.
- c. AC pen 85/100, yaitu AC dengan penetrasi antara 85-1004.
- d. AC pen 120/150, yaitu AC dengan penetrasi antara 120-1505.
- e. AC pen 200-300, yaitu AC dengan penetrasi antara 200-300

Tabel 2.6 Ketentuan Aspal pada campuran beraspal panas Aspal Pen 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metoda Pengujian	Tipe Aspal Pen. 60-70	Tipe II Aspal Modifikasi Elastomer sintesis
				PG70 PG76
1	Penetrasi pada 25°C (0,1 mm)	SNI 2456:2011	60-70	Dilaporkan (1)
2	Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 2434:2011	≥ 48	Dilaporkan (2)
3	Daktalitas pada 25°C , (cm)	SNI 2432:2011	≥ 100	-
4	Titik Nyala ($^{\circ}\text{C}$)	SNI 2433:2011	≥ 232	≥ 230
5	Berat Jenis	SNI 2441:2011	$\geq 1,0$	-
6	Stabilitas Penyimpanan: Perbedaan Titik Lembek ($^{\circ}\text{C}$)	ASTM D 5976-00 Part 6.1 dan SNI 2434:2011	-	$\geq 2,2$
7	Berat yang Hilang (%)	SNI 06-2441- 1991	$\geq 0,8$	$\geq 0,8$

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

2.5 Bahan Aditif

Bahan Aditif merupakan bahan tambahan yang bersifat menstabilkan campuran aspal. Jenis aditif dapat berupa bubuk atau butiran atau anti pengelupasan. Untuk masing-masing jenis aditif, Aspal yang digunakan pada kondisi khusus misalnya lalu lintas berat atau cuaca yang panas biasanya memerlukan perlakuan khusus. Perlakuan tersebut dimaksudkan agar sifat-sifat teknis aspal menjadi lebih baik. Perlakuan tersebut berupa pemberian bahan tambah aspal tertentu yang dapat memperbaiki sifat-sifat teknis aspal, seperti sifat adhesi dan kepekaan terhadap suhu. Ada pula bahan tambah yang tidak meningkatkan sifat teknis aspal tetapi dapat mengisi rongga dalam campuran beraspal sehingga stabilitas campuran beraspal secara keseluruhan meningkat. Menurut (An & Riset, n.d.) ada 10 jenis bahan tambah yaitu bahan pengisi (*filler*), karet, *extender*, polimer, kombinasi karet dan polimer, serat, *oxidant*, *antioxidant*, hidrokarbon dan *antistrip*.

2.5.1 Serat Selulosa

Selulosa merupakan komponen utama penyusun dinding sel tanaman. Kandungan selulosa pada dinding sel tanaman tingkat tinggi sekitar 35-50% dari berat kering tanaman (Lynd et al, 2002). Serat selulosa yang digunakan harus dalam bentuk pelet yang ditambahkan kedalam campuran sekitar 0,3 persen terhadap berat total campuran sehingga dapat mencegah drain down. Menurut (Tahir, 2011) Serat selulosa sebagai aditif pada campuran perkerasan dapat memperbaiki sifat pada aspal yaitu dapat mengurangi retak, mencegah terjadinya pemisahan atau meningkatkan homogenitas density, mencegah bleeding, dan mencegah flow yang tinggi. Serat selulosa sebelum dibentuk pelet serta dimensi serat selulosa adalah sebagai berikut:

Table 2.7 Persyaratan serat selulosa pada SMA

Pengujian	Satuan	Persyaratan
Panjang serat	Mm	3,6
Lolos Ayakan No. 20	%	85±10
Lolos Ayakan No. 40	%	40±10
Lolos Ayakan No. 140	%	30±10
pH		7,5±1,0
Penyerapan Minyak		7,5±1,0 kali berat serat selulosa
Kadar Air	%	Maks. 5

Sumber : Direktorat Jendral Bina Marga Spesifikasi Umum 2018

Table 2.8 Karakteristik dari Material Serat

JENIS SERAT	DIAMETER (micron)	PANJANG mm	BERAT JENIS
Chrysolite	0,1 – 1	0,5 - 1,0	2,7
Rock Wool	3 – 7	0,2 - 0,8	2,7
Glass Wool	5 – 6	0,2 - 1,0	2,5
Cellulose	20 – 40	0,9 - 1,5	0,9

Sumber : Asphalt Surfacing, 1998

2.5.2 Serat Kapuk

Kapuk randu (*Ceiba Pentandra*) merupakan salah satu jenis tanaman yang tumbuh dan banyak dibudidayakan di daerah tropis. Serat kapuk memiliki ukuran diameter 17–29 μm , sebanding dengan ukuran diameter cotton linter (17–27 μm) (Sixta, 2006) Sifat fisik serat kapuk yaitu memiliki warna kekuningan atau coklat terang serta berkilau seperti sutera. Serat kapuk tersusun dari rambut tanaman bersel tunggal. Serat kapuk merupakan jenis serat selulosa yang memiliki dinding sel tipis, lumen besar, densitas rendah, dan bersifat hydrophobic-oleophilic. Sebagai jenis serat alam yang terbarukan, serat kapuk melimpah, biocompatible, dan biodegradable (Zheng, Wang, Zhu, & Wang, 2015)

2.6 Perancangan Campuran (Mix Design)

2.6.1 Menentukan jumlah komposisi agregat terhadap campuran

Ada tiga metode perancangan, yaitu:

1. Metode Analitis

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat maka didapatkan data, dan digunakan perhitungan berikut :

$$a = \frac{P-B}{A-B} \text{ (untuk campuran 2 fraksi agregat 1).....(2.6)}$$

jika $a = x$, dan $b + c = 1 = y$, atau

$$P = aA + bB + cC \text{ (untuk campuran 3 fraksi agregat 2)(2.7)}$$

Dimana :

P = spesifikasi agregat

A = data saringan agregat kasar 1

B = data saringan agregat kasar 2

C = data saringan agregat halus

a = komposisi campuran agregat kasar 1

b = komposisi campuran agregat kasar 2

c = komposisi campuran agregat halus

2. Metode Grafis

Dari hasil pengujian analisa saringan agregat maka didapatkan data, dan sesuai dengan langkah langkah penentuan proporsi campuran untuk 2 fraksi menurut Asphalt Institute^(MS-2) sebagai berikut:

- 1) Penentuan gradasi dari dua fraksi agregat yang akan dicampur melalui pemeriksaan analisa saringan. Fraksi yang dominan tertahan saringan No. 8 dinamakan fraksi agregat kasar, dan diberi kode Agregat A, sedangkan fraksi yang lolos saringan No. 8 diberi nama fraksi agregat halus dan diberi kode Agregat B.
- 2) Gambarlah bujung sangkar 10 cm x 10 cm

- 3) Persen lolos saringan untuk fraksi agregat kasar (Agregat A) digambarkan pada bagian sebelah kanan (skala 0-100%), dan untuk fraksi agregat halus (Agregat B) digambarkan pada bagian sebelah kiri (skala 0-100%)
 - 4) Hubungkan titik tepi sebelah kanan dan kiri dari persen lolos masing masing fraksi untuk ukuran saringan yang sama. Garis-garis ini menunjukkan garis ukuran saringan dari persen lolos yang dimaksud
 - 5) Berilah tanda x untuk titik titik yang menunjukkan batas gradasi spesifikasi agregat campuran pada garis penunjuk ukuran saringan (garis pada butir 4). Titik-titik ini diperoleh dengan menggunakan skala pada tepi kanan dan kiri yang memotong garis butir 4
 - 6) Tariklah garis vertikal dari titik yang paling tengah dari batas atas dan bawah spesifikasi agregat campuran. Garis ini menjadi batas daerah dimana proporsi kedua fraksi akan menghasilkan agregat campuran yang memenuhi spesifikasi
 - 7) Garis tengah dari kedua daerah yang dibatasi oleh kedua garis vertikal pada butir 6 menjadi nilai proporsi untuk campuran kedua fraksi. Persentase campuran dibaca dari skala horizontal yang dibuat. Untuk agregat A angka 0% dimulai dari kiri dan untuk agregat B angka 0% dimulai dari kanan, sehingga jumlah kedua angka adalah 100%.
3. Metode Trial and Error
 - 1) Memahami batas gradasi agregat yang disyaratkan.
 - 2) Memasukan data spesifikasi gradasi persyaratan yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
 - 3) Memasukan persentase rencana saringan pada masing - masing jenis agregat (*Cost Agregat*, *Medium Agregat*, dan Agregat Halus)
 - 4) Carilah prosentase yang sesuai pada masing-masing agregat hingga dapat memenuhi nilai spesifikasi.
 - 5) Periksa kembali apakah gradasi yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.

2.6.2 Menentukan jumlah komposisi aspal terhadap campuran

Ada dua cara untuk menentukan nilai perkiraan komposisi aspal terhadap campuran, yaitu :

1. Dari Asphalt Institute^(MS-2) ;

$$P = 0,035a + 0,045b + Kc + F \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana :

P = kadar aspal tengah/ideal, persen terhadap berat campuran

A = Persen agregat tertahan saringan No 8

B = persen agregat lolos saringan No.8 dan tertahan saringan No.200

C = persen agregat lolos No.200

K = 0,15 untuk 11 -15% lolos saringan No.200

= 0,18 untuk 6-10% lolos saringan No.200

= 0,20 untuk $\leq 5\%$ lolos saringan No. 200

F = 0-2% berdasarkan nilai absorpsi dari agregat 0,7% jika tak ada data

2. Dari spesifikasi Depkimpraswil 2002

$$P = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%filler) + K \dots\dots\dots(2.9)$$

Dimana :

P = kadar aspal tengah/ ideal, persen terhadap berat campuran.

CA = persen agregat tertahan saringan No. 8

FA = persen agregat lolos saringan No. 8 dan tertahan saringan No. 200

Filler = persen agregat minimal 75% lolos No. 200

K = konstanta, 0,5-1,0 untuk laston 2,0-3,0 untuk lataston

Setelah diketahui nilai aspal ideal maka nilai ideal tambahkan sampai 2 kali dengan interval 0,5 % dan dikurangi 2 kali dengan interval 0,5 %.

2.7 Metode Marshall

Perencanaan campuran berdasarkan metode Marshall ditemukan oleh Bruce Marshall, Metode ini telah distandarisasi oleh ASTM ataupun AASHTO melalui beberapa modifikasi, yaitu ASTM D 1559-76, atau AASHTO T-245-90. Fungsi utama dari metode Marshall adalah untuk pemeriksaan stabilitas dan

kelelahan (flow), serta analisis kepadatan dan pori dari campuran padat yang terbentuk.

2.7.1 Uji Marshall

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 flowmeter 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, atau AASHTO T 245-90, atau ASTM D 1559-76.

Kinerja campuran beton aspal padat ditentukan melalui pengujian sampel atau benda uji sebagai berikut :

- a. Penentuan volume berat benda uji
- b. Pengujian nilai stabilitas, adalah kemampuan maksimum pada beton aspal padat sampai terjadi kelelahan plastis
- c. Pengujian kelelahan (*Flow*), adalah besarnya perubahan bentuk plastis dari beton aspal padat akibat adanya beban sampai batas keruntuhan
- d. Perhitungan *Quotient Marshall*, adalah perbandingan antara nilai stabilitas dan flow
- e. Perhitungan macam macam jenis volume pori dalam beton aspal padat (VIM, VMA, dan VFB)
- f. Perhitungan tebal selimut atau film aspal

2.7.2 Parameter Pengujian *Marshall*

Kinerja sifat campuran beraspal dapat dilihat dari parameter-parameter pengujian marshall, antara lain:

Sifat Volumetrik campuran Aspal Beton

1. Berat Jenis Agregat Efektif

Berat jenis agregat efektif (Gse) dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$G_{se} = \frac{P_{mm} - P_b}{\frac{P_{mm}}{G_{mm}} - \frac{P_b}{G_b}} \dots\dots\dots(2.8)$$

Keterangan :

G_{se} = Berat Jenis Efektif Agregat

P_{mm} = Persentase berat total campuran (100%)

G_{mm} = Berat Jenis maksimum campuran, rongga udara

P_b = Kadar aspal berdasarkan berat jenis maksimum

G_b = Berat jenis aspal

2. Rongga Antar Agregat (VMA)

Void in Mineral Agregat (VMA) merupakan persentase rongga yang ada diantara butiran agregat dalam campuran beton aspal yang telah dipadatkan termasuk ruang terisi aspal yang dinyatakan dalam (%) terhadap volume campuran beton aspal. VMA merupakan banyak pori di antara agregat dan beton aspal padat. VMA dapat dihitung dengan dua cara, yaitu:

a. Jika ditentukan sebagai persentase dari berat beton aspal padat

$$VMA = (100 - \frac{G_{mb} \cdot P_s}{G_{sb}}) \% \text{ dari volume bulk beton aspal padat} \dots\dots\dots(2.6)$$

b. Jika ditentukan dari persentase berat agregat

$$VMA = [100 - (\frac{G_{mb}}{G_{sb}} \times \frac{100}{100 + P_{a1}} 100)] \% \text{ dari volume bulk beton aspal padat} \dots\dots\dots(2.7)$$

3. Rongga Udara (VIM)

Void in Mixture (VIM) merupakan prosentase rongga udara dalam campuran antara agregat dan aspal setelah dilakukan pemadatan. Bila nilai VIM semakin tinggi hal ini menunjukkan semakin besarnya rongga udara dalam campuran, sehingga campuran akan bersifat porous.

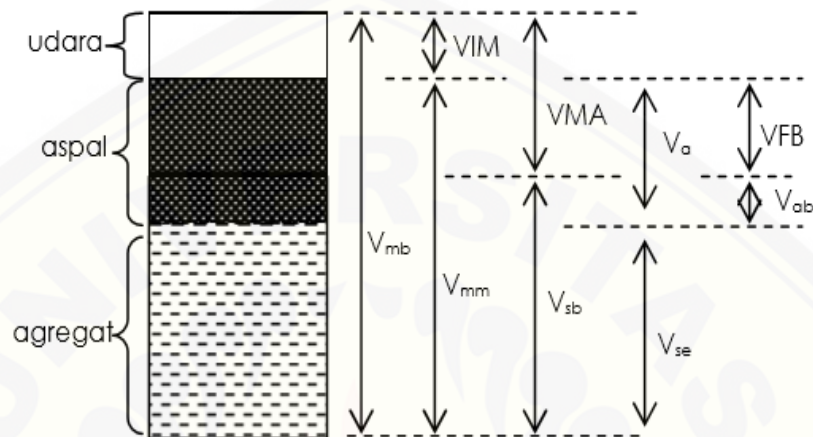
$$VIM = (100 \times \frac{G_{mm} - G_{mb}}{G_{mm}}) \% \text{ dari volume bulk beton aspal padat} \dots\dots\dots(2.8)$$

4. Rongga Terisi Aspal (VFB)

Void Filled Bitumen (VFB) 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 VFB antara lain kadar aspal, gradasi agregat, energi pemadatan, dan pemanasan aspal.

$$VFB = \frac{100 (VMA - VIM)}{VMA} \% \text{ dari VMA} \dots \dots \dots (2.9)$$



Gambar 2.2 Skematis jenis volume aspal beton

5. Stabilitas Marshall

Stabilitas merupakan kemampuan lapis perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa mengalami perubahan bentuk tetap (deformasi permanen) baik gelombang (rutting) atau bleeding. Nilai stabilitas dipengaruhi oleh kohesi aspal, kadar aspal, gesekan (internal friction), saling mengunci antar partikel agregat, bentuk dan tekstur permukaan, serta gradasi agregat.

6. Kelelahan (*Flow*)

Kelelahan atau flow merupakan besarnya deformasi vertikal dari campuran beton aspal yang terjadi mulai dari awal pembebanan sampai kondisi kestabilan menurun akibat beban yang bekerja pada perkerasan. Kelelahan merupakan implementasi dari sifat fleksibilitas campuran yang dihasilkan. Nilai flow dipengaruhi oleh kadar aspal, distribusi agregat, dan temperatur pemadatan.

7. Marshall Quotient (MQ)

Marshall Quotient (MQ) adalah hasil bagi antara Stabilitas dengan Flow. Nilai MQ menunjukkan fleksibilitas campuran, yaitu semakin besar nilai MQ

pada suatu campuran maka akan semakin kaku (bila terlalu kaku cenderung mudah retak) campuran tersebut, demikian juga bila semakin kecil nilai MQ maka tingkat kelenturan dan plastisitas cenderung kurang stabil.



Tabel 2.9 Penelitian Terkait mengenai Penambahan Selulosa Alami terhadap campuran Split Mastic Asphalt

Judul	Penulis	Hasil
<p>Penelitian Laboratorium Campuran Split Mastic Asphlat dengan Bahan Tambah Serat Kapuk</p>	<p>Meryati dan Hakiki, R. A. 2004. Penelitian Laboratorium Campuran Split Mastic Asphalt dengan Bahan Tambah Serat Kapuk. Institut Teknologi Bandung.</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Penambahan serat kapuk pada aspal penetrasi 60/70 menyebabkan meningkatnya titik lembek aspal dan berkirangnya nilai penetrasi aspal. Penambahan serat kapuk 0.075%, 0.1% dan 0,1275% dari masa aspal meningkatkan titik lembek berturut turut sebesar 6,735%, 8.29% dan 12.435% serta menurunkan nilai penetrasi aspal berturut turut sebesar 14.328%, 20597% dan 22.24% • Dengan penambahan serat kapuk pada campuran SMA terjadi peningkatan nilai kadar aspal optimum dan masih berada dalam rentan yang disyaratkan • Secara keseluruhan, kinerja campuran SMA yang dengan penmabahan serat kapuk 0.01% massa campuran adalah lebih memiliki kinerja paling

<p>Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi</p>	<p>Tahir, A. (2011). Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi. <i>Jurnal Rekayasa dan Manajemen Transportasi</i> 1(1) : 27-41.</p>	<p>baik dibanding dengan 0.005% dan 0.0075%</p> <ul style="list-style-type: none">• Stabilitas tertinggi pada penambahan dedak padi terhadap SMA berada pada kadar aspal 5,5% dan kadar dedak padi 7%• Nilai durabilitas penambahan dedak padi 6%,7%,8% dan 9% diperoleh nilai durabilitas sebesar 98,18%, 99,76%, 97,05%, dan 95,95% cenderung meningkat dibanding campuran tanpa penambahan dedak padi. Menyimpulkan adanya ketahanan campuran terhadap pengaruh cuaca dan beban lalu lintas atau nilai keawetan yang baik• Dari kelima variasi kadar dedak padi yang digunakan (0%, 5%, 6%, 7% dan 8%) kadar dedak padi 7% menjadi kadar dedak yang optimum/ ideal sebagai bahan tambah dalam campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan kadar aspal optimum 6%-7%
---	--	---

BAB 3. METODOLOGI PENELITIAN

Langkah langkah yang dilakukan dalam menyelesaikan tugas akhir ini meliputi: Gambaran jenis penelitian, Pelaksanaan penelitian, analisa data, pembahasan, kesimpulan dan saran.

3.1 Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilakukan di Laboratorium Transportasi Teknik, Jurusan Teknik Sipil Universitas Jember

3.2 Jenis Penelitian

Data penelitian diperoleh dari pengujian laboratorium. Alat yang digunakan adalah alat uji tekan *Marshall* kemudian dapat diketahui kuat tekan pada aspal dan parameter-parameter yang akan dicari yaitu nilai stabilitas, *flow*, *density*, *Marshall Quotient* serta sifat Volumetrik aspal seperti VMA, VIM, dan VFB. Kinerja campuran dengan serat kapuk dapat diketahui dengan pembuatan campuran menggunakan lima variasi kadar serat kapuk kemudian dibandingkan dengan karakteristik SMA tanpa serat kapuk

3.3 Pelaksanaan Penelitian

Penelitian ini menggunakan Uji *Marshall* yang bertujuan mengetahui kuat tekan dari masing masing benda uji. Pembuatan benda uji total sebanyak 30 sampel, 15 benda uji dibuat untuk mencari nilai kadar aspal optimum dengan 5 variasi kadar aspal. Setelah didapat nilai kadar aspal optimum dilanjutkan dengan pembuatan benda uji sebanyak 15 sampel dengan penambahan variasi kadar serat kapuk yang berbeda, digunakan (0,01%, 0,025% ,0,05% ,0,075% ,0,1%) serat kapuk dengan jumlah masing masing 3 sampel benda uji.

3.3.1 Tahapan persiapan

Sebelum melakukan penelitian, beberapa hal yang perlu diperhatikan dan dilakukan diantaranya:

1. Studi literatur, mengumpulkan dan mempelajari jurnal terkait, buku, dan SNI, dan memahami Spesifikasi yang dibutuhkan.
2. Perizinan laboratorium dan peminjaman alat-alat yang akan digunakan
3. Pengumpulan material atau bahan yang akan digunakan pada penelitian yaitu: Agregat halus, agregat kasar, aspal, serat kapuk
4. Melakukan slab pada kapuk dengan menggunakan alat penggiling

3.3.2 Pengujian Material

Sebelumnya material atau bahan digunakan, terlebih dahulu dilakukan pengujian untuk mengetahui bahan atau material sudah memenuhi persyaratan spesifikasi. Pengujian material meliputi:

1. Pengujian Agregat Halus

Berdasarkan ketentuan campuran laston, agregat halus harus memenuhi dua spesifikasi pengujian, berikut ini jenis pengujian beserta langkah-langkah pelaksanaan pengujian pada agregat halus :

a. Pengujian Berat Jenis (SNI 1970:2016)

- 1) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^\circ \text{C}$, selama 24 jam sampai berat tetap, didinginkan pada suhu ruang, kemudian rendam dalam air selama (24 ± 4) jam
- 2) Buang air perendam dengan hati-hati, jangan ada butiran yang hilang, tebarkan agregat di atas talam, keringkan di udara dengan membolak-balikkan benda uji; lakukan pengeringan sampai tercapai keadaan kering permukaan jenuh
- 3) Periksa keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan benda uji ke dalam kerucut terpancung, padatkan dengan batang penumbuk sebanyak 25 kali, angkat kerucut terpancung: keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila benda uji runtuh akan tetapi masih dalam keadaan tercetak
- 4) Setelah tercapai keadaan kering permukaan jenuh masukkan 500 gram benda uji ke dalam piknometer; masukkan air suling sampai mencapai 90% isi piknometer, putar sambil digerakkan sampai tidak terlihat gelembung udara di dalamnya

- 5) Rendam piknometer dalam air dan ukur suhu air untuk penyesuaian perhitungan pada suhu standar 25°C
 - 6) Tambahkan air sampai mencapai tanda batas
 - 7) Timbang piknometer berisi air dan benda uji dengan ketelitian 0,1 gram (Bt)
 - 8) Keluarkan benda uji, keringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap kemudian keringkan
 - 9) Setelah benda uji dingin, kemudian timbanglah (Bk)
 - 10) Timbang berat piknometer berisi air penuh dan ukur suhu air gunakan penyesuaian dengan suhu standar 25°C
- b. Analisa Saringan (SNI ASTM C 136:2012)
- 1) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap
 - 2) Saringlah benda uji menggunakan sieve shaker dengan susunan saringan (No 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No 100, No. 200, dan PAN)
 - 3) Catat berat benda uji yang tertahan pada no. Saringan
2. Agregat Kasar
- Berdasarkan ketentuan campuran laston, agregat kasar harus memenuhi tiga spesifikasi pengujian, berikut ini jenis pengujian beserta langkah-langkah pelaksanaan pengujian pada agregat halus :
- a. Pengujian Berat Jenis dan Penyerapan (SNI 1969:2008)
- 1) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan bahan lain yang melekat pada permukaan
 - 2) Keringkan benda uji dalam oven pada suhu $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$ sampai berat tetap
 - 3) Dinginkan benda uji pada suhu ruang selama 1-3 jam, kemudian timbang dengan ketelitian 0,5 gram (Bk)
 - 4) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 ± 4 jam

- 5) Keluarkan benda uji dari rendaman air, lap dengan kain penyerap sampai selaput air pada permukaan hilang, untuk butiran yang besar pengeringan harus satu per satu
 - 6) Timbang benda uji kering permukaan jenuh (Bj)
 - 7) Letakkan benda uji di dalam keranjang, guncangkan batunya untuk mengeluarkan udara yang tersekap, dan catat beratnya di dalam air (Ba)
- b. Analisa Saringan (SNI ASTM C 136:2012)
- 1) Cuci benda uji untuk menghilangkan debu atau bahan-bahan lain yang melekat pada permukaan
 - 2) Benda uji dikeringkan dalam oven dengan suhu $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$ sampai berat tetap
 - 3) Saringlah benda uji menggunakan sieve shaker dengan susunan saringan (No 1", $\frac{3}{4}$ ", $\frac{1}{2}$ ", $\frac{3}{8}$ ", No. 4, No. 8, No. 16, No. 30, No. 50, No 100, No. 200, dan PAN)
 - 4) Catat berat benda uji yang tertahan pada no. Saringan
- c. Uji Keausan, Los Angeles (SNI 2417:2008)
- 1) Pengujian agregat kasar terhadap keausan menggunakan Gradasi B yaitu menggunakan bahan lolos 19 mm hingga tertahan 9,5 mm dengan jumlah bola 11 buah, dan 500 kali putaran
 - 2) Benda uji dan bola dimasukkan ke dalam mesin abrasi Los Angeles
 - 3) Putar mesin dengan kecepatan 30 sampai 33 rpm
 - 4) Setelah selesai pemutaran, keluarkan benda uji dari mesin kemudian saring dengan menggunakan saringan No. 12 (1,7 mm); butiran yang tertahan di atasnya dicuci bersih. Selanjutnya dikeringkan dalam oven $(110 \pm 5) ^\circ \text{C}$ sampai berat tetap

3. Aspal

Berdasarkan ketentuan campuran laston, aspal yang digunakan harus memenuhi beberapa spesifikasi pengujian, berikut ini jenis pengujian beserta langkah-langkah pelaksanaan pengujian pada aspal :

- a. Berat Jenis (SNI 2441:2011)

- 1) Isilah bejana dengan air suling sehingga diperkirakan bagian atas piknometer yang tidak terendam 40 mm; kemudian rendam dan jepitlah bejana tersebut dalam bak perendam sehingga perendam sekurang kurangnya 100 mm; aturlah suhu bak perendam pada suhu 25° C
 - 2) Bersihkan, keringkan, dan timbanglah piknometer dengan ketelitian 1 mg; (A)
 - 3) Angkatlah bejana dari bak perendam dan isilah piknometer dengan air suling, kemudian tutup piknometer tanpa ditekan
 - 4) Letakkan piknometer ke dalam bejana dan tekanlah penutup sehingga rapat; kembalikan bejana berisi piknometer ke dalam bak perendam; diamkan bejana tersebut di dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit; kemudian angkat dan keringkan dengan lap; timbang piknometer dengan ketelitian 1 mg (B)
 - 5) Panaskan contoh bitumen keras atau ter sejumlah 100 gram, sampai menjadi cair dan aduk untuk mencegah pemanasan setempat; pemanasan tidak boleh lebih dari 30 menit pada suhu 111° C diatas titik lembek aspal
 - 6) Tuangkan benda uji tersebut ke dalam piknometer yang telah kering hingga terisi $\frac{3}{4}$ bagian
 - 7) Biarkan piknometer sampai dingin, selam tidak kurang dari 40 menit dan timbanglah dengan penutupnya dengan ketelitian 1 mg (C)
 - 8) Isilah piknometer yang berisi benda uji dengan air suling dan tutuplah tanpa ditekan, agar gelembung-gelembung udara keluar
 - 9) Angkat bejana dari bak perendam dan letakkan piknometer di dalamnya dan kemudian tekanlah penutup hingga rapat; masukkan dan diamkan bejana ke dalam bak perendam selama sekurang-kurangnya 30 menit; angkat, keringkan, dan timbang piknometer (D)
- b. Daktilitas (SNI 2432:2011)

- 1) Diamkan benda uji pada suhu 25° C dalam bak perendam selama 85 sampai 95 menit, kemudian lepaskan benda uji dari pelat dasar dan sisi sisi cetakannya
- 2) Pasang benda uji pada mesin dan tarik benda uji secara teratur dengan kecepatan 50 mm/menit sampai benda uji putus; perbedaan kecepatan atau kurang dari 5% masih diizinkan; bacalah jarak antara pemegang benda uji, pada saat benda uji putus (dalam sentimeter); selama percobaan berlangsung benda uji harus selalu terendam sekurang kurangnya 25 mm dalam air
- 3) Apabila benda uji menyentuh dasar mesin uji atau terapung pada permukaan air maka pengujian dianggap tidak normal; untuk menghindari hal semacam ini maka berat jenis air harus disesuaikan dengan berat jenis benda uji dengan menambahkan methyl alkohol atau glycerin.

c. Penetrasi (SNI 2456:2011)

- 1) Letakkan benda uji dalam tempat air yang kecil dan masukkan tempat air tersebut kedalam bak perendam yang bersuhu 25° C diamkan dalam bak selama 1-1,5 jam untuk benda uji kecil. Dan 1,5-2 jam untuk benda uji besar
- 2) Pasanglah jarum penetrasi dengan baik pada pemegang jarum yang sudah dibersihkan
- 3) Letakkan pemberat 50 gram di atas jarum untuk memperoleh beban sebesar $(100 \pm 0,1)$ gram
- 4) Pindahkan tempat air dan benda uji dari bak perendam ke bawah alat penetrasi
- 5) Turunkan jarum perlahan lahan sehingga jarum menyentuh permukaan benda uji kemudian aturlah angka 0 di arloji penetrometer sehingga jarum penunjuk berimpit
- 6) Lepaskan pemegang jarum dan jalankan stopwatch selama $(5 \pm 0,1)$ detik

- 7) Putarlah arloji penetrometer dan bacalah angka penetrasi yang berimpit dengan jarum penunjuk
- 8) Lepaskan jarum dari pemegang jarum dan siapkan alat penetrasi untuk pekerjaan berikutnya

d. Kehilangan Berat Minyak

Benda uji adalah minyak atau aspal sebanyak 100 gram, yang dipersiapkan dengan cara sebagai berikut:

- 1) Aduklah aspal dan panaskan agar lebih merata
- 2) Tuangkan contoh kira-kira ($50,0 \pm 0,5$) gram ke dalam cawan dan setelah dingin timbanglah dengan ketelitian 0,02 gram (A)
- 3) Benda uji yang diperiksa harus bebas air
- 4) Siapkan benda uji ganda (Duplo)

Prosedur pengujian kehilangan berat minyak:

- 1) Letakkan benda uji di atas piringan setelah oven mencapai suhu (163°C)
- 2) Pasanglah termometer padaudukannya sehingga terletak pada tengah antara pinggir piringan dan poros (sumbu) dengan ujung 6 mm di atas piringan
- 3) Ambillah benda uji dari dalam oven setelah 5 – 5 jam 15 menit
- 4) Dinginkan benda uji pada suhu ruang, kemudian timbanglah dengan ketelitian 0,01 gram (B)

4. Prosedur Pengujian Serat Kapuk

Berdasarkan ketentuan serat selulosa pada campuran SMA, terdapat spesifikasi analisa saringan pada serat yang akan digunakan, berikut ini merupakan langkah pengujian analisa saringan terhadap serat kapuk:

- 1) Saringlah benda uji menggunakan sieve shaker dengan susunan saringan (No. 8, No 20, No. 40, No. 140, PAN)
- 2) Catat berat benda uji yang tertahan pada saringan (No. 8, No 20, No. 40, No. 140, PAN)

3.3.3 Pembuatan Sampel untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO)

Pembuatan sampel benda uji dilakukan melalui tahapan-tahapan berikut:

1. Perencanaan gradasi agregat dengan metode *Trial and Error*
 - 1) Memahami batas gradasi agregat yang disyaratkan.
 - 2) Memasukan data spesifikasi gradasi persyaratan yang dibutuhkan sesuai dengan ukuran yang dibutuhkan
 - 3) Memasukan persentase rencana saringan pada masing - masing jenis agregat (*Cost Agregat, Medium Agregat, dan Agregat Halus*)
 - 4) Carilah persentase yang sesuai pada masing-masing agregat hingga dapat memenuhi nilai spesifikasi.
 - 5) Periksa kembali apakah gradasi yang dihasilkan dapat memenuhi spesifikasi yang disyaratkan.
2. Perhitungan nilai aspal ideal
Perhitungan nilai aspal ideal. Dihitung nilai aspal ideal untuk campuran, sesuai dengan rumus Depkrimpraswil 2002 pada rumus (2.9). Setelah diketahui perkiraan kadar aspal optimum, tambahkan nilai tersebut 2 kali dengan interval 0,5 % dan dikurangi 2 kali dengan interval 0,5 %.
3. Tahapan Persiapan:
 - 1) Keringkan agregat pada temperatur 105° C - 110° C sekurang-kurangnya selama 4 jam di dalam oven
 - 2) Keluarkan agregat dari dalam oven dan tunggu sampai beratnya tetap
 - 3) Pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan
 - 4) Lakukan pengujian kekentalan aspal untuk memperoleh temperatur pencampuran dan pemadatan
 - 5) Panaskan aspal sampai mencapai kekentalan (viskositas) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pemadatan
4. Tahapan Pencampuran:
 - 1) Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram. yang telah ditimbang pada tahap persiapan

- 2) Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C diatas temperatur pencampuran aspal keras.
 - 3) Panaskan agregat diatas kompor hingga suhu agregat mencapai 60°C-100°C
 - 4) Masukkan agregat yang telah dipanaskan dalam wadah pencampur sesuai gradasi fraksi agregat yang dibutuhkan.
 - 5) Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan sebanyak yang dibutuhkan pada agregat yang sudah dipanaskan; kemudian aduk dengan cepat sampai agregat terselimuti aspal secara merata
5. Pemasakan benda uji:
- 1) Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksam dan panaskan sampai suhu antara 90°C-150°C
 - 2) Letakkan cetakan diatas landasan pematat dan ditahan dengan pemegang cetakan
 - 3) Letakkan kertas saring atau kertas penghisap diatas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan
 - 4) Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali disekeliling pinggirannya dan 10 kali di bagian tengahnya
 - 5) Letakkan kertas aring atau kertas penghisap diatas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan
 - 6) Padatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal, dengan jumlah tumbukan :
 - 7) Pelat alas dan leher sambung dilepas dari cetakan benda uji, kemudian cetakan yang berisi benda uji dibalikkan dan pasang kembali pelat alas dan leher sambung pada cetakan yang dibalikkan
 - 8) Permukaan benda uji yang sudah dibalik ditumbuk kembali dengan jumlah tumbukan yang sama sesuai dengan tahapan 6)
 - 9) Sesudah dilakukan pematatan campuran, lepaskan pelat alas dan pasang alat pengeluar pada permukaan ujung benda uji tersebut.

10) Keluarkan dan letakkan benda uji diatas permukaan yang rata dan beri tanda pengenal kemudian biarkan selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang

6. Pengujian Marshall

Setelah dilakukan pemadatan benda uji, kemudian dilakukan pengujian terhadap benda uji pengujian pada benda uji meliputi:

a. Pengujian Volumetrik

- 1) Ukur tinggi benda uji dengan ketelitian 0,1 mm (0,004 in)
- 2) Timbang benda uji dalam kondisi kering
- 3) Rendam benda uji, perendaman dalam air selama kira-kira 24 jam pada temperatur ruang
- 4) Timbang benda uji dalam air untuk mendapatkan berat isi dari benda uji
- 5) Timbang benda uji dalam kondisi kering permukaan jenuh (SSD)

b. Pengujian Marshall

Lamanya waktu yang diperlukan dari diangkatnya benda uji dari penangas air sampai tercapainya beban maksimum saat pengujian tidak boleh melebihi 30 detik, berikut ini langkah-langkan yang dilakukan pada pengujian *Marshall*

- 1) Rendamlah benda uji dalam penangas air selama 30-40 menit dengan temperatur tetap $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji
- 2) Untuk mengetahui indeks perendaman, benda uji direndam dalam penangas air selama 24 jam dengan temperatur $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$
- 3) Keluarkan benda uji dari penangas air dan letakkan dalam bagian bawah alat penekan uji marshall
- 4) Pasang bagian atas penekan uji marshall diatas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji marshall
- 5) Pasang arloji pengukur pelelehan dan kedudukannya diatas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (sleeve) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan

- 6) Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji
- 7) Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm (2 in) per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (stabilitas) yang dicapai
- 8) Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum dicapai.

Setelah data marshall didapatkan, lakukan analisis pada data untuk mencari parameter yang dibutuhkan (VMA, VIM, VFB, stabilitas, pelelehan, density, dan MQ). Cari nilai maksimum dan memenuhi spesifikasi yang disyaratkan pada campuran SMA pada parameter untuk digunakan sebagai nilai Kadar Aspal Optimum dengan menggunakan perbandingan kuantitatif pada kinerja yang telah didapat.

3.3.4 Pembuatan sampel dengan penambahan Serat Kapuk

Setelah didapat nilai kadar aspal optimum terhadap campuran *Split Mastic Asphalt*, berikutnya dilakukan pembuatan sampel dengan penambahan lima variasi kadar serat kapuk. Tujuan penambahan serat kapuk terhadap campuran SMA adalah untuk mengetahui pengaruh penambahan aditif berupa selulosa serat kapuk terhadap campuran SMA. Variasi kadar yang ditambahkan pada campuran sebanyak 0,01%, 0,025%, 0,05%, 0,075%, dan 0,1% dari prosentase campuran aspal. Prosentase penambahan serat kapuk dikalikan dengan berat total agregat sebesar 1200 gram. Contoh perhitungan berat terhadap penambahan serat kapuk adalah sebagai berikut :

$$\text{Berat penambahan serat kapuk} = 0,01\% \times 1200 \text{ gram} = 0,12 \text{ gram}$$

Berat prosentase serat kapuk terhadap campuran masing masing sebanyak 0,12 gr, 0,3 gr, 0,6 gr, 0,9 gr, dan 1,2 gr. Masing masing variasi kadar serat kapuk

dibuat tiga sampel benda uji. Tahapan tahapan pembuatan sampel dengan penambahan serat kapuk adalah sebagai berikut:

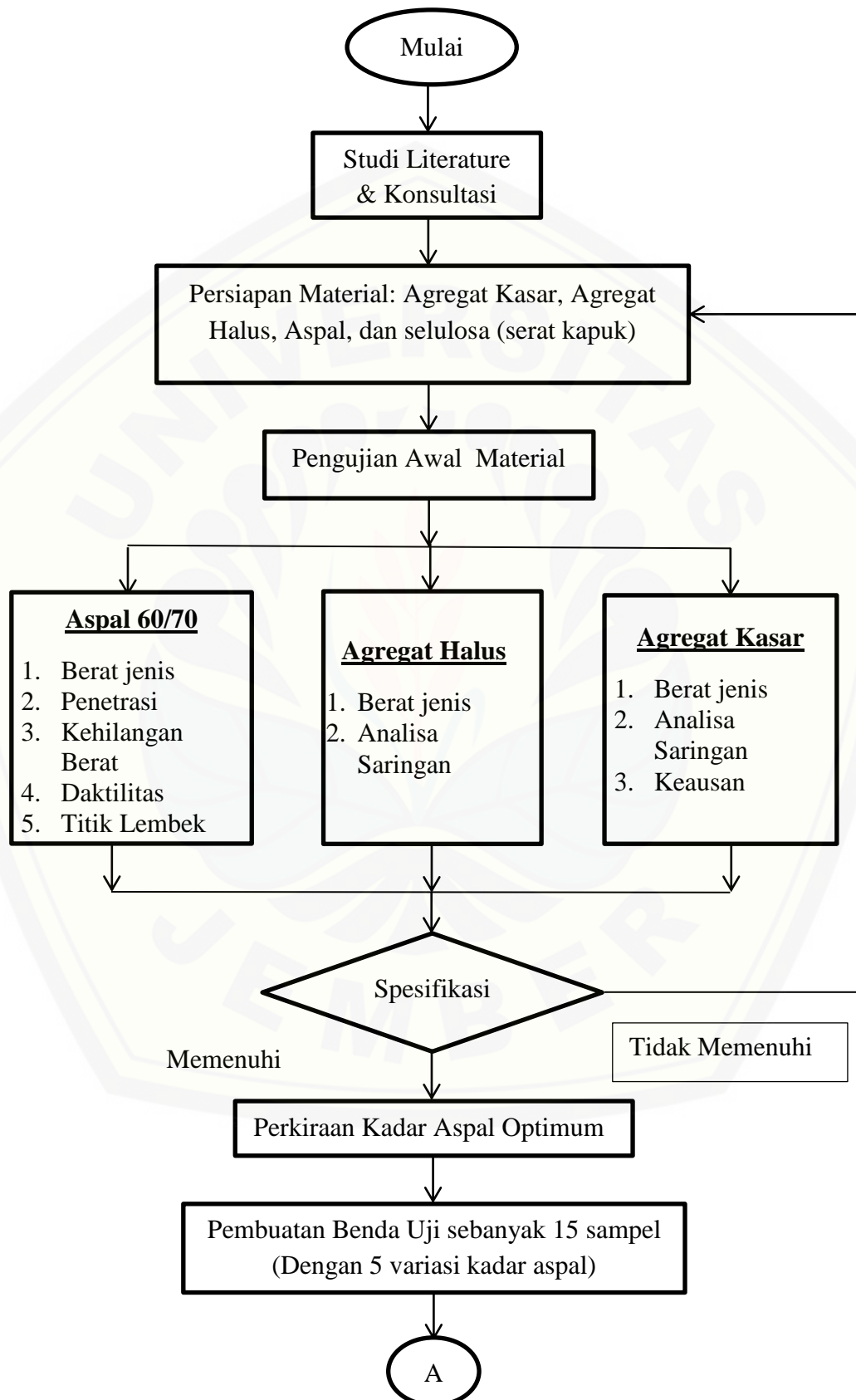
1. Persiapan campuran pembuatan sampel dengan variasi kadar serat kapuk
 - 1) Keringkan agregat pada temperatur 105° C - 110° C sekurang kurangnya selama 4 jam di dalam oven
 - 2) Keluarkan agregat dari dalam oven dan tunggu sampai beratnya tetap
 - 3) Pisah-pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang dikehendaki dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan
 - 4) Timbang agregat berdasarkan jenis dan beratnya sesuai gradasi yang telah dihitung dan dilakukan pengurangan berat agregat halus dari penambahan kapuk yang digunakan
 - 5) Timbang serat kapuk yang sudah digiling sesuai dengan variasi kadar berat yang akan ditambahkan (0,01%, 0,025%, 0,05%, 0,075%, dan 0,01%).
 - 6) Campur kapuk dengan fraksi agregat halus lolos saringan No. 4
 - 7) Masukkan agregat halus lolos saringan 4 yang telah ditambah kapuk ke dalam pan sieve shaker dan gerakkan, agar agregat halus dan kapuk tercampur merata
 - 8) Panaskan aspal sampai mencapai kekentalan (viskositas) yang disyaratkan untuk pekerjaan pencampuran dan pematatan
2. Pencampuran benda uji pembuatan sampel dengan variasi kadar serat kapuk
 - 1) Untuk setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram. yang telah ditimbang pada tahap persiapan dan ditambahkan kapuk sesuai kadar
 - 2) Panaskan wadah pencampur kira-kira 28°C diatas temperatur pencampuran aspal keras.
 - 3) Panaskan agregat kasar dan agregat halus yang telah dihitung sesuai gradasi dan ditambahkan dengan serat kapuk

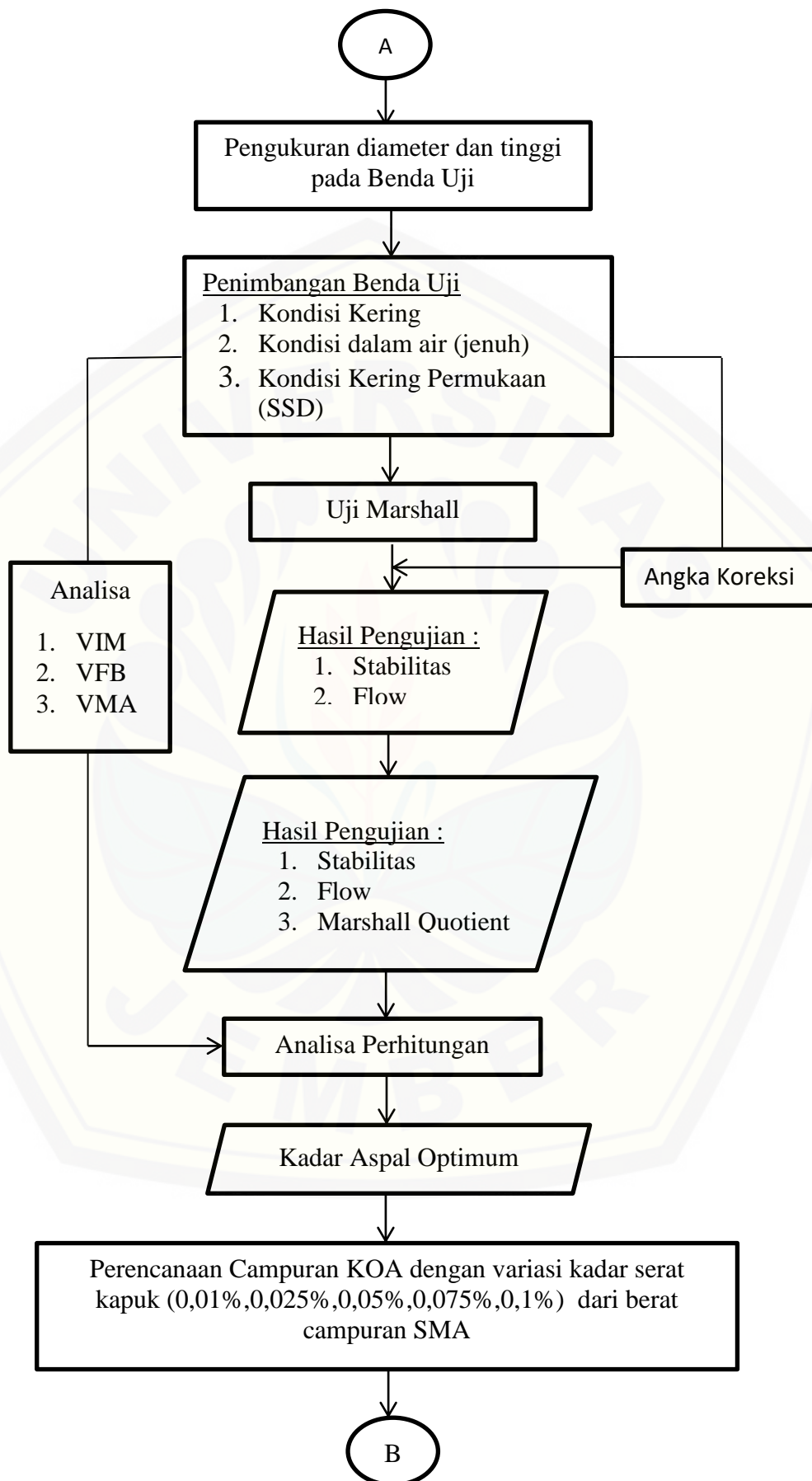
- 4) Masukkan agregat yang telah dipanaskan kedalam wadah pencampur sesuai gradasi fraksi agregat yang dibutuhkan.
 - 5) Masukkan fraksi agregat halus yang telah ditambahkan kapuk dan sudah dicampur bersama.
 - 6) Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan sesuai dengan Kadar Aspal Optimum yang telah diperoleh.
3. Lakukan pemadatan benda uji dengan tahapan seperti point 5 pada 3.3.3
 4. Lakukan pengujian pada benda uji dengan tahapan seperti point 6 pada 3.3.3
 5. Lakukan analisis pada data untuk mencari parameter yang dibutuhkan (VMA, VIM, VFB, stabilitas, pelelehan, dan MQ dengan menggunakan persamaan regresi linier berganda.
 6. Lakukan analisis terhadap campuran variasi perbedaan kadar serat kapuk, serta campuran tanpa serat kapuk dengan kadar aspal yang sama.

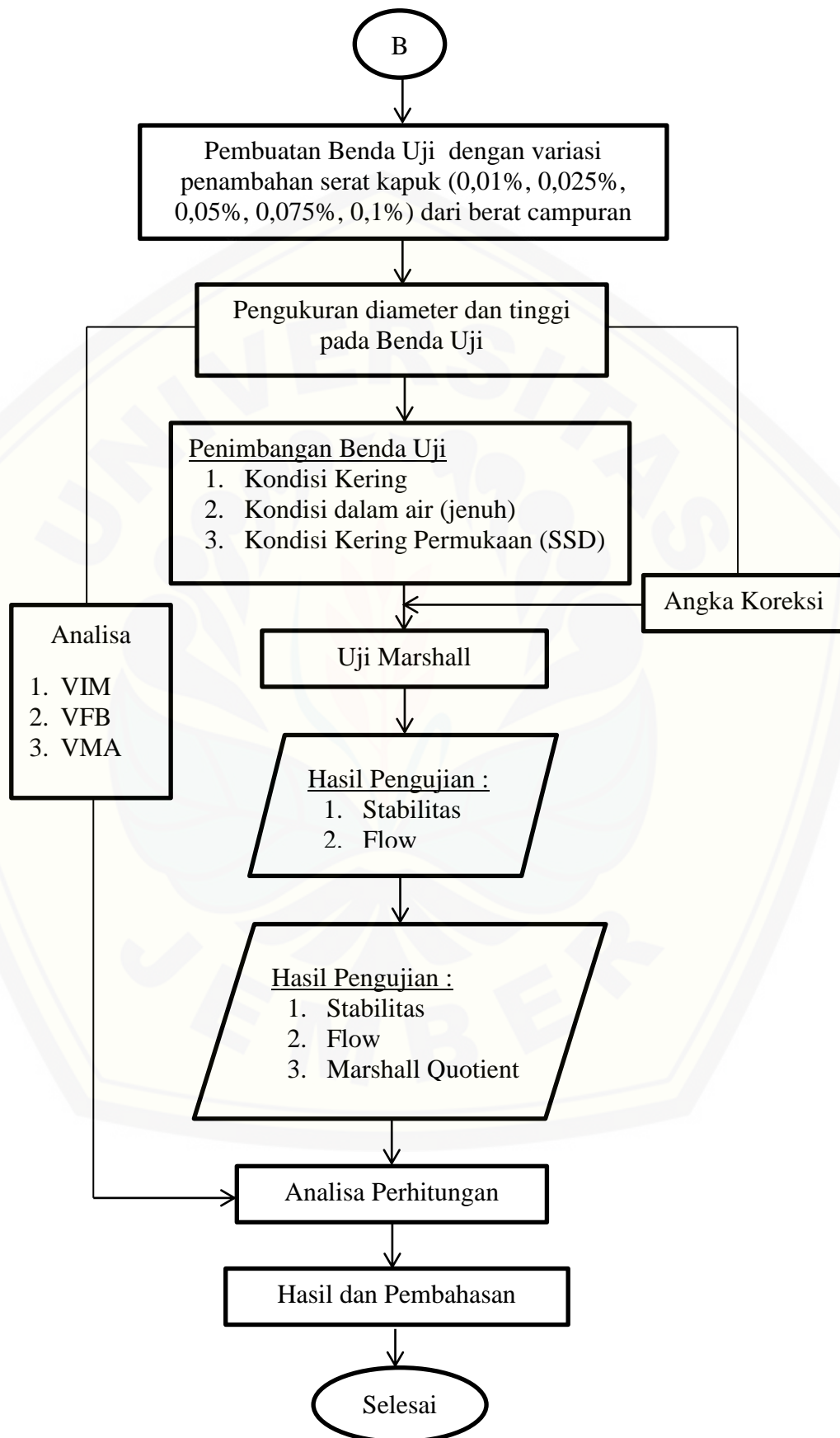
3.4 Analisis Data

Data volumetrik dan nilai uji marshall yang telah didapat dilakukan analisis data dan perhitungan. Data pengujian tiga benda uji dengan kadar kapuk yang sama dirata-rata dan dibandingkan dengan nilai kadar lainnya. Perbandingan data antar variasi kadar dilakukan dengan menggunakan perbandingan kuantitatif kinerja yang dihasilkan dengan menggunakan *Microsoft Excel* 2010. Perhitungan tersebut dilakukan terhadap parameter pada Uji Marshall yang akan dicari, meliputi: VMA, VIM, VFB, stabilitas, *flow*, *density*, dan *Marshall Quotient*.

3.5 Diagram Alir Penelitian







BAB 5. PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Penelitian yang sudah dilakukan menghasilkan kesimpulan bahwa penambahan serat kapuk terhadap campuran SMA dapat meningkatkan karakteristik kinerja *Marshall* dibandingkan dengan campuran tanpa penambahan serat kapuk. Kadar aspal optimum yang digunakan untuk membandingkan kinerja campuran dengan variasi serat kapuk adalah kadar 6,49%. Penambahan kadar serat kapuk 0,01%, 0,025%, 0,075% dan 0,01% menghasilkan nilai karakteristik *marshall* yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2018, sedangkan pada penambahan serat kapuk 0,05% tidak memenuhi spesifikasi. Karakteristik kinerja *marshall* yang dihasilkan ditinjau dari kekuatan, keawetan, dan biaya yang dibutuhkan pada campuran. Kekuatan campuran yang dilihat dari nilai stabilitas memiliki nilai tertinggi pada kadar 0,075% serat kapuk, dengan nilai stabilitas 1539,2 kg. Berdasarkan keawetan (*durabilitas*) penambahan serat kapuk terhadap campuran aspal yang dilihat dari nilai *flow* dan *MQ*, fleksibilitas terbaik terdapat pada campuran dengan nilai *flow* terbesar dan *MQ* terendah terdapat pada kadar 0,1%, dengan nilai *flow* 3,85 mm dan nilai *MQ* 327,62. Dari segi biaya berdasarkan material yang dibutuhkan, semakin tinggi kadar serat kapuk yang digunakan maka semakin tinggi biaya yang dibutuhkan. Biaya dari segi keawetan tertinggi dibutuhkan lebih sedikit dibandingkan dari segi kekuatan tertinggi.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah disimpulkan, maka dapat disarankan hal-hal sebagai berikut:

1. Perlu untuk memperhatikan pengaruh suhu dalam pengujian, karena berpengaruh pada hasil pengujian baik pengujian dengan beban statis, maupun dinamis.
2. Perlu dilakukan uji nilai selulosa terhadap jenis aditif yang akan digunakan, agar kinerja yang dicapai dapat lebih baik.

3. Perlu dilakukan pengaruh penambahan serat kapuk terhadap jenis campuran perkerasan lainnya.



DAFTAR PUSTAKA

- Abdillah, A. F., Pradani, N., & Batti, J. F. (n.d.). *Pada Campuran Stone Matrix Asphalt*. 4(1), 49–58.
- An, P., & Riset, B. (n.d.). *BAHAN AJAR Pengembangan Pengembangan Pembelajaran Berbasis Riset dan Education for Sustainable Development Development untuk Matakuliah Perkerasan untuk Jalan Raya dengan Memanfaatkan Hasil Riset Terapan*. (November 2012).
- Collins, R. (1996). Split Mastic Asphalt – The Georgia Experience. Paper at The 1996 AAPA Pavement Industry Conference. Georgia Department of Transportation USA, Asphalt Review
- Kementerian Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. (2018). *Spesifikasi Umum 2018*. (September).
- Lynd L.R., P.J. Weimer, W.H. van Zyl WH and I.S. Pretorius. 2002. Microbial Cellulose Utilization: Fundamentals and Biotechnology. *Microbiol. Mol. Biol. Rev.* 66(3)
- Modul Petunjuk Praktikum Perkerasan Jalan, Laboratorium Transportasi, Fakultas Teknik, Jurusan Teknik Sipil, Universitas Jember
- Razali, M. R. (2013). Penggunaan Batu Kapur Super Lolos #325 Sebagai Filler Pengganti Pada Campuran Split Mastic Asphalt Grading 0/11. *Journal of Chemical Information and Modeling*, 53(9), 1689–1699.
- Rizkiansyah, R. R., Basuki, A., Suratman, R., Kapuk, S., Bahan, S., Pembuatan, B., & Selulosa, M. (2016). SERAT KAPUK SEBAGAI BAHAN BAKU PEMBUATAN MIKROKRISTALIN SELULOSA Metode Chesson-Datta. *Jusami*, 17(4), 172–177.
- Tahir, A. (2009). Karakteristik campuran beton aspal (ACWC) dengan menggunakan variasi kadar filler abu terbang batu bara. *Jurnal SMARTek*, 7(4), 256–278.

Tahir, A. (2011). Kinerja campuran Split Mastic Asphalt (SMA) yang menggunakan serat selulosa alami dedak padi. *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Transportasi*, 1(1).





LAMPIRAN
HASIL PENGUJIAN

1. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Kasar

Benda Uji		I	II	Rerata
A	Berat benda uji kering oven (gram)	3.584,80	3.671,40	3628,10
B	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	3.631,00	3.728,00	3679,50
C	Berat benda uji di dalam air (gram)	2.263,40	2.318,70	2291,05
D	Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,62	2,61
E	Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,66	2,65
F	Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,71	2,71
G	Penyerapan	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,29	1,42

2. Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Medium

Benda Uji		I	II	Rerata
A	Berat benda uji kering oven (gram)	3.453,70	3.949,30	3701,50
B	Berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)	3.500,60	4.001,70	3751,15
C	Berat benda uji di dalam air (gram)	2.169,30	2.477,40	2323,35
D	Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B_j - B_a}$	2,59	2,59
E	Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B_j - B_a}$	2,63	2,63
F	Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B_k - B_a}$	2,69	2,68
G	Penyerapan	$\frac{B_j - B_k}{B_k} \times 100\%$	1,36	1,34

3. Berat Jenis Agregar Halus

Benda Uji		I	II	Rerata	
A	Berat benda uji kering permukaan jenuh (SSD) (gram)	285,30	259,30	272,30	
B	Berat benda uji kering oven (gram)	260,40	235,80	248,10	
C	Berat piknometer terisi air (gram)	704,60	710,10	707,35	
D	Berat Piknometer+benda uji SSD+air (gram)	865,30	857,30	861,30	
E	Berat piknometer terisi air terkoreksi (gram)	703,82	709,32	706,57	
F	Berat Piknometer+benda uji SSD+air terkoreksi (gram)	864,35	856,36	860,35	
G	Berat Jenis (bulk)	$\frac{B_k}{B + B_j - B_t}$	2,09	2,10	2,09
H	Berat Jenis kering permukaan jenuh	$\frac{B_j}{B + B_j - B_t}$	2,29	2,31	2,30
I	Berat jenis semu (apparent)	$\frac{B_k}{B + B_k - B_t}$	2,61	2,66	2,63

4. Berat Jenis Aspal Padat

Benda Uji		I	II
A	Berat Picnometer + Tutup (gram)	36,27	35,18
B	Berat Picnometer + Tutup + Air (gram)	58,57	58,92
C	Berat Picnometer + Tutup + Aspal (gram)	50,29	50,54
D	Berat Picnometer + Tutup + Aspal + Air (gram)	59,25	59,25
E	Berat Jenis Aspal	1,051	1,022
D	Rerata	1,037	

5. Penetrasi

Penetrasi pada suhu 25°C, beban 100 gram, 5 detik		
Pengamatan	A	B
1	65	70
2	62	64
3	66	62
Rerata (1,2,3)	64,3	65,3
Rerata (A,B,C)	64,8	

6. Titik Nyala Aspal

No	Suhu perkiraan dibawah titik nyala (°C)	Waktu		Titik Nyala °C		Keterangan
		I	II	I	II	
1	56	-	-	283	295	
2	51	00.00.30	00.00.33	288	300	
3	46	00.01.28	00.01.40	293	305	
4	41	00.03.05	00.03.12	298	310	
5	36	00.06.15	00.05.50	303	315	
6	31	00.08.20	00.08.11	308	320	
7	26	00.10.12	00.10.26	313	325	
8	21	00.12.25	00.13.08	318	330	
9	16	00.14.05	00.15.04	323	335	
10	11	00.16.31	00.17.22	328	340	nyala
11	6	00.18.24	00.18.56	333	345	
12	1	00.19.53	00.20.10	338	350	bakar
Rerata titik nyala				334,0		

7. Kehilangan Berat

Benda Uji			I	II
A	Cawan + Aspal Keras	gram	18,220	17,420
B	Cawan Kosong	gram	8,790	8,430
C	Aspal Keras, (A - B)	gram	9,430	8,990
D	Berat Sebelum Pemanasan	gram	18,220	17,420
E	Berat Sesudah Pemanasan	gram	18,210	17,400
F	(D - E)	gram	0,010	0,020
G	$\frac{F}{C} \times 100$	%	0,106	0,222
H	Rerata	%	0,164	

8. Analisa Saringan Serat Kapuk

Saringan		Berat Tertahan I	Berat Tertahan II	Kumulatif Berat Tertahan I	Kumulatif Berat Tertahan II	Jumlah Persen Rerata	
Nomor	mm	gram	gram	gram	gram	Tertahan	Lolos
No. 20	0,85	5,23	6,85	5,23	6,85	24,16	75,84
No. 40	0,425	6,67	6,89	11,90	13,74	51,28	48,72
No. 140	0,106	7,84	6,52	19,74	20,26	80,00	20,00
Pan	0,000	5,26	4,74	25,00	25,00	100,00	0,00

9. Analisa Saringan Agregat Kasar (CA)

Saringan		Berat Saringan	Berat Saringan + Benda Uji I	Berat Saringan + Benda Uji II	Berat Tertahan I	Berat Tertahan II	Kumulatif Berat Tertahan I	Kumulatif Berat Tertahan II	Jumlah Persen Rerata	
Nomor	mm	gram	gram	gram	gram	gram	gram	gram	Tertahan	Lolos
1"	25,0	558,60	558,60	558,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,0	464,40	557,20	555,80	92,80	91,40	92,80	91,40	7,37	92,63
1/2 "	12,5	536,60	1064,30	1070,50	527,70	533,90	620,50	625,30	49,83	50,17
3/8 "	9,5	422,60	890,70	883,00	468,10	460,40	1088,60	1085,70	86,97	13,03
No. 4	4,75	409,90	571,30	574,20	161,40	164,30	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 8	2,36	391,80	391,80	391,80	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 16	1,18	347,00	347,00	347,00	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 30	0,6	382,00	382,00	382,00	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 50	0,3	434,70	434,70	434,70	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No.100	0,15	390,80	390,80	390,80	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 200	0,075	327,40	327,40	327,40	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
Pan	0,0	427,40	427,40	427,40	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00

10. Analisa Saringan Agregat Medium (MA)

Saringan		Berat Saringan	Berat Saringan + Benda Uji I	Berat Saringan + Benda Uji II	Berat Tertahan I	Berat Tertahan II	Kumulatif Berat Tertahan I	Kumulatif Berat Tertahan II	Jumlah Persen Rerata	
Nomor	mm	gram	gram	gram	Gram	gram	gram	gram	Tertahan	Lolos
1"	25,0	558,60	558,60	558,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
3/4 "	19,0	464,40	464,40	464,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
1/2 "	12,5	536,60	536,60	536,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,0
3/8 "	9,5	422,60	556,70	610,70	134,1	188,10	134,10	188,10	12,89	87,11
No. 4	4,75	409,90	1419,4	1345,3	1009,5	935,40	1143,60	1123,50	90,68	9,32
No. 8	2,36	391,80	498,20	518,30	106,4	126,50	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 16	1,18	347,00	347,00	347,00	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 30	0,6	382,00	382,00	382,00	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 50	0,3	434,70	434,70	434,70	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 100	0,15	390,80	390,80	390,80	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
No. 200	0,075	327,40	327,4	327,4	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00
Pan	0,0	427,40	427,4	427,4	0,00	0,00	1250,00	1250,00	100,00	0,00

11. Analisa Saringan Agregat Halus (FA)

Saringan		Berat Saringan	Berat Saringan + Benda Uji I	Berat Saringan + Benda Uji II	Berat Tertahan I	Berat Tertahan II	Kumulatif Berat Tertahan I	Kumulatif Berat Tertahan II	Jumlah Persen Rerata	
Nomor	mm	gram	gram	gram	Gram	gram	gram	gram	Tertahan	Lolos
1"	25,0	558,60	558,60	558,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/4 "	19,0	464,40	464,40	464,40	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
1/2 "	12,5	536,60	536,60	536,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
3/8 "	9,5	422,60	422,60	422,60	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 4	4,75	409,90	409,90	409,90	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 8	2,36	391,80	391,80	391,80	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 16	1,18	347,10	347,10	347,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	100,00
No. 30	0,6	382,00	501,60	496,40	119,60	114,40	119,60	114,40	15,15	84,85
No. 50	0,3	434,70	572,20	571,70	137,50	137,00	257,10	251,40	32,91	67,09
No. 100	0,15	390,80	576,80	555,60	186,00	164,80	443,10	416,20	55,62	44,38
No. 200	0,075	327,40	518,6	509,7	191,20	182,30	634,30	598,50	79,79	20,21
Pan	0,000	427,40	578	589	150,6	161,6	784,90	760,10	100,00	0,00

12. Rencana Proporsi Campuran

Saringan		Rerata Persen Lolos			Persen Lolos Campuran				Spesifikasi	
Nomor	Ukuran (mm)	Cost Agregat	Medium Agregat	Abu Batu	1	2	3	Campuran	Min	Max
					50,0%	27,7%	22,3%	100%		
1"	25,4	100,00	100,00	100,00	50,00	27,70	22,30	100	100	100
3/4 "	19,05	92,63	100,00	100,00	46,32	27,70	22,30	96	90	100
1/2 "	12,07	50,17	100,00	100,00	25,08	27,70	22,30	75	50	88
3/8 "	9,525	13,03	87,11	100,00	6,51	24,13	22,30	53	25	60
No. 4	4,75	-	9,32	100,00	0,00	2,58	22,30	25	20	28
No. 8	2,36	-	-	100,00	0,00	0,00	22,30	22	16	24
No. 16	1,18	-	-	100,00	0,00	0,00	22,30	22	14	23
No. 30	0,6	-	-	84,85	0,00	0,00	18,92	19	12	21
No. 50	0,3	-	-	67,09	0,00	0,00	14,96	15	10	18
No.100	0,15	-	-	44,38	0,00	0,00	9,90	10	9	15
No. 200	0,075	-	-	20,21	0,00	0,00	4,51	5	8	11

13. Kebutuhan agregat pada campuran

Saringan	Ukuran	% Kumulatif Lolos	% Tertahan		Kebutuhan 1 sampel (gram)	Kebutuhan 15 sampel (gram)
			Kumulatif	Individu		
1"	25,4	100,0	0,00	0,00	0,00	0,00
3/4 "	19,05	96,3	3,68	3,68	44,21	2210,40
1/2 "	12,07	75,1	24,92	21,23	254,78	3821,76
3/8 "	9,525	52,9	47,06	22,14	265,68	3985,20
No. 4	4,75	24,9	75,12	28,06	336,76	5051,43
No. 8	2,36	22,3	77,70	2,58	30,97	464,50
No. 16	1,18	22,3	77,70	0,00	0,00	0,00
No. 30	0,6	18,9	81,08	3,38	40,53	607,95
NO. 50	0,3	15,0	85,04	3,96	47,54	713,17
No. 100	0,15	9,9	90,10	5,06	60,76	911,40
No. 200	0,075	8,9	91,13	1,03	12,37	185,57
PAN	0,000	0,0	100,00	8,87	106,39	1595,91

14. Hasil Uji Marshall campuran SMA

No. Benda Uji	% aspal terhadap batuan	% aspal terhadap campuran	Pengambilan Data Laboratorium			Volume benda uji (cm ³)	Berat isi benda uji (Gmb)	BJ maksimum benda uji (Gmm)	BJ agregat efektif (Gse)	VMA	VIM	VFA	Stabilitas (kg)			Pelebaran (flow) mm	MQ	% penyerapan aspal	% aspal efektif (Pbe)
			Berat di udara	Berat SSD	Berat dalam air								Dial	Faktor kalibrasi	faktor ketebalan				
1	4,91	4,684	1267,40	1289,60	728,20	561,40	2,26	2,41	2,606	16,91	6,44	61,92	70	1219,31	1048,61	2,60	403,31	2,509	2,292
2	4,91	4,684	1264,60	1285,90	726,00	559,90	2,26	2,41	2,606	16,87	6,39	62,09	65	1132,22	1007,68	2,60	387,57	2,509	2,292
3	4,91	4,684	1258,50	1280,70	724,40	556,30	2,26	2,41	2,606	16,73	6,24	62,69	72	1254,15	1116,19	2,40	465,08	2,509	2,292
Rerata			1263,50	1285,40	726,20	559,20	2,26	2,41	2,606	16,84	6,36	62,24	69	1201,89	1057,49	2,53	418,65	2,51	2,292
4	5,41	5,136	1256,50	1272,60	717,80	554,80	2,26	2,40	2,609	17,04	5,52	67,60	74	1288,99	1108,53	2,80	395,90	2,509	2,756
5	5,41	5,136	1258,90	1270,60	715,90	554,70	2,27	2,40	2,609	16,86	5,32	68,44	72	1254,15	1116,19	2,60	429,31	2,509	2,756
6	5,41	5,136	1259,70	1275,30	723,80	551,50	2,28	2,40	2,609	16,33	4,71	71,13	76	1323,83	1178,20	2,50	471,28	2,509	2,756
Rerata			1258,37	1272,83	719,17	553,67	2,27	2,40	2,609	16,74	5,19	69,06	74	1288,99	1134,31	2,63	432,16	2,51	2,756
7	5,91	5,584	1253,90	1261,00	708,70	552,30	2,27	2,38	2,613	17,23	4,68	72,86	81	1410,92	1255,72	3,00	418,57	2,509	3,215
8	5,91	5,584	1258,00	1273,40	720,80	552,60	2,28	2,38	2,613	17,00	4,42	74,03	79	1376,08	1224,71	2,80	437,40	2,509	3,215
9	5,91	5,584	1256,60	1268,60	715,70	552,90	2,27	2,38	2,613	17,14	4,57	73,31	80	1393,50	1240,22	3,20	387,57	2,509	3,215
Rerata			1256,17	1267,67	715,07	552,60	2,27	2,38	2,613	17,12	4,55	73,40	80,00	1393,50	1240,22	3,00	414,51	2,509	3,215
10	6,41	6,027	1268,60	1279,20	719,20	560,00	2,27	2,37	2,617	17,80	4,28	75,97	84	1463,18	1302,23	3,50	372,06	2,509	3,670
11	6,41	6,027	1279,80	1291,30	725,70	565,60	2,26	2,37	2,617	17,89	4,39	75,48	82	1428,34	1271,22	4,05	313,88	2,509	3,670
12	6,41	6,027	1270,10	1289,90	725,40	564,50	2,25	2,37	2,617	18,35	4,93	73,15	85	1480,59	1317,73	3,30	399,31	2,509	3,670
Rerata			1272,83	1286,80	723,43	563,37	2,26	2,37	2,617	18,01	4,53	74,87	83,67	1457,37	1297,06	3,62	361,75	2,509	3,670
13	6,91	6,467	1250,80	1268,30	712,00	556,30	2,25	2,35	2,622	18,79	4,40	76,61	80	1393,50	1198,41	3,55	337,58	2,509	4,120
14	6,91	6,467	1228,40	1250,40	708,60	541,80	2,27	2,35	2,622	18,11	3,59	80,15	82	1428,34	1228,37	3,90	314,97	2,509	4,120
15	6,91	6,467	1270,20	1277,60	713,30	564,30	2,25	2,35	2,622	18,70	4,29	77,07	84	1463,18	1258,33	3,80	331,14	2,509	4,120
Rerata			1249,80	1265,43	711,30	554,13	2,26	2,35	2,622	18,53	4,09	77,94	82,00	1428,34	1228,37	3,75	327,90	2,509	4,120

15. Hasil Uji Marshall campuran SMA dengan serat kapuk

No. Benda Uji	% aspal terhadap batuan	% Serat Kapuk	Pengambilan Data Laboratorium			Volume benda uji (cm ³)	Berat isi benda uji (Gmb)	BJ maksimum benda uji (Gmm)	BJ agregat efektif (Gse)	VMA	VIM	VFA	Stabilitas (kg)			Pelebaran (flow), mm	MQ	% penyerapan aspal	% aspal efektif (Pbe)
			Berat di udara	Berat SSD	Berat dalam air								Dial	Faktor kalibrasi	faktor ketebalan				
1	6,41	0,010	1248,60	1266,20	711,80	554,40	2,25	2,37	2,617	18,27	4,83	73,55	86	1498,01	1333,23	2,60	512,78	2,509	3,670
2	6,41	0,010	1278,20	1298,10	734,00	564,10	2,27	2,37	2,617	17,78	4,25	76,07	82	1428,34	1228,37	4,40	279,18	2,509	3,670
3	6,41	0,010	1248,90	1262,80	712,00	550,80	2,27	2,37	2,617	17,72	4,19	76,36	87	1515,43	1348,73	3,80	354,93	2,509	3,670
Rerata			1258,57	1275,70	719,27	556,43	2,26	2,37	2,617	17,92	4,43	75,33	85,00	1480,59	1303,45	3,60	382,30	2,51	3,670
4	6,41	0,025	1282,10	1303,60	738,10	565,50	2,27	2,37	2,617	17,73	4,20	76,32	87	1515,43	1348,73	3,10	435,08	2,509	3,670
5	6,41	0,025	1258,60	1278,50	722,20	556,30	2,26	2,37	2,617	17,90	4,40	75,42	87	1515,43	1303,27	4,10	317,87	2,509	3,670
6	6,41	0,025	1273,30	1282,30	724,20	558,10	2,28	2,37	2,617	17,21	3,59	79,11	84	1463,18	1302,23	2,90	449,04	2,509	3,670
Rerata			1271,33	1288,13	728,17	559,97	2,27	2,37	2,617	17,61	4,06	76,95	86,00	1498,01	1318,08	3,37	400,66	2,51	3,670
7	6,41	0,050	1280,90	1298,20	737,50	560,70	2,28	2,37	2,617	17,10	3,47	79,71	110	1916,06	1647,81	3,40	484,65	2,509	3,670
8	6,41	0,050	1274,70	1289,70	733,20	556,50	2,29	2,37	2,617	16,88	3,21	80,98	91	1585,11	1410,75	3,40	414,93	2,509	3,670
9	6,41	0,050	1278,90	1289,90	733,30	556,60	2,30	2,37	2,617	16,62	2,91	82,49	93	1619,94	1441,75	2,10	686,55	2,509	3,670
Rerata			1278,17	1292,60	734,67	557,93	2,29	2,37	2,617	16,87	3,20	81,06	98,00	1707,04	1500,10	2,97	528,71	2,509	3,670
10	6,41	0,075	1265,20	1282,10	724,40	557,70	2,27	2,37	2,617	17,68	4,14	76,58	93	1619,94	1393,15	3,40	409,75	2,509	3,670
11	6,41	0,075	1277,30	1291,70	729,30	562,40	2,27	2,37	2,617	17,58	4,03	77,07	96	1672,20	1488,26	3,80	391,65	2,509	3,670
12	6,41	0,075	1266,30	1279,70	721,60	558,10	2,27	2,37	2,617	17,67	4,12	76,65	112	1950,90	1736,30	3,10	560,10	2,509	3,670
Rerata			1269,60	1284,50	725,10	559,40	2,27	2,37	2,617	17,64	4,10	76,77	100,33	1747,68	1539,24	3,43	453,83	2,509	3,670
13	6,41	0,100	1272,70	1289,50	728,10	561,40	2,27	2,37	2,617	17,74	4,21	76,28	80	1393,50	1240,22	3,55	349,36	2,509	3,670
14	6,41	0,100	1278,90	1296,70	732,20	564,50	2,27	2,37	2,617	17,79	4,27	76,00	82	1428,34	1228,37	4,10	299,60	2,509	3,670
15	6,41	0,100	1285,40	1302,30	736,80	565,50	2,27	2,37	2,617	17,52	3,95	77,44	84	1463,18	1302,23	3,90	333,90	2,509	3,670
Rerata			1279,00	1296,17	732,37	563,80	2,27	2,37	2,617	17,68	4,14	76,57	82,00	1428,34	1256,94	3,85	327,62	2,509	3,670





16. Data Trial (dengan pengerjaan orang lain)



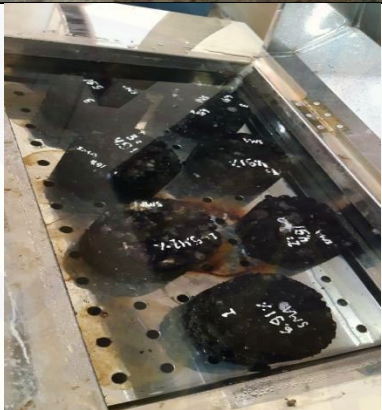

No. Benda Uji	Penambahan Kadar Serat Kapuk	% aspal terhadap batuan	Pengambilan Data Laboratorium				Volume benda uji (cm ³)	Berat isi benda uji (Gm b)	BJ maksimum benda uji (Gm m)	BJ agregat efektif (Gse)	VMA	VIM	VFA	Stabilitas (kg)			Pelebaran (flow), mm	MQ	% penyerapan aspal	% aspal efektif (Pbe)
			Berat di udara	Berat SSD	Berat dalam air	Dial								Faktor kalibrasi	faktor ketebalan					
																A				
1	0,00%	6,41	1272,83	1286,80	723,43	563,37	2,26	2,37	2,617	18,01	4,53	74,85	83,67	1457,37	1253,34	3,62	346,54	2,509	3,670	
2	0,01%	6,41	1263,20	1280,20	723,60	556,60	2,27	2,37	2,617	17,65	4,10	76,75	81	1410,92	1255,72	2,70	465,08	2,509	3,670	
3	0,050%	6,41	1277,90	1289,20	731,20	558,00	2,29	2,37	2,617	16,90	3,23	80,89	98	1707,04	1468,05	3,40	431,78	2,509	3,670	
4	0,10%	6,41	1276,70	1293,80	730,10	563,70	2,26	2,37	2,617	17,81	4,30	75,87	82	1428,34	1228,37	4,00	307,09	2,509	3,670	



LAMPIRAN

DOKUMENTASI PELAKSANAAN PENELITIAN

No.	Dokumentasi	Keterangan
1.		Persiapan dan Pembersihan Material
2.		Proses Pengujian Agregat
3.		Proses Penimbangan Agregat sesuai kadar
4.		Proses Penimbangan serat kapuk sesuai kadar yang dibutuhkan

5.		Pencampuran agregat halus dan serat kapuk sebelum pelaksanaan pencampuran dengan aspal
6.		Proses pemanasan agregat sebelum pencampuran
7.		Proses perendaman benda uji dalam air
8.		Proses pengujian marshall terhadap benda uji

