

SKRIPSI

**KINERJA CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT* SEBAGAI LAPISAN
*WEARING COURSE (WC)***

oleh

MINATIE

NIM. DAB 116 043



JURUSAN/PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS PALANGKA RAYA

PALANGKA RAYA

2022

KINERJA CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT SEBAGAI LAPISAN WEARING COURSE (WC).

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

MINATIE
NIM. DAB 116 043

**Disetujui sesuai dengan revisi dalam Form Rekomendasi
Dan Berita Acara Ujian Skripsi**

Pembimbing Utama



(ROBBY, S.T., M.T.)
NIP. 19730326 199903 1 003

Pembimbing Pendamping



(SALONTEN, S.T., M.T.)
NIP. 19771203 200212 1 002

Mengetahui,
Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Ketua



(Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.)
NIP. 19780608 200501 1 003

KINERJA CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT* SEBAGAI LAPISAN *WEARING COURSE (WC)*

SKRIPSI

Sebagai salah satu syarat untuk menyelesaikan
Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya

Oleh :

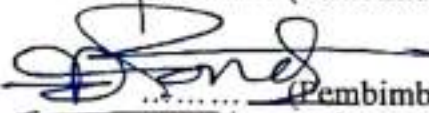

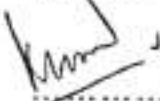
MINATIE
NIM. DAB 116 043

Telah dipertahankan di depan Tim Penguji, pada:

Hari/Tanggal : Rabu, 26 Oktober 2022
Waktu : 09.00 – 11.00 WIB
Tempat : Ruang Audiovisual (offline)

Tim Penguji :


- 1. ROBBY, S.T., M.T.**
NIP. 19730326 199903 1 003
- 2. SALONTEN, S.T., M.T.**
NIP. 19771203 200212 1 002
- 3. INA ELVINA, S.T., M.T.**
NIP. 19770816 200812 2 001
- 4. Ir. DESRIANTOMY, M.T.**
NIP. 19621223 199002 1 001

..... (Pembimbing Utama/Ketua Penguji)

..... (Pembimbing Pendamping/Sekretaris)

..... (Penguji 3)

..... (Penguji 4)

Mengetahui:

Fakultas Teknik
Universitas Palangka Raya
Dekan,

Ir. WALUYO NUSWANTORO, M.T.
NIP. 1965 119 199302 1 001

Jurusan/Program Studi Teknik Sipil
Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya
Ketua,

Dr. RUDI WALUYO, S.T., M.T.
NIP. 19780608 200501 1 003

BIODATA MAHASISWA

Data Pribadi

Nama : Minatie
NIM : DAB 116 043
Tempat, Tanggal Lahir : Bintang Ninggi II, 19 Januari 1999
Status : Belum Menikah
Agama : Islam
Pekerjaan : Mahasiswa
Alamat di Palangka Raya : Jl. Sangga Buana II
No. Telp Rumah : -
Alamat Asal : Desa Bintang Ninggi II, Jl. Poros Pembangunan
Email : minaty99@gmail.com
No.Hp : 0822 6098 3539
No.Wa : 0822 6098 3539
Facebook : Naty
Instagram : minty_0_0
Line : -
Nama Ayah : Sukanda
Pekerjaan Ayah : Petani
Alamat : Desa Bintang Ninggi II, Jl. Poros Pembangunan
No.Hp : 0823 5043 0415
Nama Ibu : Malaya
Pekerjaan Ibu : -
Alamat : -
No.Hp : -
Wali : Harno



Riwayat Pendidikan*)

- TK : Harapan Bunda (2003-2004)
- SD : SD Negeri 1 Bintang Ninggi II (2004-2010)
- SLTP : SMP Negeri 5 Muara Teweh (2010-2013)
- SLTA : SMA Negeri 3 Muara Teweh (2013-2016)
- Mulai mengikuti perkuliahan Program Strata-1 pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya bulan Agustus tahun 2016

LEMBAR PERSEMBAHAN

Puji dan syukur kepada Allah S.W.T Tuhan yang Maha Esa yang telah memberikan rahmat, pertolongan dan anugerah-Nya melalui orang – orang yang membimbing dan mendukung dengan berbagai cara sehingga penulis dapat menulis dan menyelesaikan skripsi ini.

ORANG TUA

Terima kasih saya ucapkan kepada ayah saya SUKANDA dan juga Almarhumah ibu saya MALAYA , atas segala hal dan perjuangan yang telah diberikan di dalam hidup saya , saya bersyukur kepada Allah telah memberikan kedua orang tua yang sangat hebat di dalam hidup saya. Keduanya lah yang membuat segalanya menjadi mungkin sehingga saya bisa sampai pada tahap di mana skripsi ini akhirnya selesai. Terima kasih atas segala tetesan keringatmu, jerih payahmu, do'a mu selalu menyertai langkahku. Dukungan kedua orang tua saya adalah kekuatan yang besar dalam menyelesaikan skripsi ini. Skripsi ini saya persembahkan buat kedua orang tua saya, semoga ini menjadi awal kedepannya untuk membuat kedua orang tua saya bangga dan bahagia.

KELUARGA

Terima kasih saya ucapkan kepada kakak-kakak saya yang telah banyak sekali membantu saya sehingga saya biasa menyelesaikan perkuliahan dan juga kepada keluarga saya untuk segala dukungan yang telah diberikan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan.

TEMAN-TEMAN TEKNIK SIPIL (ANGKATAN 2016)

Untuk teman-teman Teknik sipil Angkatan 2016 skripsi ini saya persembahkan untuk kalian, terima kasih banyak atas support, masukan, saran dan segala kebaikan yang telah kalian perbuat dalam kehidupan saya yang tidak akan pernah saya lupakan.

DOSEN TERHORMAT

Terima kasih kepada Bapak dan Ibu dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya, atas segala pengajaran dan bimbingannya selama saya menjadi mahasiswa Teknik Sipil UPR. Terimakasih juga saya ucapkan kepada dosen pembimbing Skripsi Saya Bapak ROBBY, S.T., M.T. dan Bapak SALONTEN, S.T., M.T. dan dosen penguji Skripsi Saya, yang telah membimbing Saya selama pengerjaan Skripsi ini hingga Saya dapat menyelesaikannya dan terima kasih untuk pengalaman-pengalaman yang telah di ajarkan kepada Saya.

ORANG SPESIAL

Terimakasih untuk ADITYA PRASETYO atas dukungan, doa, kebaikan, dan perhatiannya yang diberikan sehingga Saya dapat menyelesaikan Skripsi ini.

SURAT PERNYATAAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini menyatakan dengan sungguh bahwa Skripsi saya belum pernah dipakai sebelumnya untuk memperoleh gelar kesarjanaan di perguruan tinggi manapun. Segala kutipan dan pikiran dari berbagai sumber telah diungkapkan sebagaimana disebutkan lengkap dalam daftar pustaka. Apabila kemudian hari ternyata pernyataan saya ini tidak benar, maka saya bersedia menerima segala konsekuensi akibat ketidakbenaran pernyataan saya.

Palangka Raya, November 2022

Yang membuat pernyataan



MINATIE

NIM DAB 116 043

RINGKASAN

KINERJA CAMPURAN *SPLIT MASTIC ASPHALT* SEBAGAI LAPISAN *WEARING COURSE (WC)*, Minatie, DAB 116 043, Jurusan/Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

Setiap pembuatan jalan harus memenuhi standar perencanaan untuk memperoleh kualitas jalan yang mampu tahan sesuai umur rencana. Ini bertujuan agar jalan yang dibuat dapat melayani kondisi lalu lintas sesuai keadaan di lapangan. Banyak metode telah dikembangkan dalam teknik perkerasan untuk lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Untuk lapis permukaan yang struktural dengan campuran panas terdapat jenis *Asphalt Concrete (AC)*, *Asphalt Treated Base (ATB)*, *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, dan *Split Mastic Asphalt (SMA)*.

Menentukan nilai kadar aspal optimum (KAO) dan nilai karakteristik marshall dari campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* menggunakan agregat eks. Hampangan, pasir eks. Tangkiling, dan Serat selulosa (Serbuk Kayu). Menganalisis kinerja campuran *split mastic asphalt* sebagai lapisan *wearing course* nilai karakteristik Marshall. Menganalisis ketahanan campuran *SMA* terhadap pelepasan butiran dengan menggunakan metode Cantabro. Menentukan stabilitas campuran *SMA* yang dikondisikan dengan metode *STOA (Short Term Oven Ageing)*. Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis kinerja campuran *split mastic asphalt* sebagai lapisan *wearing course (WC)*. Dalam penelitian di laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi campuran *Split Mastic Asphalt* yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji (briket) untuk dilakukan uji Marshall sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut.

Dilihat dari nilai Kadar Aspal Optimum (KAO) didapat nilai parameter Marshall pada masing-masing komposisi, sebagai berikut: pada Kadar Aspal Optimum (KAO) sebesar 6,57% didapat nilai stabilitas 730,00 kg, *VMA* 18,90%, rongga dalam campuran (*VIM*) 3,75%, rongga terisi aspal (*VFB*) 80,00% dan hasil bagi Marshall 252,00 kg/mm. Hasil penelitian terhadap parameter ketahanan campuran *SMA* terhadap pelepasan butir menggunakan metode Cantabro pada Kadar Aspal Optimum (KAO), nilai kehilangan berat campuran mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal. Hasil penelitian terhadap stabilitas campuran *SMA* yang dikondisikan dengan metode *STOA (Short Term Oven Ageing)* pada Kadar Aspal Optimum (KAO) nilai parameter karakteristik Marshall kondisi *STOA* memiliki kepadatan sebesar 2,37 gr, stabilitas sebesar 731,20 kg, *flow* sebesar 2,86 mm, rongga antar agregat (*VMA*) sebesar 17,85 % rongga dalam campuran (*VIM*) sebesar 5,12 % tidak memenuhi, rongga terisi aspal (*VFB*) sebesar 78,10 % dan hasil bagi Marshall (*MQ*) sebesar 272,30 kg/mm.

Kata Kunci: *Split Mastic Asphalt (SMA)*, Kadar Aspal Optimum (KAO), Serat Selulosa (Serbuk kayu).

SUMMARY

PERFORMANCE OF SPLIT MASTIC ASPHALT MIXED AS A WEARING COURSE LAYER (WC), Minatie , DAB 1 1 6 043 , Department / Study Program Technique Civil , Faculty Technique University Palangka Raya.

Every making Street must Fulfill standard planning for get quality able path _ stand in accordance age plan . This aims that the path made could serve condition then cross in accordance conditions in the field . Lots method has developed in technique pavement for surface layer , foundation layer on and foundation layer bottom . For structural surface coating _ with mixture hot there is type Asphalt Concrete (AC), Asphalt Treated Base (ATB), Hot Rolled Asphalt (HRA) , and Split Mastic Asphalt (SMA).

Determining the value of the optimum asphalt content (KAO) and the value of the marshall characteristics of the Split Mastic Asphalt (SMA) mixture using ex . Hampangen , former sand . Tankling , and Cellulose Fiber (Wood Powder) . Analyze mixed performance split mastic asphalt as layer wearing course score Marshall characteristics . Analyzing SMA mix resistance against the release of granules using the Cantabro method . Determine the stability of the SMA mixture conditioned by the STOA (Short Term Oven Aging) method. Study this use method test laboratory , that is for analyze performance of split mastic asphalt mixture as wearing course (WC) layer . In research in the laboratory held observation and inspection to proportion mixture Split Mastic Asphalt that fulfills specifications . Generated data used for planning mix , next made object test (briquette) for conducted Marshall test so that is known characteristics mixture that .

View from the value of Optimum Asphalt Content (KAO) obtained Marshall parameter value on each composition , as following : at the Optimum Asphalt Content (KAO) of 6, 57% earned score stability 730.00 kg, VMA 18.90 % , cavity in mixture (VIM) 3.75 % , cavity filled asphalt (VFB) 80.00 % and results for Marshall 252.00 kg/mm. H result study on the parameters of the resistance of the SMA mixture to grain release using Cantabro method at Optimum Asphalt Content (KAO), weight loss value mixture experience drop along increase in asphalt content. H result study to stability conditioned high school mix with STOA (Short Term Oven Aging) method at Optimum Asphalt Content (KAO) Marshall characteristic parameter values for STOA conditions have density of 2.37 g, stability of 731.20 kg, flow of 2.86 mm, cavity between Aggregate (VMA) of 17.85 % cavity in mixture (VIM) of 5.12% does not meet the cavity filled asphalt (VFB) of 78.10% and results for Marshall (MQ) of 272.30 kg/mm .

Keywords : *Split Mastic Asphalt (SMA) , Optimum Asphalt Content (KAO), Cellulose Fiber (Wood powder) .*

KATA PENGANTAR

Puji dan Syukur Kehadirat Tuhan Yang Maha Esa, karena atas segala Berkat, Karunia dan Anugerah-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan Tugas Akhir ini. Tugas Akhir ini berjudul "**KINERJA CAMPURAN SPLIT MASTIC ASPHALT SEBAGAI LAPISAN WEARING COURSE (WC)**". Penulisan Tugas Akhir ini dilakukan dengan tujuan memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik pada Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya. Penulis menyadari bahwa tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, dari masa perkuliahan sampai pada penyusunan Tugas Akhir ini, sangat sulit bagi penulis untuk menyelesaikan Tugas Akhir ini.

Oleh karena itu, tidak lupa penulis ucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada :

1. Bapak Ir. Waluyo Nuswantoro, M.T. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
2. Ibu Frieda, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Akademik Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
3. Bapak Dr. Sutan Parasian Silitonga, STP., S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Umum dan Keuangan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
4. Bapak Dr. Deddy Nan Setya Putra Tanggara, S.T., M.T. selaku Wakil Dekan Bidang Kemahasiswaan Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
5. Bapak Dr. Rudi Waluyo, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Universitas Palangka Raya.
6. Ibu Veronika Happy P., S.T., M.T. Selaku Sekretaris Jurusan/Program Studi Teknik Sipil Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya .

7. Bapak Apria B.P. Gawei, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing Akademik
8. Bapak Robby, S.T., M.T. selaku Dosen Ketua Penguji / Penguji 1 Skripsi
9. Bapak Salonten, S. T., M. T. selaku Dosen Sekertaris/ Penguji 2 Skripsi.
10. Ibu Ina Elvina, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji 3 Skripsi.
11. Bapak Ir. Desriantomy, M.T. selaku Dosen Penguji 4 Skripsi.
12. Seluruh Dosen Jurusan/Program Studi Teknik Sipil beserta Staff Tata Usaha Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.
13. Teman-teman Mahasiswa Fakultas Teknik khususnya keluarga besar Teknik Sipil 2016 dan semua pihak yang secara langsung maupun tidak langsung membantu dalam penyelesaian Tugas Akhir ini.

Akhir kata, dengan segala kerendahan hati dan menyadari akan segala kekurangan dalam penyajian Tugas Akhir ini, diharapkan berbagai tanggapan, kritik dan saran yang sifatnya membangun demi perbaikan di masa yang akan datang. Terima Kasih.

Palangka Raya, November 2022

MINATIE
NIM. DAB 116 043

DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN PERSETUJUAN	i
HALAMAN PENGESAHAN.....	ii
BIODATA PENULIS.....	iii
LEMBAR PERSEMBAHAN	iv
SURAT PERNYATAAN	v
RINGKASAN	vi
SUMMARY	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xiv
DAFTAR GAMBAR.....	xv
DAFTAR LAMPIRAN	xvi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan Masalah	4
1.3. Tujuan Penelitian	4
1.4. Manfaat Penelitian	5
1.5. Batasan Masalah	5
1.6. Lokasi Pengambilan Material	6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	7
2.1 Perkerasan Lentur.....	7
2.2 Split Mastic Asphalt (SMA).....	11
2.2.1 Syarat Teknis Agregat pada Campuran SMA	14
2.2.2Persyaratan Campuran Split Mastic Asphalt	17

2.2.3	Persyaratan Sifat – sifat SMA	17
2.3	Agregat	18
2.3.1	Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Terjadinya.....	19
2.3.2	Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Pengolahannya	21
2.3.3	Klasifikasi Agregat Berdasarkan Ukuran Butirnya.....	22
2.3.4	Sifat Agregat	23
2.3.5	Pencampuran (<i>Blending</i>) Agregat	35
2.4	Aspal	37
2.4.1	Jenis Aspal	38
2.4.1.1	Berdasarkan Cara Memperolehnya	38
2.4.1.2	Berdasarkan Bentuknya pada Temperatur Ruang.	39
2.4.2	Sifat Aspal.....	40
2.4.3	Pemeriksaan Aspal	41
2.4.4	Karakteristik Aspal Keras	44
2.5	Perencanaan Campuran Panas.....	45
2.5.1	Pengujian Material	45
2.5.2	Penentuan Gradasi Agregat.....	45
2.5.3	Penentuan Proporsi Agregat.....	46
2.5.4	Estimasi Kadar Aspal Awal	47
2.5.5	Penentuan Persentase Material Terhadap Berat Total Campuran	47
2.5.6	Perhitungan Jumlah Material Yang Dibutuhkan.....	48
2.5.7	Pemanasan Material dan Cetakan (Mould).....	48
2.5.8	Jumlah Sampel dan Pemanasan	49
2.5.9	Pemadatan Sampel	49
2.5.10	Pengukuran Volumetrik Sampel	50
2.5.11	Uji Stabilitas Marshall dan Flow	57
2.5.12	Penentuan Kadar Aspal Optimum.....	59
2.5.13	Pengujian Stabilitas <i>Marshall</i> Sisa	60
2.5.14	Pengujian Ketahanan SMA dengan Metode Cantabro	61

2.5.15 Pengujian Ketahanan Campuran SMA pada keadaan STOA	61
2.6 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu.....	62
2.6.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu	63
2.6.2 Hasil Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu .	64
BAB III METODE PENELITIAN	66
3.1 Umum.....	66
3.2 Pengambilan Material	66
3.3 Pengambilan Data Sampel	66
3.4 Bahan Penelitian.....	67
3.5 Alat – alat Penelitian	67
3.5.1 Alat untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat.....	67
3.5.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji.....	70
3.6 Waktu dan Tempat Penelitian	72
3.7 Cara Penelitian	72
3.7.1 Pemeriksaan Sifat – sifat Fisik Agregat	72
3.7.2 Pemeriksaan Gradasi Agregat	72
3.7.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	73
3.7.4 Pengujian Keausan Agregat	77
3.7.5 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus	78
3.8 Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	79
3.8.1 Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat ...	80
3.8.2 Pembuatan Benda Uji	81
3.8.3 Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall).....	82
3.8.4 Pemeriksaan Benda Uji (Tes Cantabro)	84
3.8.5 Pemeriksaan Benda Uji (Tes STOA)	85
BAB IV ANALISIS DAN PEMBAHASAN	89
4.1 Pelaksanaan Pengujian di Laboratorium	89
4.1.1 Pengujian Sifat-sifat Fisik Agregat	89

4.1.2 Perencanaan Campuran.....	90
4.2 Pengujian Marshall.....	95
4.2.1 Persiapan Pengujian Marshall.....	95
4.2.2 Pemeriksaan Sifat – sifat Fisik Agregat	95
4.3 Analisis Hasil Pengujian Marshall dengan Variasi Kadar Aspal	98
4.3.1 Hubungan Stabilitas terhadap Kadar Aspal.....	99
4.3.2 Hubungan Kelelahan (Flow) terhadap Variasi Kadar Aspal	100
4.3.3 Hubungan Rongga antar Agregat (<i>Void In Mineral Aggregate/VMA</i>) terhadap Kadar Aspal	101
4.3.4 Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (<i>Void In Mixture /VIM</i>) terhadap Kadar Aspal.....	103
4.3.4 Hubungan Rongga Terisi Aspal (<i>Void Filled With Bitumen /VFB</i>) terhadap Kadar Aspal.....	104
4.3.4 Hubungan Hasil Bagi Marshall (<i>Marshall Quotient</i>) terhadap Kadar Aspal.....	105
4.4 Analisis Hasil Pengujian Cantabro Loss	107
4.4.1 Analisis Hasil Pengujian Ketahanan Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> pada Metode Cantabro Loss.....	107
4.5 Analisis Hasil Pengujian <i>Short Term Oven Ageing (STOA)</i>	109
4.5.1 Analisis Hasil Pengujian Ketahanan Campuran <i>Split Mastic Asphalt</i> pada Keadaan <i>Short Term Oven Ageing</i>	109
BAB V PENUTUP	110
5.1 Kesimpulan.....	110
5.2 Saran	112
DAFTAR PUSTAKA	113
LAMPIRAN.....	

DAFTAR TABEL

	Halaman
2.1	Ketentuan Agregat Kasar 14
2.2	Ketentuan agregat halus 16
2.3	Persyaratan gradasi campuran Split Mastic Asphalt..... 17
2.4	Persyaratan sifat-sifat campuran SMA 18
2.5	Persyaratan aspal keras penetrasi 60/70..... 44
2.6	Suhu pemanasan untuk material campuran..... 48
2.7	Konversi pembacaan dial gauge stabilitas ke kN untuk alat uji tekan Marshall model H-4454.100 58
2.8	Rasio kolerasi stabilitas Marshall 58
2.9	Perbandingan penelitian terdahulu..... 63
3.1	Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum 81
4.1	Hasil Analisa Saringan Masing-masing Agregat 89
4.2	Hasil Pemeriksaan Sifat Fisik Masing-masing Agregat 90
4.3	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara Diagonal..... 90
4.4	Hasil Perhitungan Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i> 91
4.5	Rencana Komposisi Campuran..... 94
4.6	Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan terhadap Total Agregat 96
4.7	Hasil Pengujian Parameter Karakteristik Marshall..... 99
4.8	Nilai Parameter Karakteristik Marshall pada Kadar Aspal..... 107
4.9	Hasil Pengujian Cantabro Loss..... 108
4.10	Hasil Pengujian Marshall Kondisi STOA..... 109

DAFTAR GAMBAR

	Halaman
1.1 Lokasi Pengambilan Material	6
2.1 Lapisan Perkerasan Jalan (Lentur).....	7
2.2 Tampak melintang interlock antar agregat dalam campuran SMA ...	12
2.3 Peran fiber selulosa dalam campuran SMA.....	13
2.4 Potongan melintang campuran SMA	13
2.5 Contoh khas macam-macam gradasi agregat.....	24
2.6 Susunan butir-butir agregat berbentuk bulat.....	28
2.7 Susunan butir-butir agregat berbentuk kubus	29
2.8 Pertimbangan volume pori agregat untuk penentuan SG	32
2.9 Komponen campuran beraspal secara volumetrik	56
2.10 Contoh penentuan kadar aspal optimum (KAO)	60
3.1 Bagan Alir Penelital.....	88
4.1 Grafik Gradasi Gabungan Cara Diagonal	91
4.2 Grafik Gradasi Gabungan Cara <i>Trial and Error</i>	92
4.3 Grafik Hubungan Stabilitas terhadap Variasi Kadar Aspal	100
4.4 Grafik Hubungan <i>Flow</i> terhadap Variasi Kadar Aspal.....	101
4.5 Grafik Hubungan Rongga antar Agregat (VMA) terhadap Variasi Kadar Aspal	102
4.6 Grafik Hubungan Rongga Udara dalam Campuran (VIM) terhadap Variasi Kadar Aspal	103
4.7 Grafik Hubungan Rongga Terisi Aspal (VFB) terhadap Variasi Kadar Aspal	104
4.8 Grafik Hubungan Nilai Hasil Bagi Marshall terhadap Variasi Kadar Aspal	105
4.9 Grafik Hubungan Nilai Hasil Parameter Marshall terhadap Variasi Kadar Aspal Optimum (KAO).....	105

DAFTAR LAMPIRAN

1. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar Eks. Hampangen	115
2. Grafik Analisa Saringan Agregat Kasar Eks.Hampangen	116
3. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Eks. Hampangen	117
4. Grafik Analisa Saringan Agregat Halus Eks.Hampangen	118
5. Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Pasir Eks. Tangkiling	119
6. Grafik Analisa Saringan Pasir Eks.Tangkiling	120
7. Grafik Gradasi Gabungan Analisis Saringan	121
8. Tabel Gradasi dan Grafik Gabungan Metode Diagonal.....	122
9. Tabel Gradasi dan Grafik Gabungan Metode <i>Trial and Error</i>	123
10. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Kasar Eks. Hampangen.....	124
11. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Agregat Halus Eks. Hampangen.....	125
12. Hasil Pemeriksaan Berat Jenis Pasir Eks. Tangkilig.....	126
13. Hasil Pemeriksaan Sand Equivalent Pasir Eks. Tangkiling	127
14. Hasil Pemeriksaan Keausan Agregat Kasar Eks. Hampangen.....	128
15. Perhitungan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat	129
16. Tabel Perhitungan Marshall	130
17. Hubungan Parameter Marshall.....	131
18. Tabel Perhitungan Cantabro.....	132
19. Dokumentasi Penelitian	133

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Setiap pembuatan jalan harus memenuhi standar perencanaan untuk memperoleh kualitas jalan yang mampu tahan sesuai umur rencana. Ini bertujuan agar jalan yang dibuat dapat melayani kondisi lalu lintas sesuai keadaan di lapangan. Banyak metode telah dikembangkan dalam teknik perkerasan untuk lapis permukaan, lapis pondasi atas dan lapis pondasi bawah. Untuk lapis permukaan yang struktural dengan campuran panas terdapat jenis *Asphalt Concrete (AC)*, *Asphalt Treated Base (ATB)*, *Hot Rolled Asphalt (HRA)*, dan *Split Mastic Asphalt (SMA)*. Untuk campuran SMA masih belum banyak digunakan untuk perkerasan jalan-jalan di Indonesia. Baru tahun 2009 tepatnya hari Kamis tanggal 16 Juli campuran SMA mulai dicoba di Jalan Lenteng Agung Jakarta Selatan sepanjang 300 meter oleh Departemen PU.

Menurut Sukirman (2003) *Split Mastic Asphalt (SMA)* merupakan beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini mengandung bahan yang tahan deformasi, permukaan bahan tahan lama, cocok untuk jalan-jalan dengan lalu lintas tinggi. SMA juga digunakan sebagai pilihan permukaan aspal yang tahan lama untuk jalan-jalan perumahan dan jalan raya. SMA memiliki kandungan agregat kasar tinggi dengan interlock yang baik untuk membentuk kerangka batu yang tahan deformasi permanen dan tahan air. Batu kerangka diisi dengan *mastic asphalt* dan filler yang ditambahkan serat untuk

memberikan stabilitas yang mengisi aspal dan untuk mencegah drainase pengikat selama transportasi dan penempatan.

Yang dimaksud *Mastic Asphalt* pada campuran ini adalah aspal batu yang dalam penggunaannya perlu pemanasan untuk membentuk suatu mortar aspal. Dalam perkembangannya *Mastic Asphalt* dapat menggunakan aspal minyak yang dicampur dengan fiber selulosa seperti serat kayu atau polimer seperti *styrene-butadiene-stryene (SBS)*, *styrene-butadiene rubber (SBR)*, *ethylene vinyl acetate (EVA)* dan karet alam Nichols (2002). Perbedaan *Split Mastic Asphalt* dan *Stone Mastic Asphalt* terletak pada gradasi yang digunakan. Komposisi *Stone Mastic Asphalt* terdiri dari 70-80% agregat kasar, 8-12% filler, 6-7% aspal. Sedangkan komposisi *Split Mastic Asphalt* terdiri dari 60-70% agregat kasar, 10-22% agregat halus, 8-12% filler dengan 6-7 % aspal plus pengikat. Jadi kandungan agregat kasar pada *Split Mastic Asphalt* lebih sedikit dibandingkan dengan pada campuran *Stone Mastic Asphalt*.

Gregorius Lake, A. dkk. (2010), telah melakukan percobaan mengenai campuran *Split Mastic Asphalt* dengan menggunakan beberapa material dari Kalimantan dan aspal penetrasi 60/70 tanpa pengikat. Hasilnya didapatkan bahwa campuran yang menggunakan material dari daerah Banjar, Bulungan, dan Kutai masing-masing sebesar 877,942 kg, 688,492 kg, dan 730,097 kg. Campuran tersebut memenuhi syarat sifat SMA yang stabilitasnya ≥ 670 kg.

Karena masih terbatas penelitian dan aplikasi, maka perlu diadakan penelitian tentang kinerja campuran SMA sebagai lapisan aus. Penelitian yang dilakukan meliputi penelitian terhadap sifat-sifat (karakteristik) agregat yang

meliputi: berat jenis, penyerapan, kadar lempung, sand equivalent, keausan, keawetan, dan kelekatan agregat terhadap aspal. Selain itu perlu juga meneliti sifat-sifat (karakteristik) dari campuran SMA seperti: pengujian nilai stabilitas, *flow*, *Marshal Quotient*, pengujian berbagai jenis volume pori dalam aspal beton padat (VIM, VMA, VFB).

Selain itu, untuk mengetahui ketahanan campuran SMA terhadap pelepasan butir akibat beban roda yang berulang-ulang perlu dilakukan pengujian dengan metode Cantabro. Prinsip pengujian ini adalah memasukkan benda uji hasil pemadatan Marshall kedalam alat abrasi *Los Angeles*, dan diputar sebanyak 300 putaran. Dengan mengetahui berat awal dan berat benda uji setelah pengujian, dapat dihitung pelepasan butir yang terjadi.

Campuran SMA juga dites durabilitasnya dengan metode STOA (*Short Term Oven Ageing*) untuk mensimulasi campuran terhadap efek pemanasan saat proses produksi. Prinsipnya campuran yang sudah merata penyalimutan aspalnya dan masih gembur (belum dipadatkan) dipanaskan pada suhu 135 °C selama 4 jam. Setelah itu, akan didapatkan data durabilitas campuran aspal dalam hal penuaan (*ageing*).

1.2 Rumusan Masalah

Adapun permasalahan yang ingin dibahas pada penelitian ini sesuai dengan latar belakang tersebut diantaranya:

1. Bagaimanakah karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt* pada Kadar Aspal Optimum (KAO)?
2. Bagaimanakah ketahanan campuran SMA terhadap pelepasan butir dengan metode Cantabro pada Kadar Aspal Optimum (KAO)?
3. Bagaimanakah stabilitas campuran SMA yang dikondisikan dengan metode STOA (*Short Term Oven Ageing*) pada Kadar Aspal Optimum (KAO)?

1.3 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

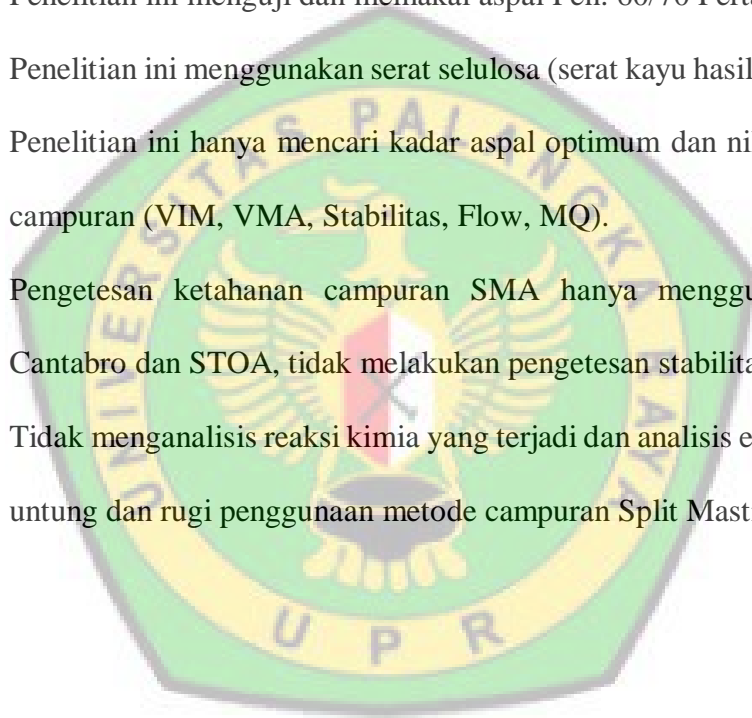
1. Untuk menganalisis nilai karakteristik campuran *Split Mastic Asphalt* pada Kadar Aspal Optimum (KAO).
2. Untuk menganalisis ketahanan campuran SMA terhadap pelepasan butir dengan metode Cantabro pada Kadar Aspal Optimum (KAO).
3. Untuk menganalisis stabilitas campuran SMA menggunakan metode STOA (*Short Term Oven Ageing*) pada Kadar Aspal Optimum (KAO).

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi dalam pemilihan campuran aspal untuk perkerasan jalan raya dan sebagai pengembangan dari metode campuran Split Mastic Asphalt

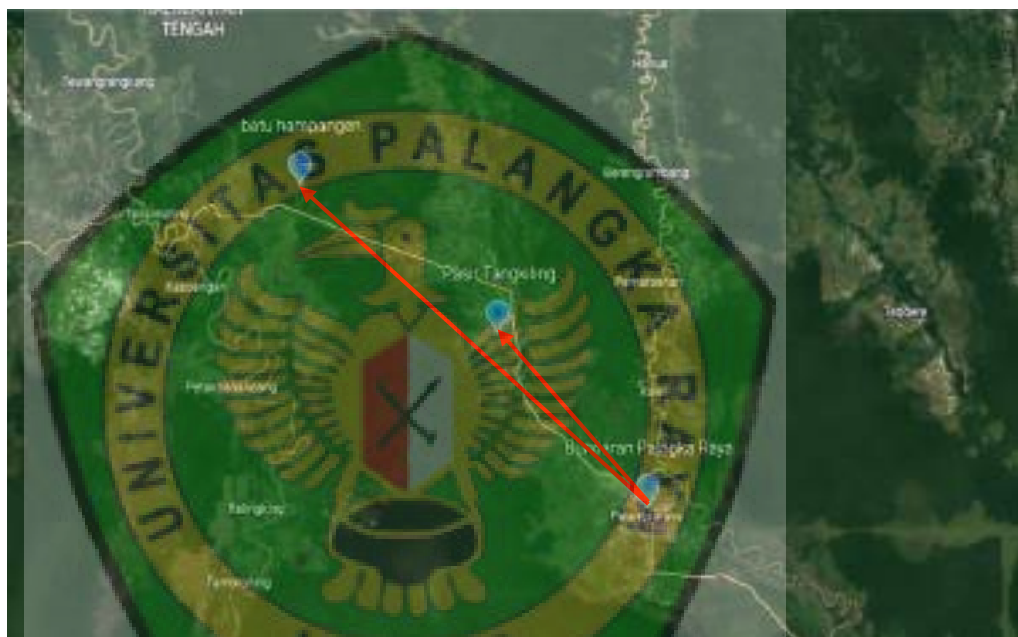
1.5 Batasan Masalah

1. Penelitian ini menguji dan memakai aspal Pen. 60/70 Pertamina
2. Penelitian ini menggunakan serat selulosa (serat kayu hasil penggergajian)
3. Penelitian ini hanya mencari kadar aspal optimum dan nilai karakteristik campuran (VIM, VMA, Stabilitas, Flow, MQ).
4. Pengetesan ketahanan campuran SMA hanya menggunakan metode Cantabro dan STOA, tidak melakukan pengetesan stabilitas dinamis.
5. Tidak menganalisis reaksi kimia yang terjadi dan analisis ekonomi tentang untung dan rugi penggunaan metode campuran Split Mastic Asphalt.



1.6 Lokasi Pengambilan Material

Pengambilan Material agregat kasar berasal dari Desa Hampangen Kabupaten Katingan dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut. Agregat Kasar buatan di ambil dari Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.



Gambar 1.1 Lokasi Pengambilan Material

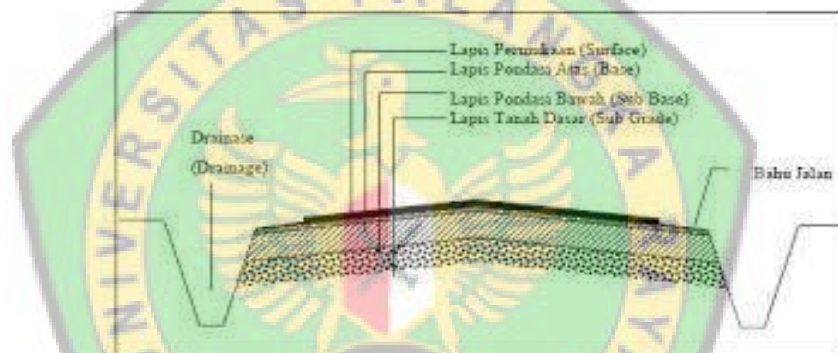
Sumber : Google Earth (2022)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Perkerasan Lentur

Susunan perkerasan lentur terdiri atas lapisan permukaan yaitu lapisan aus dan lapisan antara. Lapisan di bawahnya adalah lapisan pondasi yang terdiri atas lapisan pondasi atas (*base course*) dan pondasi bawah (*subbase course*) dan lapisan paling bawah yang berupa tanah dasar. Berikut gambaran konstruksi perkerasan:



Gambar 2. 1 Lapisan Perkerasan Jalan (Lentur)

Sumber: Sukirman (2010)

Karakteristik campuran beraspal sebagai lapis perkerasan jalan Sukirman (1999) antara lain:

1. Stabilitas

Stabilitas adalah kemampuan lapisan perkerasan menerima beban lalu lintas tanpa terjadi perubahan bentuk tetap seperti gelombang, alur ataupun *bleeding*.

Stabilitas terjadi dari hasil geseran antar butir, penguncian antar partikel dan daya ikat yang baik dari lapisan aspal. Dengan demikian stabilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan mengusahakan penggunaan agregat dengan gradasi yang rapat, permukaan kasar, berbentuk kubus, aspal dengan penetrasi rendah dan jumlah yang mencukupi untuk ikatan antar butir.

2. Keawetan/Daya Tahan (durabilitas)

Durabilitas diperlukan pada lapisan permukaan sehingga lapisan mampu menahan keausan akibat pengaruh cuaca, air dan perubahan suhu maupun keausan akibat gesekan kendaraan. Faktor-faktor yang mempengaruhi durabilitas antara lain:

- a. Tebal film aspal atau selimut aspal yang memadai. Bila terlalu tipis, lapisan aspal mudah teroksidasi udara dan terkelupas, bila terlalu tebal bisa terjadi *bleeding*.
- b. Porositas (VIM) yang kecil, sehingga lapisan menjadi cukup kedap air dan tidak mudah ditembus oleh udara. Porositas yang kecil juga dapat mengurangi proses oksidasi yang menyebabkan aspal mengelupas.
- c. VMA yang besar, sehingga tebal film aspal bisa lebih tebal. Untuk mendapatkan VMA yang besar disarankan memakai gradasi senjang.

3. Kelenturan (*flexibility*)

Kelenturan pada lapisan perkerasan adalah kemampuan lapisan untuk mengikuti deformasi yang terjadi akibat beban lalu lintas yang berulang tanpa terjadi retak dan perubahan volume. Fleksibilitas yang tinggi dapat diperoleh dengan:

- a. Penggunaan agregat bergradasi senjang sehingga diperoleh VMA yang besar.
 - b. Penggunaan aspal yang lebih lunak atau aspal dengan penetrasi yang lebih tinggi.
 - c. Penggunaan aspal yang lebih banyak sehingga diperoleh VIM yang lebih kecil walaupun VMA besar.
 - d. Memenuhi syarat *Marshall Quotient (MQ)*, yaitu perbandingan antara stabilitas/*flow* (kN/mm). *Marshall Quotient* merupakan indikator sifat lentur perkerasan.
4. Kekesatan/Tahanan Geser (*skid resistance*)

Tahanan geser adalah kekesatan yang diberikan oleh perkerasan sehingga kendaraan tidak mengalami slip, baik saat hujan atau maupun saat cuaca kering. Kekesatan dinyatakan dengan koefisien gesek antar permukaan jalan dan ban kendaraan. Pada umumnya perkerasan jalan memiliki tahanan geser yang memadai. Hal ini diperoleh dengan:

- a. . Penggunaan kadar aspal yang tepat sehingga tidak terjadi *bleeding*.
 - b. Penggunaan agregat dengan permukaan kasar dan berbentuk kubus.
 - c. Penggunaan agregat kasar dalam jumlah yang cukup. Campuran aspal bergradasi senjang biasanya ditentukan oleh jumlah agregat kasar yang dipergunakan.
5. Ketahanan Kelelahan (*fatigue resistance*)

Ketahanan kelelahan adalah ketahanan lapis aspal beton dalam menerima beban berulang tanpa terjadinya kelelahan yang berupa alur dan retak. Adapun upaya yang dapat dilaksanakan guna mengoptimalkan ketahanan terhadap kelelahan, antara lain:

- a. Peningkatan kadar aspal serta VMA dan VIM yang tinggi.
- b. Penggunaan campuran dengan gradasi yang lebih halus sehingga memiliki ketahanan kelelahan yang lebih baik.
- c. Penggunaan aspal yang lebih keras untuk perkerasan yang lebih tebal.

6 Kemudahan Pelaksanaan (*workability*)

Yang dimaksud dengan kemudahan pelaksanaan adalah mudahnya suatu campuran untuk dihampar dan dipadatkan sehingga diperoleh hasil yang memenuhi kepadatan yang diharapkan. Faktor yang mempengaruhi kemudahan dalam pelaksanaan adalah:

- a. Gradasi agregat.
- b. Ketepatan temperatur saat pelaksanaan pekerjaan karena aspal bersifat termoplastis (menjadi lebih lunak saat temperatur tinggi dan sebaliknya).
- c. Kandungan bahan pengisi (*filler*). Bila kadar *filler* terlalu tinggi bisa mengurangi *workability*.

7. Kedap Air (*impermeability*)

Kedap air adalah kemampuan lapisan perkerasan untuk tidak dapat dimasuki air ataupun udara karena air dan udara akan mempercepat proses penuaan aspal. Di samping itu, air dapat menimbulkan efek pengelupasan film aspal dari permukaan agregat.

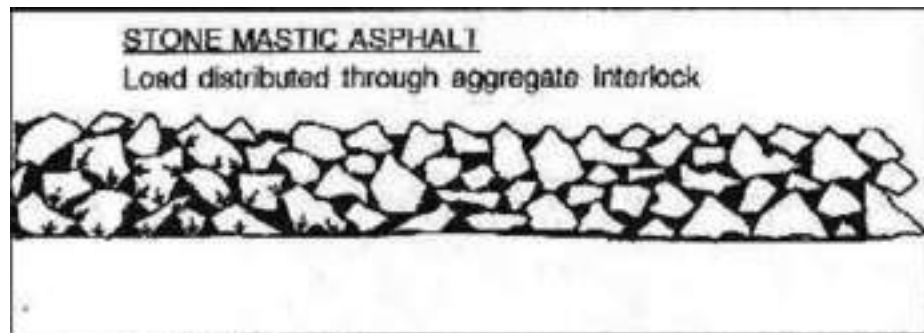
8. Permukaan tidak mengkilap

Permukaan yang tidak mengkilap, tidak silau jika terkena matahari atau sinar lainnya berguna untuk meningkatkan tingkat keamanan lalu lintas.

2.2 Split Mastic Asphalt (SMA)

Menurut Sukirman (2003) *Split Mastic Asphalt* merupakan beton aspal bergradasi terbuka dengan selimut aspal yang tebal. Campuran ini mempergunakan bahan tambahan berupa fiber selulosa yang berfungsi untuk menstabilisasi kadar aspal yang tinggi. Lapisan ini terutama digunakan untuk jalan-jalan dengan beban lalu lintas yang berat.

Campuran SMA dipilih untuk memecahkan masalah kerusakan yang terjadi pada lapisan aus (*wearing course*) akibat dari roda bertatah (*studded tires*), namun mempunyai durabilitas yang baik sehingga umur layanannya menjadi panjang. SMA memiliki kandungan agregat kasar tinggi dengan interlock yang baik untuk membentuk kerangka batu yang tahan deformasi permanen dan tahan air.



Gambar 2.2 Tampak melintang *interlock* antar agregat dalam campuran SMA

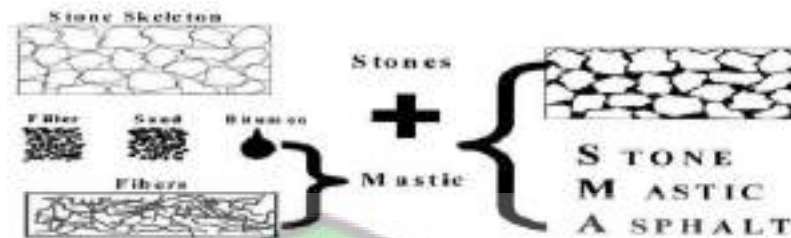
Sumber: Summers (2006)

Menurut Khairudin (1989) pada awalnya pengembangan SMA dimaksudkan untuk mengembangkan suatu lapisan permukaan (*wearing course*) yang mampu memberikan ketahanan maksimal terhadap proses pengausan oleh ban kendaraan (*wearing resistance*) dan mampu memberikan ketahanan maksimal terhadap deformasi oleh lalu lintas berat (*rutting resistance*) di musim panas (temperature tinggi) maupun di musim dingin (temperature sangat rendah). Split di sini berarti agregat kasar sama seperti kata *Stone* dalam *Stone Mastic Asphalt* yang berarti batu (agregat kasar).

Mastic Asphalt adalah aspal batu (*rock asphalt*) yang terdapat di Italy, Swiss, Jerman, Perancis dan P. Buton (Indonesia). Dalam penggunaannya *Mastic Asphalt* dipanaskan untuk membentuk suatu mortar aspal. Seiring perkembangan teknologi, *Mastic Asphalt* dapat dibentuk dengan mencampur aspal minyak dengan fiber selulosa, dan polimer sebagai pengikatnya.

Fiber selulosa yang dimaksud adalah serat kayu atau hasil daur ulang kertas sedangkan polimer yang biasa dipakai adalah styrene-butadiene-styrene (SBS), styrene-butadiene rubber (SBR), ethylene vinyl acetate (EVA) dan karet

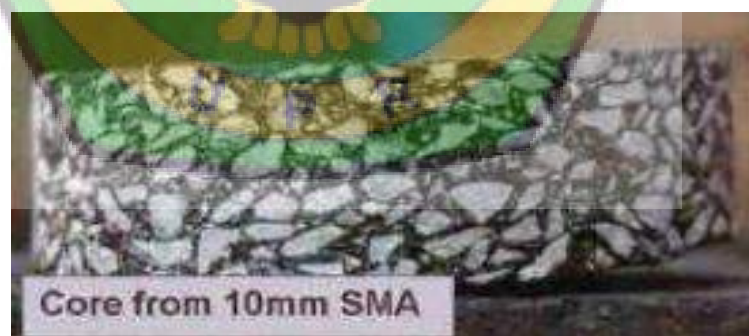
alam. (Nichols, 2002). Ketika serat selulosa dimasukkan ke dalam campuran, mereka akan membentuk struktur jaring yang mestabilkan kadar aspal dalam campuran dan mencegah pemisahan dan sedimentasi komponen formulasi.



Gambar 2.3 Peran fiber selulosa dalam campuran SMA

Sumber: seminaronly (2006)

Campuran SMA bergradasi agregat kasar relatif sama dengan gradasi porous asphalt (PA), namun rongga yang ada terisi oleh *mastic* (mortar campuran antara agregat halus, filer, dan aspal), sehingga porositas campuran SMA berkisar antara 3-6 %.



Gambar 2.4 Potongan melintang campuran SMA

Sumber: Summers (2006)

2.2.1 Syarat Teknis Agregat pada Campuran SMA

Adapun persyaratan agregat untuk campuran beraspal panas secara umum adalah sebagai berikut:

- Penyerapan air oleh agregat maksimum 3%.
- Berat jenis (*specific gravity*) agregat kasar dan halus tidak boleh berbeda dari 0,2.

1. Agregat kasar

- Tertahan ayakan no. 4 (4,75 mm).
- Mempunyai angularitas sesuai syarat. Angularitas agregat kasar didefinisikan sebagai persen terhadap berat, jumlah agregat yang lebih besar dari 4,75 mm dengan muka bidang pecah satu atau lebih.
- Agregat kasar untuk Latahir kelas A dan B boleh dari kerikil yang bersih.

Tabel 2.1 Ketentuan agregat kasar

Pengujian		Metoda Pengujian	Nilai
Kekekalan bentuk agregat terhadap larutan	Natrium Sulfat	SNI 3407:2008	Maks 12%
	Magnesium Sulfat		Maks 18%
Abrasi dengan mesin <i>Los Angeles</i>	Campuran AC Modifikasi dan SMA	100 putaran	Maks 6%
		500 putaran	Maks 30%
	Semua jenis campuran beraspal bergradasi lainnya	100 putaran	Maks 8%
		500 putaran	Maks 40%
Kelekatan terhadap aspal		SNI 2439:2011	Min 95%
		SMA	100/90

Tabel 2.1 Lanjutan

Batu pecah pada agregat kasar	Lainnya	SNI 7619:2012	95/90
Partikel pipih dan lojong	SMA	ASTM D4791-10 Perbandingan 1:5	Maks 5%
	Lainnya		Maks 10%
Material Lolos Ayakan No. 200		SNI ASTM C117:2012	Maks 1%

Sumber : Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

Catatan : 95/90 menunjukkan bahwa 95% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah satu atau lebih dan 90% agregat kasar mempunyai muka bidang pecah dua atau lebih.

2. Agregat halus

- a. Pasir atau hasil pengayakan batu pecah lolos ayakan no. 4 (4,75 mm).
- b. Pasir alam dapat digunakan dalam campuran AC sampai suatu batas yang tidak melampaui 15% terhadap berat total campuran.
- c. Mempunyai angularitas sesuai syarat. Angularitas agregat halus didefinisikan sebagai persen rongga udara pada agregat lolos ayakan No. 4 (4,75 mm) yang dipadatkan dengan berat sendiri.

Tabel 2.2 Ketentuan agregat halus

Pengujian	Standar	Nilai
Nilai Setara Pasir	SNI 03-4428-1997	Min. 50%
Angularitas dengan Uji Kadar Rongga	SNI 03-6877-2002	Min. 45
Gumpalan Lempung dan Butir-butir Mudah Pecah dalam Agregat	SNI 03-4141-1996	Maks 1%
Agregat Lolos Ayakan No. 200	SNI ASTM C117:2012	Maks. 10%

Sumber: Spesifikasi Umum Bina Marga 2018

3. Bahan pengisi (filler)

- a. Bahan pengisi yang ditambahkan (pada agregat hasil pemecahan yang mengandung filler), bisa terdiri atas debu kapur (limestone dust) atau debu kapur padam, semen atau mineral yang berasal dari asbuton yang sumbernya disetujui oleh Direksi Pekerjaan. Jika digunakan aspal modifikasi dari jenis asbuton yang diproses maka bahan pengisi ditambahkan sudah memperhitungkan kadar filler yang terkandung dalam Asbuton tersebut.
- b. Bahan pengisi yang ditambahkan harus kering serta bebas dari gumpalan-gumpalan dan bila diuji dengan pengayakan sesuai SNI 03-1968-1990 harus mengandung bahan yang lolos ayakan no. 200 (75 mikron) tidak kurang dari 75% terhadap beratnya kecuali untuk mineral Asbuton
- c. Mineral Asbuton harus mengandung bahan yang lolos ayakan No. 100 tidak kurang dari 95% terhadap beratnya. Bilamana kapur tidak terhidrasi atau terhidrasi sebagian, tidak digunakan sebagai bahan pengisi. Kapur yang

seluruhnya terhidrasi yang dihasilkan dari pabrik yang disetujui dan semen yang memenuhi persyaratan, dapat digunakan maksimum 2% terhadap berat total agregat. Semua campuran beraspal harus mengandung bahan pengisi yang ditambahkan min. 1% dari berat total agregat.

2.2.2 Persyaratan Campuran Split Mastic Asphalt

Gradasi campuran SMA harus memenuhi persyaratan dalam Tabel 2.3

Tabel 2.3 Persyaratan gradasi campuran Split Mastic Asphalt

No. Ayakan	Ukuran Ayakan (mm)	Spesifikasi Lolos Saringan (%)	
		Range	Ideal
3/4"	19	100	100
1/2"	12,5	90-100	95
3/8"	9,5	50-75	62,5
No. 4	4,75	30-50	40
No. 8	2,36	20-30	25
No. 30	0,6	13-25	19
No. 50	0,3	10-22	15
No. 200	0,075	8-12	10,5

Sumber: Bina Marga 1983

2.2.3 Persyaratan Sifat-sifat SMA

Campuran SMA harus memenuhi persyaratan sesuai dengan Tabel 2.4

Tabel 2. 4 Persyaratan sifat-sifat campuran SMA

Sifat Campuran		SMA
Stabilitas	kg	≥ 670
Kelelahan	Mm	$\geq 2 - 4$
Kuotient Marshall	kg/mm	190-300
VIM	%	3-5.
VFB	%	75-85
VMA*	%	≥ 17
Stabilitas dinamis (<i>wheel tracking machine</i>)**	ls/mm	≥ 1500

Sumber: Khairudin (1989) dalam Sukirman (2003)

Catatan:

* Menurut AASHTO M 325-08

** Pengujian tidak dilakukan karena alat yang belum tersedia

2.3 Agregat

Agregat atau batuan didefinisikan secara umum sebagai formasi kulit bumi yang keras dan solid. Agregat merupakan komponen utama dari lapisan perkerasan jalan yaitu mengandung 90% - 95% agregat berdasarkan persentase berat atau 75% - 85% agregat berdasarkan persentase volume Sukirman, (1999). Dengan demikian kualitas perkerasan jalan ditentukan juga dari sifat agregat dan hasil campuran agregat dengan material lain.

Pemilihan jenis agregat yang sesuai untuk digunakan pada konstruksi perkerasan dipengaruhi oleh beberapa faktor yaitu gradasi, kekuatan, bentuk butir, tekstur permukaan, kelekatan terhadap aspal serta kebersihan dan sifat kimia. Jenis

dan campuran agregat sangat mempengaruhi daya tahan atau stabilitas suatu perkerasan jalan Kerbs and Walker, (1971).

Menurut Depkimpraswil dalam Manual Pekerjaan Campuran Beraspal Panas (2004), agregat diklasifikasikan berdasarkan proses terjadinya, proses pengolahannya dan berdasarkan ukuran butirnya.

2.3.1 Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Terjadinya

Menurut Sukirman (1999), klasifikasi agregat berdasarkan asal kejadiannya dapat dibedakan atas batuan beku (*igneous rock*), batuan sedimen dan batuan metamorf (batuan malihan).

1. Batuan beku

Batuan beku berasal dari magma yang mendingin dan membeku. Batuan beku ini dibedakan menjadi dua, yaitu:

- a. Batuan beku luar (*extrusive igneous rock*) dibentuk dari material yang keluar ke permukaan bumi saat gunung berapi meletus dan akibat pengaruh cuaca batuan ini mengalami pendinginan dan membeku. Umumnya berbutir halus seperti batu apung, andesit, basalt, obsidian dan lain-lain.
- b. Batuan beku dalam (*intrusive igneous rock*), dibentuk dari magma yang tidak dapat keluar ke permukaan bumi. Magma mengalami pendinginan dan membeku secara perlahan, bertekstur kasar dan dapat dijumpai di permukaan bumi karena proses erosi dan gerakan bumi. Batuan beku jenis ini antara lain: granit, gabbro, diorit dan lain-lain.

2. Batuan sedimen

Batuan sedimen berasal dari campuran partikel mineral, sisa-sisa hewan dan tanaman. Pada umumnya merupakan lapisan pada kulit bumi, hasil endapan di danau, laut dan sebagainya. Berdasarkan cara pembentukannya, batuan sedimen dapat dibedakan atas:

- a. Batuan sedimen yang dibentuk secara mekanik, seperti breksi, konglomerat, batu pasir dan batu lempung. Batuan jenis ini banyak mengandung silika.
- b. Batuan sedimen yang dibentuk secara organis, seperti batu bara dan opal.
- c. Batuan sedimen yang dibentuk secara kimiawi, seperti batu gamping, garam, *gift* dan *flint*.

3. Batuan metamorf

Batuan ini berasal dari batuan sedimen ataupun batuan beku yang mengalami proses perubahan bentuk akibat adanya perubahan tekanan dan temperatur kulit bumi. Berdasarkan strukturnya dapat dibedakan atas batuan metamorf yang masif seperti marmer, kwarsit dan batuan metamorf yang berlapis seperti batu sabak, filit dan sekis.

2.3.2 Klasifikasi Agregat Berdasarkan Proses Pengolahannya

Menurut Sukirman (1999), berdasarkan proses pengolahannya agregat dapat dibedakan menjadi agregat alam, agregat yang mengalami proses pengolahan dan agregat buatan.

1. Agregat alam

Agregat alam merupakan agregat yang dapat digunakan sebagaimana bentuknya di alam atau dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Bentuk partikel dari agregat alam ditentukan dari proses pembentukannya. Aliran air sungai membentuk partikel-partikel bulat dengan permukaan yang licin. Degradasi agregat di bukit-bukit membentuk partikel-partikel yang bersudut dengan permukaan yang kasar. Agregat alam yang sering digunakan yaitu pasir dan kerikil. Pasir adalah agregat dengan ukuran partikel $< 1/4$ inci tetapi lebih besar dari 0,075 mm (ayakan no. 200) sedangkan kerikil adalah agregat dengan ukuran partikel $> 1/4$ inci (6,35 mm).

2. Agregat yang melalui proses pengolahan

Di pegunungan, perbukitan atau pun sungai sering ditemui agregat yang bentuknya masih besar sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan sebagai agregat konstruksi perkerasan jalan. Agregat ini harus melalui proses pemecahan terlebih dahulu agar diperoleh:

- a. Bentuk partikel yang bersudut, diusahakan berbentuk kubus.
- b. Permukaan partikel kasar sehingga mempunyai gesekan yang baik.

c. Gradasi sesuai yang diinginkan.

Proses pemecahan agregat sebaiknya menggunakan mesin pemecah batu (*crusher stone*) sehingga ukuran partikel-partikel yang dihasilkan dapat terkontrol dan gradasi yang diharapkan dapat dicapai sesuai dengan spesifikasi yang ditetapkan.

3. Agregat buatan

Agregat buatan adalah agregat yang merupakan mineral *filler* atau pengisi (partikel dengan ukuran $< 0,075$ mm), diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen dan mesin pemecah batu.

2.3.3 Klasifikasi Agregat Berdasarkan Ukuran Butirnya

Ditinjau dari ukuran butirnya agregat dapat dibedakan atas agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*). Menurut *American Society for Testing and Material (ASTM)*:

- a. Agregat kasar, mempunyai ukuran $> 4,75$ mm (ayakan no.4).
- b. Agregat halus, mempunyai ukuran $< 4,75$ mm(ayakan no.4).
- c. *Filler* merupakan agregat halus yang lolos ayakan no. 200.

Menurut AASHTO:

- a. Agregat kasar, mempunyai ukuran > 2 mm.
- b. Agregat halus, mempunyai ukuran < 2 mm dan $> 0,075$ mm.
- c. *Filler* merupakan agregat halus yang lolos ayakan no. 200.

Menurut Departemen PU (2010) dalam Spesifikasi Campuran Beraspal Panas, agregat juga dapat diklasifikasikan sebagai berikut:

- a. Agregat kasar, agregat dengan ukuran butir lebih besar dari ayakan no. 4 (4,75 mm).
- b. Agregat halus, agregat dengan ukuran butir lebih halus dari ayakan no. 4 (4,75 mm).
- c. Bahan pengisi (*filler*), bagian dari agregat halus yang minimum 85 % lolos ayakan no.200 (0,075 mm), non-plastis, tidak mengandung bahan organik dan tidak menggumpal.

2.3.4 Sifat Agregat

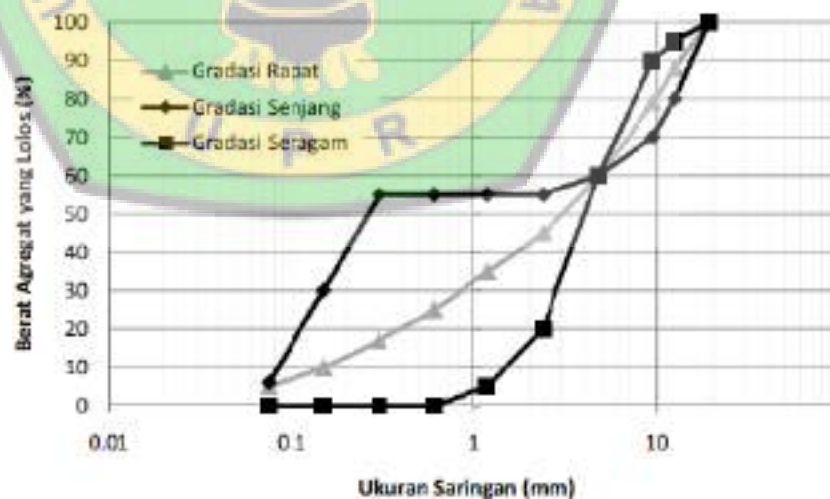
Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuan dalam memikul beban lalu lintas. Adapun sifat-sifat agregat yang perlu diperiksa antara lain Thanaya, (2012):

1. Gradasi

Gradasi/distribusi partikel-partikel ukuran agregat merupakan hal yang penting dalam menentukan stabilitas perkerasan. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga antara butir yang akan menentukan stabilitas dan kemudahan dalam proses pelaksanaan. Gradasi agregat diperoleh dari hasil analisis ayakan.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

- a. Gradasi seragam (*uniform graded*) atau gradasi terbuka adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama, mengandung sedikit agregat halus sehingga tidak dapat mengisi rongga antar agregat. Agregat dengan gradasi seragam menghasilkan lapisan perkerasan dengan sifat permeabilitas tinggi, stabilitas kurang dan berat volume kecil.
- b. Gradasi rapat (*dense graded*) atau gradasi baik (*well graded*) merupakan campuran agregat kasar dan halus dalam porsi yang berimbang. Agregat dengan gradasi rapat akan menghasilkan lapis perkerasan dengan stabilitas tinggi, kedap air dan berat volume besar.
- c. Gradasi buruk (*poorly graded*) atau gradasi senjang adalah campuran agregat dengan satu fraksi hilang atau dalam jumlah yang sedikit. Agregat bergradasi buruk yang umum digunakan yaitu gradasi celah (*gap graded*).



Gambar 2. 5 Contoh khas macam-macam gradasi agregat

Sumber: Sukirman (2007)

2. Ukuran agregat maksimum

Ukuran agregat maksimum disesuaikan dengan tebal padat perkerasan. Untuk lapis pondasi biasanya ukuran agregatnya lebih besar dari pada untuk lapis permukaan. Hal ini sudah ditentukan pada spesifikasi gradasi agregat. Campuran dengan ukuran diameter agregat > 14 mm termasuk berdiameter besar. Umumnya ukuran agregat terbesar sekitar $2/3$ tebal padat perkerasan jalan.

Aspek positif penggunaan agregat bergradasi besar antara lain:

- a. Usaha pemecahan lebih kecil.
- b. Karena luas permukaan lebih kecil, penggunaan aspal lebih efisien.
- c. Kekuatan lebih besar karena sifat *interlock* antar agregat yang berdiameter besar lebih stabil.

Aspek negatif penggunaan agregat bergradasi besar antara lain:

- a. *Workability* (kemudahan pencampuran dan pelaksanaan) berkurang.
- b. Bisa terjadi segregasi (pemisahan agregat sesuai ukuran butir).

3. Kadar lempung

Yang dipergunakan adalah agregat yang lolos ayakan ukuran 4,75 mm (no.4) dan tertahan ayakan ukuran 0,30 mm (no.50). Kadar lempung pada agregat dibatasi, maksimal 0,25%. Beberapa hal yang perlu diperhatikan adalah sebagai berikut:

- a. Lempung yang melapisi agregat dapat mengurangi ikatan antara agregat dan aspal sehingga dapat menyebabkan pengelupasan.

- b. Luas permukaan agregat menjadi lebih besar sehingga tebal lapisan aspal menipis dan mudah mengalami oksidasi yang berakibat mempercepat pengerasan aspal, sehingga aspal menjadi lebih getas.
- c. Lempung menyerap air, di mana air dapat melunakkan aspal, sehingga campuran menjadi lebih lemah dan cepat rusak.
- d. Pengujian kadar lempung untuk agregat kasar dilaksanakan dengan mencari selisih berat dari agregat kering sebelum dicuci dengan agregat kering setelah dicuci. Selisih berat ini dibagi dengan agregat kering sebelum dicuci (%) dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$P = \frac{(w-R)}{w} \times 100\% \quad (2.1)$$

Keterangan :

P = gumpalan lempung dan butir-butir mudah pecah dalam agregat

w = berat benda uji (gram)

R = berat benda uji kering oven yang tertahan pada masing-masing ukuran ayakan setelah dilakukan penyaringan basah (gram)

- Pengujian kadar lempung untuk material yang lolos ayakan no. 4 (4,75 mm) dilaksanakan dengan *Sand Equivalent Test*. Syarat nilai SE > 50% dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Nilai SE} = \frac{B}{A} \times 100\% \quad (2.2)$$

Keterangan:

A = Skala pembacaan permukaan lumpur

B = Skala pembacaan pasir

4. Daya tahan agregat

Daya tahan agregat merupakan ketahanan agregat terhadap adanya penurunan mutu akibat proses mekanis dan kimiawi. Agregat dapat mengalami degradasi, yaitu perubahan gradasi akibat pecahnya butir-butir agregat. Kehancuran agregat dapat disebabkan oleh proses mekanis, seperti gaya-gaya yang terjadi selama proses pelaksanaan jalan, pelayanan terhadap beban lalu lintas dan proses kimiawi, seperti pengaruh kelembaban, panas dan perubahan suhu sepanjang hari. Nilai keausan/degradasi > 40% : agregat kurang kuat, < 30% : untuk lapis penutup, < 40%: untuk lapis permukaan dan lapis pondasi atas (LPA), < 50%: untuk lapis pondasi bawah (LPB). Ketahanan agregat terhadap degradasi diperiksa dengan pengujian abrasi menggunakan alat abrasi *Los Angeles*, sesuai dengan SNI 2417-2008 dengan rumus perhitungan sebagai berikut:

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{a} \times 100\% \quad (2.3)$$

Keterangan:

a = berat benda uji semula, dinyatakan dalam gram,

b = berat benda uji tertahan ayakan no. 12 (1,70 mm) dinyatakan dalam gram.

Dan dengan metode *Soundness Test* dengan rumus perhitungan sesuai SNI 3407:2008 sebagai berikut:

$$X = \frac{B-C}{B} \times 100\% \quad (2.4)$$

$$Y = \frac{x}{1} \times A \quad (2.5)$$

Keterangan:

X = persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

Y = persentase bahan yang lolos saringan setelah pengujian (%)

A = persentase gradasi benda uji masing-masing fraksi (%)

B = berat benda uji awal (gram)

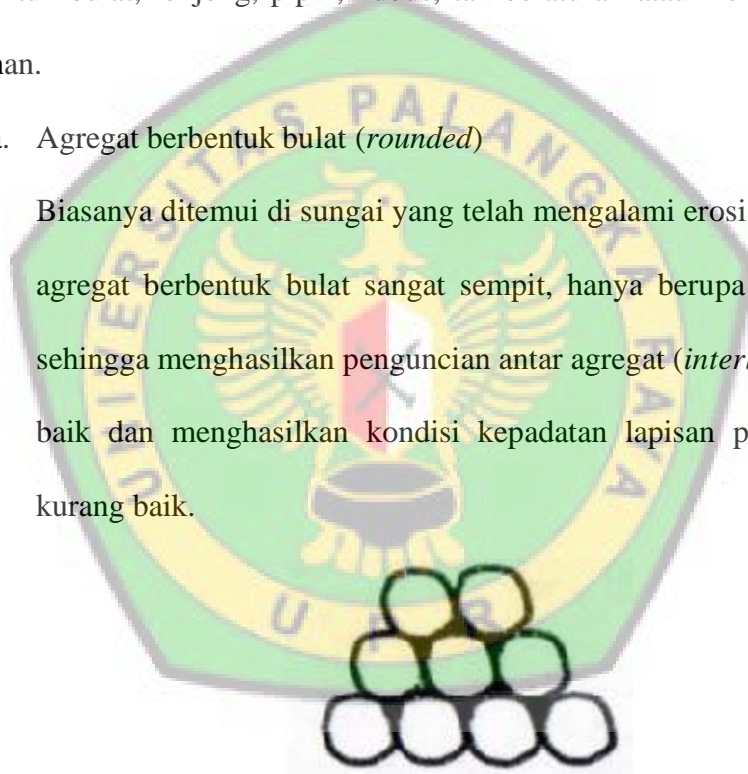
C = berat benda uji tertahan saringan setelah pengujian (gram)

5. Bentuk dan tekstur agregat

Berdasarkan bentuknya, partikel atau butir agregat dikelompokkan menjadi berbentuk bulat, lonjong, pipih, kubus, tak beraturan atau mempunyai bidang pecahan.

a. Agregat berbentuk bulat (*rounded*)

Biasanya ditemui di sungai yang telah mengalami erosi. Bidang kontak agregat berbentuk bulat sangat sempit, hanya berupa titik singgung, sehingga menghasilkan penguncian antar agregat (*interlock*) yang tidak baik dan menghasilkan kondisi kepadatan lapisan perkerasan yang kurang baik.

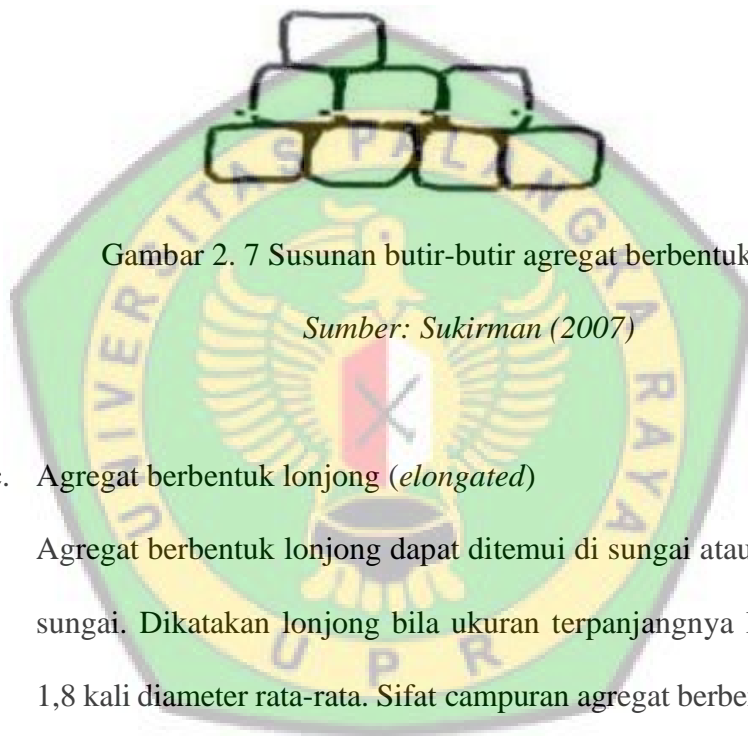


Gambar 2. 6 Susunan butir-butir agregat berbentuk bulat

Sumber: Sukirman (2007)

b. Agregat berbentuk kubus (*cubical*)

Agregat ini umumnya merupakan pecahan dari hasil pemecahan mesin pemecah batu atau hasil pemecahan batu masif. Bidang kontak agregat ini luas, sehingga mempunyai gaya mengunci yang luas. Kestabilan yang diperoleh lebih baik dan lebih tahan terhadap deformasi. Agregat ini merupakan agregat terbaik untuk dipergunakan sebagai material perkerasan jalan dibandingkan dengan agregat dengan bentuk lainnya.



Gambar 2. 7 Susunan butir-butir agregat berbentuk kubus

Sumber: Sukirman (2007)

c. Agregat berbentuk lonjong (*elongated*)

Agregat berbentuk lonjong dapat ditemui di sungai atau bekas endapan sungai. Dikatakan lonjong bila ukuran terpanjangnya lebih besar dari 1,8 kali diameter rata-rata. Sifat campuran agregat berbentuk lonjong ini hampir sama dengan agregat berbentuk bulat.

d. Agregat berbentuk pipih (*flaky*)

Agregat berbentuk pipih merupakan hasil produksi mesin pemecah batu. Agregat pipih yaitu agregat yang ketebalannya lebih tipis dari 0,6 kali diameter rata-rata.

e. Agregat berbentuk tak beraturan (*irregular*)

Agregat berbentuk tak beraturan adalah agregat yang bentuknya tidak mengikuti salah satu bentuk di atas.

Tekstur permukaan agregat dapat dibedakan atas licin, kasar atau berpori. Agregat yang bulat umumnya mempunyai permukaan yang licin dan menghasilkan daya penguncian antar agregat yang rendah dan tingkat kestabilan yang rendah. Permukaan agregat yang kasar akan memberikan kekuatan pada campuran beraspal karena kekasaran permukaan agregat dapat menahan agregat tersebut dari pergeseran atau perpindahan. Kekasaran permukaan agregat juga akan memberikan ketahanan gesek yang kuat pada roda kendaraan, sehingga akan meningkatkan keamanan kendaraan terhadap *slip*. Pada campuran SMA agregat kasar yang dipakai harus memiliki angularitas 95/90 yang berarti 95% agregat harus memiliki satu bidang pecah dan 90% memiliki bidang pecah dua atau lebih. Rumus perhitungan angularitas agregat kasar menurut SNI 03-1737-1989 adalah sebagai berikut:

$$\text{Angularitas Agregat Kasar} = (A / B) \times 100 \quad (2.6)$$

Keterangan:

A = adalah berat agregat yang mempunyai bidang pecah, dinyatakan dalam gram,

B = adalah berat total benda uji tertahan ayakan no. 4, dinyatakan dalam Gram
Sedangkan untuk agregat halus harus memiliki minimal 45% angularitas pada uji kadar rongga, adapun rumus perhitungannya menurut SNI 03- 6877-2002 sebagai berikut:

$$\frac{V - \left(\frac{W}{Gsb}\right)}{V} \times 100\% \quad (2.7)$$

Keterangan:

V = volume agregat halus dalam silinder

W = berat agregat halus

G_{sb} = berat jenis kering oven agregat halus

6. Daya lekat agregat terhadap aspal

Faktor yang mempengaruhi lekatan aspal dan agregat dapat dibedakan atas dua bagian, yaitu:

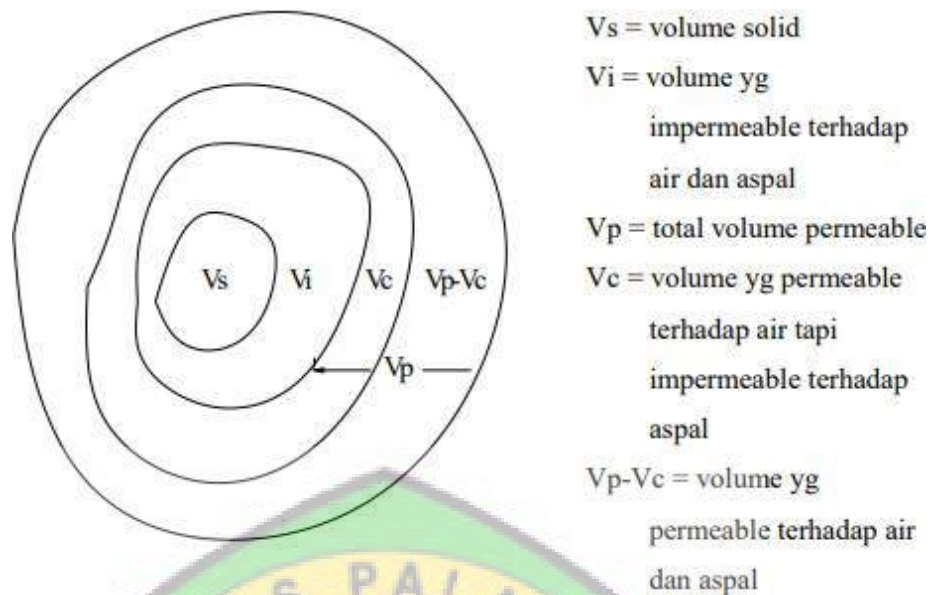
a. Sifat mekanis yang tergantung dari:

1. Pori-pori dan absorpsi
2. Bentuk dan tekstur permukaan
3. Ukuran butir agregat

b. Sifat kimiawi dari agregat

7. Berat jenis agregat

Dalam kaitan perencanaan campuran aspal, berat jenis adalah suatu rasio tanpa dimensi, yaitu rasio antara berat suatu benda terhadap berat air yang volumenya sama dengan benda tersebut. Sebagai standar dipergunakan air pada suhu 4°C karena pada suhu tersebut, air memiliki kepadatan yang stabil. Berat jenis agregat dapat digambarkan seperti gambar di bawah ini Krebs and Walker, (1971).



Gambar 2. 8 Pertimbangan volume pori agregat untuk penentuan SG

Sumber: Krebs and Walker (1971) dalam Thanaya (2008)

Ada beberapa jenis berat jenis agregat, yaitu:

- a. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*)

Berat jenis ini diasumsikan bila aspal hanya menyelimuti agregat di bagian permukaan saja, tidak meresap ke bagian agregat yang kedap air.

Volume yang diperhitungkan adalah:

$$\text{Bulk SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_p) \times \gamma_w} = \frac{W_s}{V_{tot} \times \gamma_w} \quad (2.8)$$

dimana : γ_w = berat volume air = 1 gr/cc = 1 t/m³ . Sehingga *Bulk SG* adalah rasio antara berat agregat dan berat air yang volumenya = $V_s + V_i + V_p$.

b. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)

Berat jenis ini didasarkan atas asumsi bahwa aspal meresap ke dalam agregat dengan tingkat resapan yang sama dengan air, yaitu sampai V_c atau ke dalam seluruh V_p . Karenanya volume yang dipertimbangkan adalah $V_s + V_i$

$$\text{Apparent SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i) \times \gamma_w} \quad (2.9)$$

c. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*)

Berat jenis bulk dan berat jenis semu didasarkan atas dua kondisi ekstrim. Asumsi yang realistis adalah bahwa aspal dapat meresap sampai ke $(V_p - V_c)$. Oleh karena itu, berat jenis atas asumsi ini disebut berat jenis efektif.

$$\text{Effective SG} = \frac{W_s}{(V_s + V_i + V_c) \times \gamma_w} \quad (2.10)$$

dimana :

V_p = volume pori yang dapat diresapi air

V = volume total dari agregat

V_i = volume pori yang tidak dapat diresapi air

V_s = volume partikel agregat

W_s = berat kering partikel agregat

γ_w = berat volume air

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat kasar dijelaskan dalam SNI 1969:2008 sebagai berikut:

$$1) \text{ Berat jenis bulk (bulk specific gravity)} = \frac{B_k}{(B_j - B_a)} \quad (2.11)$$

2) Berat jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*)

$$= \frac{B_j}{(B_j - B_a)} \quad (2.12)$$

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) = $\frac{B_k}{(B_k - B_a)}$ (2.13)

4) Penyerapan (absorpsi) = $\frac{(B_j - B_k)}{B_k} \times 100 \%$ (2.14)

Keterangan:

B_k = berat benda uji kering oven (gram)

B_j = berat benda uji kering permukaan jenuh (gram)

B_a = berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gram)

Sedangkan untuk agregat halus dan *filler* perhitungan menurut SNI 1970:2008 adalah sebagai berikut:

1) Berat jenis curah (*bulk specific gravity*) = $\frac{B_k}{(B + 500 - B_t)}$ (2.15)

2) Berat jenis jenuh kering permukaan (*saturated surface dry*)
= $\frac{500}{(B + 500 - B_t)}$ (2.16)

3) Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) = $\frac{B_k}{(B + B_k - B_t)}$ (2.17)

4) Penyerapan (absorpsi) = $\frac{(500 - B_k)}{B_k} \times 100\%$ (2.18)

5). Berat jenis filler = $\frac{D - A}{(B - A) - \frac{(E - D)}{dDL}}$, $dDL = \frac{(C - A)}{(B - A)}$ (2.19)

Keterangan :

DL = Dilatometric Liquid (cairan yang tidak bereaksi dengan *filler*)

dDL = kepadatan dari DL

A = Tabung/gelas dengan penutup tanpa air

B = Tabung/gelas dengan penutup berisi air

C = Tabung/gelas dengan penutup berisi *Dilatometric Liquid*

D = Tabung/gelas dengan penutup berisi air + *filler*

E = Tabung/gelas dengan penutup berisi *Dilatometric Liquid* + *filler*

Bk = berat benda uji kering oven (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

Bt = berat piknometer berisi benda uji dan air (gram)

2.3.5 Pencampuran (*Blending*) Agregat

Suatu jenis agregat mungkin saja tersedia dalam beberapa gundukan (*stock pile*). Masing-masing gundukan agregat bisa terdiri dari komposisi ukuran partikel (gradasi) tertentu. Kegiatan mencampur agregat diperlukan dalam upaya untuk memperoleh gradasi agregat yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi campuran untuk suatu jenis perkerasan jalan. Pencampuran agregat dapat dilakukan dengan beberapa cara, antara lain:

1. Cara mencoba-coba (*trial and error*)

Cara ini adalah cara pencampuran agregat dengan mencoba kemungkinan berbagai proporsi agregat kemudian mengadakan analisa ayakan yang dibandingkan dengan spesifikasi yang disyaratkan.

2. Cara analitis

Cara ini didasarkan atas penggabungan agregat dengan menggunakan rumus pendekatan. Dari rumus ini diperoleh persentase agregat kasar, agregat halus dan *filler*. Rumus yang digunakan menurut cara Bambang Ismanto (1993) adalah

$$X = \frac{S-C}{F-C} \times 100\% \quad (2.20)$$

Dimana:

X = % agregat halus

S = % titik tengah spesifikasi limit dari ayakan yang dikehendaki

F = % agregat halus lewat ayakan tertentu

C = % agregat kasar lewat ayakan tertentu

3. Cara grafis

a. Cara grafis untuk pencampuran 2 fraksi agregat

Cara ini adalah penggabungan agregat yang dilakukan dengan menggambarkan grafik hubungan antara persentase butir-butir lolos ayakan dari setiap agregat yang digunakan dengan persentase lolos ayakan spesifikasi limit.

Penentuan gradasi dari kedua fraksi agregat yang akan dicampur melalui pemeriksaan analisis ayakan. Persen lolos untuk fraksi agregat kasar digambarkan pada bagian sebelah kanan dan untuk fraksi agregat halus di bagian kiri. Garis yang menghubungkan titik tepi sebelah kanan dan kiri dari persen lolos masing-masing fraksi untuk gradasi yang sama menunjukkan garis ukuran ayakan dari persen lolos yang dimaksud. Penggabungan agregat digambarkan dengan menggunakan gambar bujur sangkar dengan ukuran (10 x 10) cm.

b. Cara grafis untuk pencampuran 3 fraksi agregat

Cara ini adalah penggabungan agregat dengan menggunakan gambar empat persegi panjang dengan ukuran (10x20) cm pada kertas milimeter. Sumbu datar digunakan untuk menunjukkan ukuran ayakan. Garis diagonal

dari empat persegi panjang menjadi garis gradasi tengah untuk spesifikasi agregat campuran yang diinginkan.

Proporsi agregat kasar ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi bawah ke gradasi fraksi agregat kasar sama dengan jarak dari tepi atas ke garis gradasi sedang. Proporsi agregat halus ditentukan dengan menarik garis vertikal sehingga jarak dari tepi bawah ke garis gradasi kasar ditambah dengan jarak dari tepi bawah ke garis gradasi sedang.

4. Mencampur secara proporsional

Untuk memperoleh proporsi agregat campuran yang diinginkan, selain dengan cara mencampur agregat dapat juga dengan cara memproporsikan agregat sesuai dengan gradasi suatu spesifikasi.

2.4 Aspal

Aspal didefinisikan sebagai material perekat berwarna hitam atau cokelat tua dengan unsur utama bitumen, pada temperatur ruang berbentuk padat, sampai agak padat dan bersifat termoplastis. Aspal yang umum digunakan saat ini berasal dari salah satu hasil proses destilasi minyak bumi. Sebagai salah satu material konstruksi perkerasan lentur, aspal merupakan salah satu komponen kecil yang umumnya 4 - 10% berdasarkan berat atau 5 - 10% berdasarkan volume.

Aspal yang digunakan pada konstruksi perkerasan jalan berfungsi sebagai
Sukirman, (1999) :

- a. Bahan pengikat, memberikan ikatan yang kuat antara aspal dan agregat serta antara aspal itu sendiri.
- b. Bahan pengisi, mengisi rongga antar butir-butir agregat dan pori-pori yang ada dari agregat itu sendiri.

2.4.1 Jenis Aspal

2.4.1.1 Berdasarkan Cara Memperolehnya

Berdasarkan cara memperolehnya, aspal dibedakan atas aspal alam dan aspal buatan dengan penjelasan sebagai berikut :

1. Aspal alam

Aspal alam merupakan campuran antara bitumen dengan bahan mineral lainnya dalam bentuk batuan. Aspal ini dapat dibedakan menjadi:

- a. Aspal gunung (*rock asphalt*), misalnya aspal dari Pulau Buton.
- b. Aspal danau (*lake asphalt*), misalnya dari Bermudez dan Trinidad.

2. Aspal buatan

- a. Aspal minyak adalah aspal yang merupakan residu destilasi minyak bumi.

Setiap minyak bumi dapat menghasilkan residu jenis *asphaltic base crude oil* yang banyak mengandung aspal, *parafin base crude oil* yang banyak mengandung parafin atau *mixed base crude oil* yang banyak mengandung campuran antara parafin dan aspal. Untuk perkerasan jalan umumnya digunakan aspal minyak jenis *asphaltic base crude oil*.

- b. Tar adalah suatu cairan yang diperoleh dari proses karbonasi (destilasi destruktif tanpa udara/oksigen) suatu material organik misalnya kayu atau batubara.

2.4.1.2 Berdasarkan Bentuknya pada Temperatur Ruang

Berdasarkan bentuknya pada temperatur ruang, aspal dibedakan atas aspal padat, aspal cair dan aspal emulsi dengan penjelasan sebagai berikut:

1. Aspal keras (*hard asphalt*)

Aspal keras adalah aspal yang digunakan dalam keadaan cair dan panas, di mana aspal ini berbentuk padat pada temperatur ruang. Aspal padat dikenal dengan nama aspal semen (*asphalt cement*). Di Indonesia aspal semen biasanya dibedakan atas penetrasinya. Pada daerah panas atau lalu lintas dengan volume tinggi dipergunakan aspal semen dengan penetrasi rendah, sedangkan untuk daerah dingin atau lalu lintas rendah dipergunakan penetrasi tinggi. Di Indonesia pada umumnya dipergunakan aspal semen dengan penetrasi 60/70 dan 80/100.

2. Aspal cair (*cutback asphalt*)

Aspal cair merupakan semen aspal yang dicairkan dengan bahan pencair dari hasil penyulingan minyak bumi seperti minyak tanah, bensin atau solar. Aspal cair yaitu aspal yang berbentuk cair pada suhu ruang. Berdasarkan bahan pencair dan kemudahan menguap bahan pelarutnya, aspal cair dapat dibedakan menjadi :

- a). *Rapid Curing Cut Back Asphalt (RC)*, merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bensin/premium. Aspal jenis ini paling cepat menguap.
- b). *Medium Curing Cut Back Asphalt (MC)*, merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti minyak tanah.
- c). *Slow Curing Cut Back Asphalt (SC)*, merupakan aspal semen yang dilarutkan dengan bahan yang lebih kental seperti solar.

2.4.2 Sifat Aspal

Aspal mempunyai sifat-sifat sebagai berikut:

- a. Daya tahan (*durability*)

Daya tahan aspal adalah kemampuan aspal mempertahankan sifat asalnya akibat pengaruh cuaca selama masa pelayanan jalan.

- b. Adhesi dan kohesi

Adhesi adalah ikatan antara aspal dan agregat pada campuran aspal beton. Sifat ini dievaluasi dengan dengan Tes Stabilitas *Marshall*. Kohesi adalah ketahanan aspal untuk tetap mempertahankan agregat tetap di tempatnya setelah terjadi pengikatan.

- c. Kepekaan terhadap temperatur

Aspal akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur menurun dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur naik dari suhu ruang. Sifat ini dinamakan termoplastis atau kepekaan terhadap perubahan temperatur.

d. Kekerasan aspal

Pada proses pencampuran aspal dipanaskan dan dicampur dengan agregat sehingga dilapisi aspal atau disiramkan ke permukaan agregat yang telah disiapkan pada proses pelaburan. Pada proses pelaksanaan terjadi oksidasi yang menyebabkan aspal menjadi getas. Peristiwa perapuhan terus berlangsung selama masa pelaksanaan. Jadi selama masa pelayanan, aspal mengalami proses oksidasi yang besar yang dipengaruhi oleh ketebalan aspal yang menyelimuti agregat. Semakin tipis lapisan aspal, semakin besar tingkat kerapuhan yang terjadi.

2.4.3 Pemeriksaan Aspal

Aspal merupakan hasil produksi dari bahan-bahan alam, sehingga sifat-sifat aspal harus diperiksa dan aspal yang memenuhi syarat yang telah ditetapkan dapat dipergunakan sebagai bahan pengikat perkerasan lentur. Pemeriksaan yang dilakukan untuk aspal keras adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan penetrasi aspal

Pemeriksaan penetrasi aspal bertujuan untuk memeriksa tingkat kekerasan aspal. Pengujian dilaksanakan pada suhu 25°C dan kedalaman penetrasi diukur setelah beban dilepaskan selama 5 detik.

2. Pemeriksaan titik lembek (*softening point test*)

Pemeriksaan titik lembek bertujuan untuk mengetahui kepekaan aspal terhadap temperatur. Suhu pada saat di mana aspal mulai menjadi lunak tidaklah sama pada setiap hasil produksi aspal walaupun mempunyai nilai

penetrasi yang sama. Titik lembek adalah suhu rata-rata (dengan beda suhu $\leq 1^\circ\text{C}$) pada saat bola baja menembus aspal karena leleh dan menyentuh plat di bawahnya (sejarak 1 inci = 25,4 mm). Pengujian dilaksanakan dengan alat *Ring and Ball Apparatus*. Manfaat dari pengujian titik lembek ini adalah digunakan untuk menentukan temperatur kelelahan dari aspal.

3. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar

Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar bertujuan untuk menentukan suhu di mana pada aspal terlihat nyala singkat di permukaan aspal (titik nyala) dan suhu pada saat terlihat nyala sekurang-kurangnya 5 detik. Titik nyala dan bakar perlu diketahui untuk memperkirakan temperatur maksimum pemanasan aspal sehingga aspal tidak terbakar.

4. Pemeriksaan kehilangan berat aspal

Pemeriksaan dilakukan bertujuan untuk mengetahui pengurangan berat akibat penguapan bahan-bahan yang mudah menguap dalam aspal. Penurunan berat menunjukkan adanya komponen aspal yang menguap yang dapat berakibat aspal mengalami pengerasan yang eksekif atau berlebihan sehingga menjadi getas (rapuh) bila pengurangan berat melebihi syarat maksimalnya. Pengujian ini dilanjutkan dengan pengujian nilai penetrasi aspal untuk mengetahui peningkatan kekerasannya (dalam

% penetrasi semula). Rumus perhitungan kehilangan berat aspal menurut SNI 06-2440-1991 adalah sebagai berikut:

$$\text{Penurunan Berat} = \frac{A-B}{A} \times 100\% \quad (2.21)$$

Keterangan:

A = berat benda uji semula

B = berat benda uji setelah pemanasan

5. Pemeriksaan daktilitas aspal

Tujuan dari pemeriksaan ini untuk mengetahui sifat kohesi dalam aspal itu sendiri yaitu dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi aspal keras sebelum putus pada suhu 25°C dan kecepatan tarik 5 cm/menit. Aspal dengan daktilitas yang lebih besar mengikat butir-butir agregat yang lebih baik tetapi lebih peka terhadap perubahan temperatur.

6. Pemeriksaan berat jenis aspal

Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu (25°C). Data berat jenis aspal digunakan untuk perhitungan dalam perencanaan dan evaluasi sifat campuran aspal beton. Berat jenis aspal dihitung dengan rumus menurut SNI 2441:2011 sebagai berikut:

$$\delta = \frac{(C-A)}{(B-A)-(D-C)} \quad (2.22)$$

Keterangan :

δ = berat jenis aspal

A = berat piknometer (dengan penutup) (gram)

B = berat piknometer berisi air (gram)

C = berat piknometer berisi aspal (gram)

D = berat piknometer berisi aspal dan air (gram)

2.4.4 Karakteristik Aspal Keras

Aspal keras dibedakan atas tingkat penetrasinya (ukuran kekentalan aspal keras), misalnya AC 40/50, AC 60/70, AC 80/100, AC 120/150, AC 200. Berikut ini disajikan persyaratan aspal keras penetrasi 60/70 seperti pada Tabel 2.5

Tabel 2. 5 Persyaratan aspal keras penetrasi 60/70

No.	Jenis Pengujian	Metode Pengujian	Aspal Pen. 60-70
1	Penetrasi pada 25°C (0,01 mm)	SNI 06-2456-1991	60-70
2	Viskositas Dinamis 60° C (Pa.s)	SNI 06-6441-2000	160 - 240
3	Viskositas Kinematis 135°C (cSt)	SNI 06-6441-2000	≥300
4	Titik lembek (°C)	SNI 06-2434-1991	≥48
5	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 06-2432-1991	≥100
6	Titik nyala (°C)	SNI 06-2433-1991	≥232
7	Kelarutan dalam <i>trichloroethylene</i> (%)	AASHTO T44-03	≥99
8	Berat jenis	SNI 06-2441-1991	≥1,0
Pengujian Residu Hasil TFOT (SNI 06-2440-1991) atau RTFOT (SNI 03-6835-2002):			
9	Berat yang hilang (%)	SNI 06-2441-1991	≤0,8
10	Viskositas Dinamis 60° C (Pa.s)	SNI 03-6441-2000	≤800
11	Penetrasi pada 25°C (%)	SNI 06-2456-1991	≥54
12	Daktilitas pada 25°C, (cm)	SNI 2432-2011	≥100

Sumber: Departemen PU (2010)

Catatan :

- Hasil pengujian adalah untuk bahan pengikat (bitumen) yang diekstraksi dengan menggunakan metode SNI 2490:2008. Sedangkan untuk pengujian kelarutan dan gradasi mineral dilaksanakan pada seluruh bahan pengikat termasuk kandungan mineralnya.
- Viskositas diuji juga pada temperatur 100°C dan 160°C untuk tipe I, untuk tipe II pada temperatur 100°C dan 170°C
- Jika untuk pengujian viskositas tidak dilakukan sesuai dengan AASHTO

T201-03 maka hasil pengujian harus dikonversikan ke satuan cSt.

2.5 Perencanaan Campuran Aspal Panas

Perencanaan suatu campuran aspal panas (*hot mix*) dilaksanakan dengan mengacu kepada spesifikasi yang ditentukan. Menurut Asphalt Institute (1995) dalam bahan ajar mata kuliah Perkerasan Jalan Jurusan Teknik Sipil Universitas Udayana dijelaskan beberapa tahapan yang harus dilaksanakan antara lain:

2.5.1 Pengujian Material

Sebelum merencanakan campuran aspal, terlebih dahulu harus dilaksanakan pengujian material: agregat kasar, agregat halus, *filler* dan aspal. Sifat-sifat material yang digunakan harus memenuhi spesifikasi yang ditentukan.

2.5.2 Penentuan Gradasi Agregat

Gradasi masing-masing jenis agregat (kasar, halus dan *filler*) mungkin saja ditentukan dalam spesifikasi suatu jenis campuran aspal panas. Demikian pula gradasi agregat gabungannya. Gradasi agregat gabungan bisa diperoleh dengan mencampur (*blending*) agregat kasar, halus dan *filler*. Teknik mencampur (*blending*) agregat dapat dilaksanakan secara analitis maupun secara grafis.

Perencanaan gradasi agregat untuk campuran aspal di laboratorium, bisa dilaksanakan tanpa memblending agregat, yaitu berdasarkan gradasi ideal (batas tengah) spesifikasi gradasi agregat gabungan yang ditentukan. Masing-masing ukuran butir agregat diperoleh dengan mengayak agregat sesuai ukuran ayakan

yang ditentukan. Kemudian proporsi agregat dicari berdasarkan kumulatif persentase lolos gradasi ideal.

Selain itu, gradasi dapat juga ditentukan dengan menggunakan rumus modifikasi Kurva Fuller:

$$P = \frac{(100-F)(d^n - 0,075^n)}{D^n - 0,075^n} + F \quad (2.23)$$

Dimana:

P = % material lolos ayakan d (mm)

D = diameter agregat maksimum (mm)

F = % *filler*

n = nilai eksponensial yang mempengaruhi kecekungan garis gradasi

2.5.3 Penentuan Proporsi Agregat

Pengelompokan agregat dalam penelitian ini sebagai agregat kasar (tertahan ayakan no. 4 = 4,75 mm) diperoleh dari hasil pengayakan. Untuk agregat halus (lolos ayakan no. 4 = 4,75 mm dan tertahan ayakan no. 200 = 0,075 mm) dapat langsung menggunakan pasir halus. Sedangkan *filler* adalah material non- plastis yang lolos ayakan no. 200 = 0,075 mm minimal 85%. *Filler* dapat berupa debu batu atau semen *portland*.

Dalam hal ini metode pencampuran agregat yang digunakan adalah mencampur secara proporsional sesuai dengan gradasi pada spesifikasinya.

2.5.4 Estimasi Kadar Aspal Awal

Untuk menentukan kadar aspal awal terdapat beberapa formula pendekatan.

Salah satunya adalah formula dari Depkimpraswil (2004):

$$P_b = 0,035 (\%CA) + 0,045 (\%FA) + 0,18 (\%FF) + K \quad (2.24)$$

dimana :

P_b = % kadar aspal awal terhadap berat total campuran %

CA = % agregat kasar (*coarse aggregate*) terhadap berat total agregat %

FA = % agregat halus (*fine aggregate*) terhadap berat total agregat %

FF = % filler terhadap berat total agregat

K = Nilai konstanta kira-kira 0,5 sampai 1,0 untuk Laston dan 2,0 sampai 3,0 untuk Lataston. Untuk jenis campuran lain digunakan nilai 1,0 sampai 2,5.

2.5.5 Penentuan Persentase Material terhadap Berat Total Campuran

Persentase proporsi agregat dihitung berdasarkan berat total agregat. Karena dalam campuran terdapat kandungan aspal, maka perlu dihitung persentase material terhadap berat total campuran. Untuk membuat sebuah sampel umumnya diperlukan sekitar 1200 gram agregat yang proporsinya sesuai dengan ukuran butir agregat. Persentase terhadap berat total campuran akan berubah sesuai dengan variasi persentase kadar aspal.

2.5.6 Perhitungan Jumlah Material Yang Dibutuhkan

Proporsi agregat kasar disesuaikan dengan persentase ukuran butirnya yang sudah dipersiapkan (diayak) terlebih dahulu. Untuk agregat halus sudah bisa langsung menggunakan pasir halus lolos 4,75 mm (ayakan no. 4) dan tertahan 0,075 mm (ayakan no. 200).

2.5.7 Pemanasan Material dan Cetakan (*Mould*)

Agregat yang sudah diproporsikan, ditempatkan dalam wadah dari metal, misalnya loyang aluminium. Demikian juga aspal ditempatkan dalam kaleng dengan ukuran yang cukup. Kemudian dipanaskan (sebaiknya) dalam oven. Ketentuan temperatur aspal untuk pemanasan, pencampuran dan pemadatan didasarkan atas rentang temperatur di mana viskositas aspal akan memberikan hasil yang optimal. Hal ini didasarkan atas hasil studi dan data-data yang sudah ada. Sebagai pedoman umum, suhu pemanasan untuk material campuran dilaksanakan sebagai berikut:

Tabel 2. 6 Suhu pemanasan untuk material campuran

No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (cSt)	Suhu Campuran (°C) Pen 60/70
1	Pencampuran benda uji <i>Marshall</i>	0,2	155±1
2	Pemadatan benda uji <i>Marshall</i>	0,4	145±1
3	Pencampuran, rentang temperatur sasaran	0,2-0,5	145-155
4	Menuangkan campuran dari alat pencampur ke dalam truk	±0,5	135-150
5	Pasokan ke alat penghampar (<i>paver</i>)	0,5-1,0	130-150
No.	Prosedur Pelaksanaan	Viskositas Aspal (cSt)	Suhu Campuran (°C) Pen 60/70

Tabel 2.6 Lanjutan

6	Penggilasan awal (roda baja)	1-2	125-145
7	Penggilasan kedua (roda karet)	2-20	100-125
8	Penggilasan akhir (roda baja)	<20	>95

Sumber: Departemen PU (2010)

Mould (cetakan sampel) dengan diameter 4 inci (101,6 mm) dan tinggi 3 inci (75 mm) dilengkapi mould tambahan dan alat pencampur (*mixer*) atau sendok pengaduk metal dan batang besi perojok/penusuk juga perlu dipanaskan (dapat dipanaskan pada temperatur sama dengan temperatur pemanasan aspal).

2.5.8 Jumlah Sampel dan Pemanasan

Untuk setiap variasi kadar aspal, idealnya dibuat minimal 3 sampel, kemudian karakteristik campuran diambil dari nilai rata-rata dua sampel yang memberikan hasil terbaik. Bila pencampuran dilaksanakan secara manual, agregat ditempatkan dalam waskom metal dan diaduk rata sebelum dipanaskan. Setelah panas (2-3 jam dalam oven) kemudian dituangi aspal sejumlah yang diperlukan, lalu diaduk dengan sendok metal serata mungkin.

Untuk mengurangi kehilangan temperatur, yang bisa berakibat agregat tidak terselimuti aspal dengan merata maka material campuran dipanaskan lagi beberapa saat (2-5 menit), kemudian diaduk kembali sampai rata.

2.5.9 Pemadatan Sampel

Sebaiknya semua peralatan dipanaskan untuk mempertahankan temperatur dan kemudahan pelaksanaan (*workability*). Pemadatan dilakukan sesuai dengan jumlah tumbukan sebagai berikut:

1. Pemadatan campuran SMA : 2 x 75
2. Berat alat tumbuk : 4,5 kg
3. Tinggi jatuh : 18" = 45,7 cm

2.5.10 Pengukuran Volumetrik Sampel

Campuran beraspal panas pada dasarnya terdiri atas aspal dan agregat. Proporsi masing-masing bahan harus dirancang sedemikian rupa agar dihasilkan aspal beton yang dapat melayani lalu lintas dan tahan terhadap pengaruh lingkungan selama masa pelayanan. Ini berarti campuran beraspal harus:

1. Mengandung cukup kadar aspal agar awet.
2. Mempunyai stabilitas yang memadai untuk menahan beban lalu lintas.
3. Mengandung cukup rongga udara (VIM) agar tersedia ruangan yang cukup untuk menampung ekspansi aspal akibat pemadatan lanjutan oleh lalu lintas dan kenaikan temperatur udara tanpa mengalami bleeding atau deformasi plastis.
4. Rongga udara yang ada juga harus dibatasi untuk membatasi permeabilitas campuran.
5. Mudah dilaksanakan sehingga campuran beraspal dapat dengan mudah dihampar dan dipadatkan sesuai dengan rencana dan memenuhi spesifikasi.

Dalam Pedoman Teknik No. 028/T/BM/1999, kinerja campuran beraspal ditentukan oleh volumetrik campuran (padat) yang terdiri atas:

1. Berat Jenis Bulk Agregat

Karena agregat total terdiri atas fraksi-fraksi agregat kasar, agregat halus dan bahan pengisi (*filler*) yang masing-masing mempunyai berat jenis yang berbeda maka berat jenis bulk (G_s) agregat total dapat dihitung sebagai berikut:

$$G_s = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_1}+\frac{P_2}{G_2}+\dots+\frac{P_n}{G_n}} \quad (2.25)$$

Keterangan:

G_s = Berat jenis bulk total agregat

P_1, P_2, P_3 = Persentase masing-masing fraksi agregat

G_1, G_2, G_3 = Berat jenis bulk masing-masing fraksi agregat

Berat jenis bulk bahan pengisi sulit ditentukan dengan teliti. Namun demikian, jika berat jenis semu (*apparent*) bahan pengisi dimasukkan, maka penyimpangan yang timbul dapat diabaikan.

2. Berat Jenis Efektif Agregat

Berat jenis efektif campuran (G_{se}), rongga dalam partikel agregat yang menyerap aspal, dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$G_s = \frac{P_1+P_2+\dots+P_n}{\frac{P_1}{G_{s1}}+\frac{P_2}{G_{s2}}+\dots+\frac{P_n}{G_{sn}}} \quad (2.26)$$

Keterangan:

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

P_1, P_2, P_3 = Presentase masing-masing fraksi agregat

G_{s1}, G_{s2}, G_{s3} = Berat jenis efektif masing-masing fraksi agregat

3. Berat Jenis Maksimum Campuran

Berat jenis maksimum campuran, G_{mm} pada masing-masing kadar aspal diperlukan untuk menghitung kadar rongga masing-masing kadar aspal. Ketelitian hasil uji terbaik adalah bila kadar aspal campuran mendekati kadar aspal optimum. Sebaiknya pengujian berat jenis maksimum dilakukan dengan benda uji sebanyak minimum dua buah (duplikat) atau tiga buah (triplikat). Selanjutnya Berat Jenis Maksimum (G_{mm}) campuran untuk masing-masing kadar aspal dapat dihitung menggunakan berat jenis efektif (G_{se}) rata-rata sebagai berikut:

$$G_m = \frac{P_m}{\frac{P_s P_b}{G_s G_b}} \quad (2.27)$$

Keterangan:

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran, rongga udara nol

P_{mm} = Persen berat total campuran (= 100)

P_s = Kadar agregat, persen terhadap berat total campuran

P_b = Kadar aspal, persen terhadap berat total campuran

G_{se} = Berat jenis efektif agregat

G_b = Berat jenis aspal

4. Penyerapan Aspal

Penyerapan aspal dinyatakan dalam persen terhadap berat agregat total, tidak terhadap berat campuran. Perhitungan penyerapan aspal (P_b) adalah sebagai berikut:

$$P_b = 100 \frac{G_s - G_s}{G_s} G_b \quad (2.28)$$

Keterangan:

P_b = Penyerapan aspal, persen total agregat

G_b = Berat jenis bulk agregat

G_s = Berat jenis efektif agregat

G_b = Berat jenis aspal

5. Kadar Aspal Efektif

Kadar aspal efektif (P_{be}) campuran beraspal adalah kadar aspal total dikurangi jumlah aspal yang terserap oleh partikel agregat. Kadar aspal efektif ini akan menyelimuti permukaan agregat bagian luar yang pada akhirnya akan menentukan kinerja perkerasan beraspal. Rumus kadar aspal efektif adalah:

$$P_{be} = P_b \frac{P_b}{100} P_s \quad (2.29)$$

Keterangan:

P_{be} = Kadar aspal efektif, persen total campuran

P_b = Kadar aspal, persen total campuran

P_b = Penyerapan aspal, persen total agregat

P_s = Kadar agregat, persen total campuran

6. Rongga di Antara Mineral Agregat (VMA)

Rongga di antara mineral agregat (VMA) adalah ruang di antara partikel agregat pada suatu perkerasan beraspal, termasuk rongga udara dan volume aspal efektif (tidak termasuk volume aspal yang diserap agregat). VMA dihitung berdasarkan Berat Jenis Bulk (G_{sb}) agregat dan dinyatakan sebagai persen volume Bulk campuran yang dipadatkan. VMA dapat dihitung pula terhadap berat campuran total atau terhadap berat agregat total (lihat rumus 2.13). Perhitungan VMA terhadap campuran total adalah dengan rumus berikut:

a. Terhadap Berat Campuran Total

$$V = 100 - \frac{G_m \times P_s}{G_s} \quad (2.30)$$

Keterangan:

VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

P_s = Kadar agregat, persen total campuran

b. Terhadap Berat Agregat Total

$$V = 100 - \frac{G_m}{G_s} \times \frac{100}{(100 + P_b)} \quad (2.31)$$

Keterangan:

VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk

G_{sb} = Berat jenis bulk agregat

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

P_b = Kadar aspal, persen total campuran

7. Rongga di Dalam Campuran (VIM)

Rongga udara dalam campuran (VIM) dalam campuran perkerasan beraspal terdiri atas ruang udara di antara partikel agregat yang terselimuti aspal. Volume rongga udara dalam persen dapat ditentukan dengan rumus berikut:

$$V = 100x \frac{G_m - G_{mb}}{G_m} \quad (2.32)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara campuran, persen total campuran

G_{mb} = Berat jenis bulk campuran padat

G_{mm} = Berat jenis maksimum campuran.



8. Rongga Terisi Aspal

Ronggi terisi aspal (VFB) adalah persen rongga yang terdapat di antara partikel agregat (VMA) yang terisi oleh aspal, tidak termasuk aspal yang diserap oleh agregat. Rumus VFB adalah sebagai berikut:

$$V = \frac{100 (V - VIM)}{V} \quad (2.33)$$

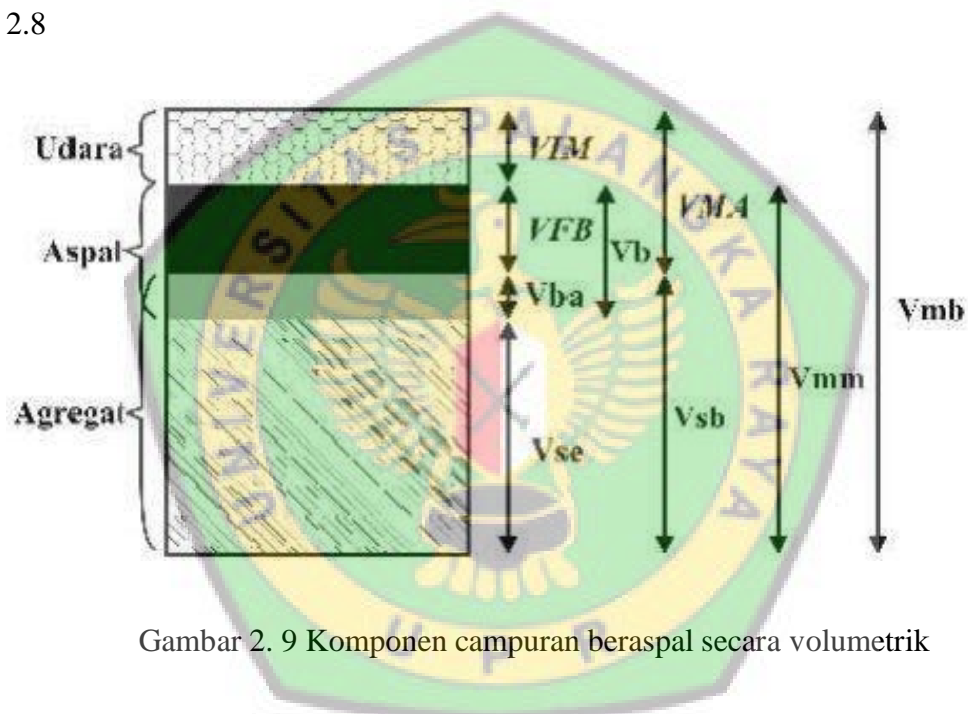
Keterangan:

VFB = Rongga terisi aspal, persen VMA

VMA = Rongga di antara mineral agregat, persen volume bulk.

VIM = Rongga di dalam campuran, persen total campuran

Gambaran volumetrik campuran beraspal seperti yang ditunjukkan pada Gambar 2.8



Gambar 2. 9 Komponen campuran beraspal secara volumetrik

Sumber: Dep. PU (1999)

V_{MA}	= Volume rongga di antara mineral agregat	V_b	= Volume aspal
V_{mb}	= Volume bulk campuran padat	V_{ba}	= Volume aspal yang diserap agregat
V_m	= Volume campuran padat tanpa rongga	V_{sb}	= Volume agregat (berdasarkan berat jenis bulk)

VFB	= Volume rongga terisi aspal	V _{se}	= Volume agregat
VIM	= Volume rongga dalam campuran		(berdasarkan berat jenis efektif)

2.5.11 Uji Stabilitas *Marshall* dan *Flow*

Kinerja campuran aspal dapat diperiksa dengan menggunakan alat pemeriksa *Marshall*. Pemeriksaan *Marshall* mengikuti prosedur RSNI M-01-2003. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan ketahanan (stabilitas) yang optimum dikaitkan dengan kategori lalu lintas (lalu lintas ringan, lalu lintas sedang, lalu lintas berat) terhadap kelelahan plastis (*flow*) dari campuran aspal dan agregat. Kelelahan plastis adalah keadaan perubahan bentuk suatu campuran yang terjadi akibat suatu beban sampai batas runtuh yang dinyatakan dalam mm atau 0,01 inci.

Alat *Marshall* merupakan alat tekan yang berbentuk silinder berdiameter 4 inci (10,2 cm) dan tinggi 2,5 inci (6,35 cm) serta dilengkapi dengan *proving ring* (cincin penguji) yang berkapasitas 22,2 KN dan *flow meter*. *Proving ring* dilengkapi dengan arloji pengukur yang berguna untuk mengukur nilai stabilitas campuran. Pembacaan arloji tekan ini dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin penguji serta angka korelasi beban pada Tabel 2.8. Angka korelasi yang tidak tersedia pada tabel akan dicari dengan cara interpolasi. Di samping itu terdapat arloji kelelahan (*flow meter*) untuk mengukur kelelahan plastis (*flow*). Selanjutnya dari perhitungan diperoleh Rongga Di Antara Agregat (VMA), Rongga Dalam Campuran Beraspal (VIM), Rongga Terisi Aspal (VFB) dan *Marshall Quotient*.

Tabel 2. 7 Konversi pembacaan *dial gauge* stabilitas ke kN untuk alat uji tekan *Marshall* model H-4454.100

kN	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> Stabilitas (0,0001")	kN	Pembacaan <i>Dial Gauge</i> Stabilitas (0,0001")
0,000	1,5	2,222	132,3
0,089	6,7	2,311	137,5
0,178	11,9	2,4	142,8
0,267	17,2	2,489	148,0
0,356	22,4	2,578	153,3
0,444	27,6	2,667	158,5
0,533	32,8	2,756	163,8
0,622	38,1	2,845	169,0
0,711	43,3	2,934	174,2
0,800	48,5	3,023	179,5
0,889	53,8	3,111	184,7
0,978	59,0	3,2	190,0
1,067	64,2	3,289	195,2
1,156	69,5	3,378	200,5
1,245	74,7	3,467	205,7
1,333	79,9	3,556	211,0
1,422	85,2	3,645	216,2
1,511	90,4	3,734	221,5
1,600	95,6	3,823	226,7
1,689	100,9	3,911	232,0
1,778	106,1	4,000	237,3
1,867	111,3	4,089	242,5
1,956	116,6	4,178	247,8
2,045	121,8	4,267	253,0
2,134	127,1	4,356	258,3

Sumber: Humboldt (2010)

Tabel 2.8 Rasio kolerasi stabilitas *Marshall*

Isi Benda Uji (cm ²)	Tebal Benda Uji (mm)	Angka Koreksi
200-213	25,4	5,56
214-225	27,0	5,00
226-237	28,6	4,55
238-250	30,2	4,17
251-264	31,8	3,85

265-276	33,3	3,57
277-289	34,9	3,33
290-301	35,5	3,03
302-316	38,1	2,78
317-328	39,7	2,50
329-340	41,3	2,27
341-353	42,9	2,08
354-367	44,4	1,92
368-379	46,0	1,79
380-392	47,6	1,67
393-405	49,2	1,56
406-420	50,8	1,47
421-431	52,4	1,39
432-443	54,0	1,32
444-456	55,6	1,25
457-470	57,2	1,19
471-482	58,7	1,14
483-495	60,3	1,09
496-508	61,9	1,04
509-522	63,5	1,00
523-535	65,1	0,96
536-546	66,7	0,93
547-559	68,3	0,89
560-573	69,9	0,86
574-585	71,4	0,83
586-598	73,0	0,81
599-610	74,6	0,78
611-625	76,2	0,76

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (2003)

2.5.12 Penentuan Kadar Aspal Optimum

Penentuan kadar aspal optimum ditentukan dengan merata-ratakan kadar aspal yang memberikan stabilitas maksimum, serta persyaratan campuran lainnya seperti VMA, VFB dan kelelehan campuran (*flow*). Kadar aspal optimum dapat ditentukan dengan menggunakan metode bar chart seperti pada Gambar 2.9. Nilai

kadar aspal optimum ditentukan sebagai nilai tengah dari rentang kadar aspal maksimum dan minimum yang memenuhi spesifikasi.

Sifat - sifat Campuran	Rentang Kadar Aspal yang Memenuhi Spesifikasi				
	4	5	6	7	8
Rongga Diantara Agregat (VFB)					
Rongga Terisi Aspal (VFB)					
Rongga Dalam Campuran (VIM)					
Stabilitas Marshall					
Kelelahan					
Marshall Qoutient					

Rentang yang Memenuhi Parameter Campuran Beraspal
 ↓
 Kadar Aspal Optimum Rencana

Gambar 2.10 Contoh penentuan kadar aspal optimum (KAO)

Sumber: Pusjatan-Balitbang PU (1989)

2.5.13 Pengujian Stabilitas Marshall Sisa

Pada Spesifikasi Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah untuk mengevaluasi keawetan campuran adalah pengujian *Marshall* perendaman di dalam air pada suhu 60°C selama 24 jam. Perbandingan stabilitas yang direndam dengan stabilitas standar, dinyatakan sebagai persen dan disebut Indeks Stabilitas Sisa dan dihitung sebagai berikut :

$$IRS = \frac{MSI}{MSS} \times 100 \quad (2.34)$$

Keterangan:

IRS = *Indeks of Retained Strength*

MSI = Stabilitas *Marshall* kondisi setelah direndam selama 24 jam dengan suhu 60°C
MSS = Stabilitas *Marshall* kondisi standar (direndam selama 30-40 menit pada suhu 60°C)

2.5.14 Pengujian Ketahanan Campuran SMA dengan Metode Cantabro

Prinsip pengujian ini adalah memasukkan benda uji hasil pemadatan Marshall ke dalam alat abrasi *Los Angeles*, dan diputar sebanyak 300 putaran. Dengan mengetahui berat awal dan berat benda uji setelah pengujian, dapat dihitung pelepasan butir yang terjadi. Pelepasan butiran disebabkan lapisan perkerasan yang kehilangan aspal atau tar pengikat dan tercabutnya partikel-partikel agregat. Kerusakan ini menunjukkan salah satu pada aspal pengikat tidak kuat untuk menahan gaya dorong roda kendaraan.

2.5.15 Pengujian Ketahanan Campuran SMA pada keadaan STOA

Campuran SMA dites durabilitasnya dengan metode STOA (*Short Term Oven Ageing*) yang memang umum dilaksanakan pada campuran aspal panas. Prinsipnya adalah mensimulasi ageing saat campuran dalam proses produksi dengan cara campuran yang sudah merata penyelimutan aspalnya dan masih gembur (belum dipadatkan) dipanaskan pada suhu 135°C selama 4 jam. Setelah itu, akan didapatkan data durabilitas campuran aspal dalam hal penuaan (ageing). Dalam pemadatan sebagian kandungan cairan ini akan termampatkan keluar, dan sebagian masih dalam sample. Kekuatan sample akan bertambah dengan terjadinya penguapan cairan sampai mencapai kekuatan maksimal.

2.6 Kajian Terhadap Penelitian Terdahulu

Penelitian terdahulu bertujuan untuk mendapatkan bahan perbandingan dan acuan. Selain itu, untuk menghindari anggapan kesamaan dengan penelitian ini. Maka dalam tinjauan pustaka ini dicantumkan hasil-hasil penelitian terdahulu sebagai berikut:

Pada tahun 2017, Fauziah dkk meneliti sejauh mana kinerja campuran Split Mastic Asphalt (SMA) dengan memanfaatkan aspal Starbit E-55 untuk menahan penurunan kinerja akibat rendaman air hujan. Disimpulkan bahwa campuran SMA yang diberikan perlakuan berupa rendaman air hujan mengalami penurunan kinerja Marshall. Nilai stabilitas dan Marshall Quotient semakin menurun, sedangkan flow semakin meningkat seiring lamanya waktu perendaman air hujan. Keawetan campuran semakin menurun seiring lamanya perendaman air hujan, tetapi sampai dengan perendaman selama 72 jam masih memiliki ketahanan yang baik terhadap air dan memiliki nilai IRS > 75%.

Pada tahun 2015, Riyanto dkk melakukan penelitian yang bertujuan untuk mengetahui pengaruh penambahan fillersemen dan lama perendaman terhadap sifat durabilitas dan nilai struktural Split Mastic Asphalt (SMA), pengujian direndam dengan air biasa dengan waktu perendaman 24 jam, 3 hari, 7 hari, 14 hari, dan 21 hari. Dari penelitian dapat disimpulkan pengujian yang menggunakan kadar variasi filler 1%, 1,5%, 2%, 2,5%, dan 3%. Kadar filler semen dapat meningkatkan Smix dan nilai struktural. Kondisi rendaman yang aman adalah rendaman sampai 7 hari.

Penelitian yang dilakukan Tahir pada tahun 2011 terhadap kinerja campuran Split Mastic Asphalt menggunakan dedak padi sebagai serat selulosa alami. Variasi kadar dedak yang digunakan 0 %, 5%, 6%, 7%, 8%, 9% dengan variasi kadar aspal. Dari penelitian yang dilakukan disimpulkan bahwa nilai stabilitas tertinggi dicapai pada kadar 5% dan kadar 7%, sedangkan nilai fleksibilitas cenderung mengalami penurunan. Nilai durabilitas dengan menggunakan dedak padi nilai stabilitas sisa cenderung meningkat sampai batas optimum. Dari kelima variasi kadar dedak padi yang digunakan kadar dedak 7% menjadi kadar dedak yang optimum sebagai bahan tambah dalam campuran Split Mastic Asphalt (SMA).

2.6.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu

Perbedaan penelitian terdahulu dapat dilihat pada Tabel 2.9 berikut.

Tabel 2.9 Perbandingan penelitian terdahulu

No	Aspek	Peneliti		
		Riyanto, dkk. (2015)	Tahir (2011)	Fauziah, dkk. (2017)
1	Judul	Pengaruh Penambahan Filler Semen dan Lama Perendaman terhadap Sifat Durabilitas dan Nilai Struktural Split Mastic Asphalt (SMA)	Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) Yang Menggunakan Serat Selulosa Alami Dedak Padi	Kinerja Campuran Split Mastic Asphalt (SMA) 0/11 dengan Filler Abu Sekam Padi Akibat Lama Rendaman Air Lau
2	Jenis Campuran	Split Mastic Asphalt	Split Mastic Asphalt	Split Mastic Asphalt
3	Jenis Aspal	Pen 60/70	Pen 60/70	Starbit E-55, Pen 60/70
4	Filler	Semen	Debu Batu	Debu Batu

5	Perendaman	Pengujian direndam dengan air biasa dengan waktu perendaman 24 jam, 3, 7, 14, 21 har	-	-
6	Pengujian	Mashall, Nilai Durabilitas, Nilai Struktural.	Nilai Marshall dan Durabilitas	Marshall, IRS
7	Serat Selulosa	Roadcell-50	Dedak Padi	Roadcell-50
8	Simulasi Keadaan	Direndam menggunakan air tawar dengan variasi waktu rendaman	Tidak menggunakan variasi rendaman	Direndam menggunakan air hujan dengan variasi rendaman
9	Hasil	Kadar filler semen dapat meningkatkan nilai Smix dan nilai struktural. Kondisi rendaman yang aman adalah rendaman sampai 7 hari.	Dari kelima variasi kadar dedak padi yang digunakan kadar dedak 7% menjadi kadar dedak yang optimum sebagai bahan tambah dalam campuran SMA	Nilai Marshall dan IRS mengalami penurunan seiring bertambahnya waktu perendaman sedangkan flow semakin meningkat

Sumber : Riyanto, dkk. (2015), Tahir (2011), Fauziah, dkk. (2017)

2.6.2 Hasil Persamaan dan Perbedaan Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah perbedaan dan persamaan penelitian penulis dan penelitian terdahulu.

1. Riyanto (2015) melakukan penelitian campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) menggunakan semen sebagai filler dan air biasa untuk melakukan perendaman aspal. Penelitian yang dilakukan menggunakan abu sekam padi sebagai filler dan air laut untuk melakukan penelitian
2. Pengujian yang dilakukan Tahir (2011) campuran SMA menggunakan dedak padi sebagai serat selulosa untuk meninjau nilai *Marshall* dan durabilitas aspal.

Penelitian yang dilakukan sama-sama menggunakan campuran SMA dan dedak padi.

3. Fauziah dkk (2017) melakukan penelitian campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) menggunakan rendaman air hujan. Sedangkan penelitian yang dilakukan menggunakan air laut untuk melakukan perendaman.



BAB III

METODE PENELITIAN

3.1 Umum

Penelitian ini menggunakan metode uji laboratorium, yaitu untuk menganalisis penggunaan *Split Mastic Asphalt* sebagai lapisan *Wearing Course*. Dalam penelitian di laboratorium diadakan pengamatan dan pemeriksaan terhadap proporsi campuran *Split Mastic Asphalt* yang memenuhi spesifikasi. Data yang dihasilkan digunakan untuk perancangan campuran, selanjutnya dibuat benda uji (briket) untuk dilakukan uji Marshall sehingga diketahui karakteristik campuran tersebut. Tahapan penelitian dapat dilihat pada Gambar 3.1.

3.2 Pengambilan Material

Pengambilan Material berupa agregat kasar ex Hampangan pada *stockfile* yang berada di Kabupaten Katingan dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut.

3.3 Pengambilan Data Sampel

Pengambilan data dalam penelitian ini dilakukan dengan membuat benda uji (briket) sebanyak 30 buah. Benda uji tersebut dibagi dalam 2 percobaan. Percobaan pertama dibuat 15 benda uji yang terdiri dari 1 macam komposisi terbaik yang mendekati spesifikasi dengan 5 variasi kadar aspal. Tiap variasi kadar aspal dibuat 3 buah benda uji yang kemudian hasilnya dirata-ratakan untuk kemudian didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO). Percobaan kedua, Kadar Aspal

Optimum (KAO) yang didapat pada percobaan pertama digunakan sebagai kadar aspal untuk memuat 15 buah benda uji, yang terdiri dari 5 variasi persentase terhadap berat aspal yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), yaitu sebagai bahan persentase 6%, 6,5%, 7%, 7,5% dan 8%. Tiap variasi persentase dibuat 3 buah benda uji. Pembuatan dan pengujian benda uji ini dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.4 Bahan Penelitian

Bahan yang digunakan dalam penelitian ini meliputi :

1. Pengambilan Material berupa agregat kasar pada ex Hampangen *stockfile* yang berada di di Kabupaten Katingan dan Pengambilan Material agregat halus dari Tangkiling, Kecamatan Bukit Batu bertepatan di Km. 25 Jalan Tjilik Riwut.
2. Aspal yang digunakan sebagai bahan pengikat dalam penelitian ini adalah aspal keras dengan penetrasi 60/70.
3. Serat Selulosa menggunakan serat kayu (serbuk gergaji)

3.5 Alat-Alat Penelitian

3.5.1 Alat Untuk Mengukur Sifat Fisik Agregat

- a. Pemeriksaan Gradasi Agregat

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan dengan ketelitian 0,2% dan benda uji, berguna untuk menimbang bahan.

- 2) Satu set saringan meliputi saringan dengan ukuran 19 mm (3/4”), 12,5 mm (1/2”), 9,5 mm (3/8”), No.4, No.8, No.30, No.50, No.200.
- 3) Oven, mesin pengguncang saringan, *stopwatch*, talam-talam, kuas, sikat, sendok, dan alat-alat lainnya.

b. Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

1) Berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a) Keranjang yang berukuran 3,35 mm atau 2,36 mm (No.6 atau No.8) dengan kapasitas kira-kira 5 Kg. Keranjang berguna untuk meletakkan sampel dan tempat pengayak dari sisa air.
- b) Tempat air dengan kapasitas dan bentuk yang sesuai untuk pemeriksaan, berguna untuk merendam benda uji.
- c) Timbangan dengan kapasitas 5 kg dan dilengkapi dengan alat penggantung keranjang. Berguna untuk menimbang bahan yang akan diuji.
- d) Oven yang dilengkapi dengan pengatur suhu sampai $(110 \pm 5)^{\circ}\text{C}$, alat pemisah contoh dan saringan No.8.

2) Berat Jenis dan Penyerapan Agregat Halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat halus adalah sebagai berikut :

- a) Timbangan dengan kapasitas 1 kg atau lebih, piknometer dengan kapasitas 500 ml, kerucut terpancung dengan diameter (90 ± 3) mm.

Peralatan yang digunakan diatas berguna untuk pemeriksaan jenis. Timbangan untuk menimbang bahan, piknometer untuk mengukur massa jenis atau densitas fluida dan kerucut terpancung untuk mengisi benda uji.

- b) Batang penumbuk yang mempunyai bidang penumbuk rata, berat (340 ± 1) kg dengan diameter permukaan penumbukan (25 ± 3) mm. Berguna untuk memadatkan benda uji yang dimasukan ke dalam kerucut terpancung.
- c) Saringan No.8, talam, bejana tempat air, oven pengukur suhu, tungku pemanas (*hot plate*), *stopwatch*, dan lap bersih.

c. Pengujian Keausan Agregat Kasar

Peralatan yang digunakan dalam pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- 1) Mesin Los Angeles dan bola-bola dengan diameter rata-rata 4,68 cm dan berat masing-masing antara 400 gram sampai dengan 440 gram sebanyak 11 buah. Bertujuan untuk mengetahui angka keausan yang dinyatakan dengan perbandingan antara berat bahan aus lolos saringan No.12 terhadap berat semula dalam persen.
- 2) Saringan No.12 dan saringan-saringan lainnya. Berguna untuk menyaring bahan sesuai dengan ketentuan lolos saringan.
- 3) Timbangan dan oven dengan pengaturan suhu. Berguna untuk menimbang bahan dan oven berguna sebagai pengering benda uji sampai suhu yang sudah ditentukan.

d. Pemeriksaan Kadar Lempung pada Agregat Halus

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan kadar lempung pada agregat halus sebagai berikut :

- 1) Tabung *sand equivalent*, beban *equivalent* dan larutan standar. Berguna untuk mengetahui kadar lempung yaitu dengan memasukan bahan kedalam tabung *sand equivalent* kemudian dimasukkan larutan standar.
- 2) Talam, saringan No.8, sumbut karet gabus, corong dan *stopwatch*. Talam berfungsi sebagai tempat menaruh sampel, saringan No.8, karet gabus berfungsi sebagai penutup tabung *sand equivalent* ketika dikocok dan *stopwatch* berfungsi sebagai pengukur waktu ketika tabung *sand equivalent* dikocok.

3.5.2 Alat Pembuatan dan Pemeriksaan Benda Uji

a. Pembuatan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

- 1) Sejumlah cetakan benda uji berbentuk silinder yang berdiameter 10 cm (4") dan tinggi 7,5 cm (3") lengkap dengan pelat atas dan leher sambung. Berfungsi untuk cetakan benda uji dan pelat alas sebagai alas benda uji.
- 2) Alat pengukur benda.

- 3) Penumbuk yang memiliki permukaan tumbuk rata berbentuk silinder dengan berat 4,536 kg dan tinggi jatuh benda 45,7 cm. Berfungsi menumbuk benda uji dengan ketinggian yang telah ditentukan.
- 4) Landasan pematat terdiri dari balok kayu yang dilapisi dengan pelat baja.
- 5) Oven dengan pengatur suhu, kompor, timbangan, wajan, talam-talam, sendok pengaduk, *thermometer*, kertas saring dan sarung tangan.

b. Pemeriksaan Benda Uji

Peralatan yang digunakan dalam pemeriksaan benda uji adalah sebagai berikut :

- 1) Timbangan yang dilengkapi dengan keranjang penggantung berkapasitas 5 kg. Berguna untuk menimbang benda uji.
- 2) Bak perendam (*water bath*), yang dilengkapi dengan pengatur suhu. Berguna untuk tempat merendam benda uji.
- 3) Alat Marshall yang dilengkapi dengan :
 - a. Kepala penekan (*breaking head*) berbentuk lengkung. Berguna untuk menekan benda uji agar diketahui nilai tekannya.
 - b. Cincin penguji (*proving ring*) berkapasitas 2.500 kg atau 5.000 *pound* dilengkapi dengan arloji (dial) tekan dengan ketelitian 0,0025 mm. Digunakan untuk mengukur nilai stabilitas.
 - c. Arloji pengukur kelelahan (*flow*) dengan ketelitian 0,25 beserta kelengkapannya. Berguna untuk mengukur tingkat kelelahan benda uji.

4) Alat uji *Cantabro*

Cantabro Tes menggunakan alat mesin abrasi Los Angeles tanpa bola baja dan alat timbang dengan ketelitian 0,1 gr.

3.6 Waktu dan Tempat Penelitian

Penelitian ini dimulai selama \pm 2 bulan bertempat di Laboratorium Jalan Raya Fakultas Teknik Universitas Palangka Raya.

3.7 Cara Penelitian

3.7.1 Pemeriksaan Sifat-sifat Fisik Agregat

Pemeriksaan sifat-sifat fisik agregat halus dilakukan pada suatu perencanaan campuran yang akan dipergunakan pada lapisan perkerasaan. Agregat dapat digunakan untuk bahan perkerasaan, apabila telah melalui pemeriksaan dan memenuhi persyaratan spesifikasi yang telah ditetapkan.

Pemeriksaan terhadap agregat tersebut dilakukan untuk memperoleh data yang akan digunakan pada perencanaan campuran, data yang diperlukan dalam perencanaan campuran meliputi : data gradasi agregat, berat jenis dan penyerapan agregat, keausan agregat dan kadar lempung yang terkandung dalam agregat.

3.7.2 Pemeriksaan Gradasi Agregat

Pada metode pemeriksaan gradasi agregat kasar maupun halus menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1968-1190. Peralatan yang digunakan adalah : timbangan, satu set saringan, oven, alat pemisah contoh, mesin pengguncang saringan, *stopwatch*, talam, kuas sikat, sendok dan lain-lain.

Adapun langkah-langkah pemeriksaan gradasi agregat adalah sebagai berikut :

- a. Sampel dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C sampai berat tetap.
- b. Sampel ditimbang sesuai kebutuhan (masing-masing 1 kg untuk agregat kasar dan halus).
- c. Sampel dicuci sampai bersih, kemudian air dibuang secara hati-hati diatas saringan No.200, agregat yang tertahan pada saringan dikembalikan pada wadah pencucian.
- d. Sampel dikeringkan sampai berat tetap dalam oven dengan suhu 110°C.
- e. Saring sampel lewat satu set saringan. Saringan dengan nomor saringan paling besar ditempatkan paling atas. Saringan diguncang dengan mesin pengguncang saringan selama 15 menit.
- f. Sampel yang tertahan pada setiap nomor saringan masing-masing ditimbang dan selanjutnya dilakukan perhitungan persentase berat sampel pada masing-masing saringan terhadap berat total sampel setelah disaring.

3.7.3 Pemeriksaan Berat Jenis dan Penyerapan Agregat

Dalam pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat dibagi atas :

- a. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat kasar

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1969-1190. Pemeriksaan ini dilakukan dengan maksud untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering dipermukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, berat jenis semu

(*apparent*) dan penyerapan agregat kasar. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan ukuran 1” dan tertahan saringan No. 8.

Adapun prosedur pelaksanaan dan pemeriksaan ini adalah sebagai berikut :

- 1) Timbang sampel kering oven seberat 5 kg.
- 2) Cuci sampel sampai bersih dengan hati-hati supaya tidak ada yang terbuang.
- 3) Keringkan sampel dalam oven dengan suhu $\pm 110^{\circ}\text{C}$ selama ± 24 jam.
- 4) Keluarkan sampel dan dinginkan selama 1-3 jam pada suhu ruangan, kemudian timbang dan catat beratnya sebagai (Bk).
- 5) Rendam sampel dalam air selama ± 24 jam.
- 6) Keluarkan sampel dari dalam air, kemudian keringkan sampel sampai kering permukaan jenuh.
- 7) Timbang sampel kering permukaan jenuh dan catat beratnya sebagai (Bj).
- 8) Timbang sampel dalam air dan catat beratnya sebagai (Ba).

Perhitungan berat jenis dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut ini :

$$\text{Bj. Kering Oven (Bulk)} = \frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (3.1)$$

$$\text{Bj. Kering Permukaan (SSD)} = \frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (3.2)$$

$$\text{Bj. Semu (Apparent)} = \frac{Bk}{Bk - Ba} \quad (3.3)$$

$$\text{Penyerapan agregat} = \frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.4)$$

b. Pemeriksaan berat jenis dan penyerapan agregat

Pada metode pemeriksaan berat jenis dan penyerapan air agregat kasar menggunakan standar pemeriksaan yaitu SNI 03-1970-1190. Pemeriksaan ini dimaksudkan untuk menentukan berat jenis kering oven (*bulk*), berat jenis kering permukaan jenuh atau *Saturated Surface Dry (SSD)*, berat jenis semu (*apparent*) dan penyerapan air agregat halus. Sampel yang digunakan dalam pemeriksaan ini adalah agregat yang lolos saringan No.8.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

- 1) Timbang sampel kering oven sebanyak 1 kg.
- 2) Rendam sampel dalam air selama 24 jam.
- 3) Buang air perendam dengan hati-hati supaya butiran tidak ada yang hilang.
- 4) Hamparkan sampel di atas talam, keringkan di udara panas dengan cara membolak-balik sampel. Lakukan pengeringan sampai terjadi keadaan kering permukaan jenuh.
- 5) Periksa sampel pada keadaan kering permukaan jenuh dengan mengisikan sampel ke dalam kerucut terpancung dalam tiga lapis dan padatkan 25 tumbukan.
- 6) Angkat kerucut terpancung, keadaan kering permukaan jenuh tercapai bila sampel mengalami keruntuhan akan tetapi masih dalam keadaan tercetak.
- 7) Timbang sampel seberat 500 gram dan masukan ke dalam piknometer.
- 8) Isi piknometer dengan air suling sampai sampel terendam seluruhnya.

- 9) Letakkan piknometer di atas pelat pemanas (*hot plate*) kemudian didihkan selama 10 menit untuk mengeluarkan udara yang terserap di dalam sampel.
- 10) Dinginkan piknometer yang berisi sampel dan rendam piknometer dalam air dengan suhu 25°C sampai suhu dalam piknometer menunjukkan 25°C.
- 11) Tambahkan air suling sampai tanda batas kalibrasi dan keringkan bagian luar piknometer dengan lap bersih, kemudian timbang piknometer yang berisi sampel dan air suling (Bt).
- 12) Keluarkan sampel dan keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- 13) Keluarkan sampel dalam oven, dinginkan kemudian timbang (Bk).
- 14) Isi piknometer dengan air suling sampai batas kalibrasi dan timbang (B).

Perhitungan berat jenis dan penyerapan agregat halus dapat dilakukan dengan menggunakan rumus berikut :

$$B_j. \text{ Kering Oven (bulk)} = \frac{Bk}{B+500-Bt} \quad (3.5)$$

$$B_j. \text{ Kering Permukaan (SSD)} = \frac{500}{B+500-Bt} \quad (3.6)$$

$$B_j. \text{ Semu (apparent)} = \frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (3.7)$$

$$\text{Penyerapan Agregat} = \frac{500-Bk}{Bk} \times 100\% \quad (3.8)$$

3.7.4 Pengujian Keausan Agregat Kasar

Pada metode pengujian keausan agregat kasar menggunakan standar pengujian yaitu SNI 03-2417-1991.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian keausan agregat kasar adalah sebagai berikut :

- a. Timbang sampel secukupnya kemudian dicuci sampai bersih.
- b. Keringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- c. Timbang sampel sesuai gradasi atau spesifikasi yang digunakan.
- d. Masukkan sampel ke dalam mesin Los Angeles.
- e. Masukkan bola-bola baja sesuai dengan spesifikasi yang digunakan.
- f. Putar mesin Los Angeles dengan jumlah putaran 500 kali.
- g. Keluarkan sampel dengan molen, kemudian saring dengan saringan No. 12.
- h. Material yang lolos saringan No. 12 dibuang, sedangkan material yang tertahan saringan No. 12 langsung dicuci sampai bersih, kemudian dikeringkan dalam oven dengan suhu 110°C selama 24 jam.
- i. Keluarkan sampel dari dalam oven dan dinginkan pada suhu ruang, kemudian ditimbang.

Dari hasil percobaan ini, nilai keausan agregat kasar dapat ditentukan dengan menggunakan rumus :

$$\text{Keausan} = \frac{a-b}{A} \times 100 \% \quad (3.9)$$

Keterangan :

a = berat total sampel semula (5000 gram)

b = berat sampel yang tertahan saringan No. 12

3.7.5 Pemeriksaan Kadar Lempung Agregat Halus

Pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan kadar lempung yang dikandung oleh agregat yang lolos saringan No. 8, sesuai dengan prosedur AASHTO T.176-73 (1982), dengan menggunakan tabung *sand equivalent*.

Adapun prosedur pelaksanaan pengujian adalah sebagai berikut :

- a. Ambil sampel (pasir) sebanyak 85 ml kemudian keringkan di dalam oven dengan suhu 110°C dan dinginkan pada suhu ruang.
- b. Isi tabung *sand equivalent* dengan larutan standar setinggi 5 strip (skala tabung *sand equivalent*), kemudian masukkan sampel ke dalam tabung *sand equivalent*, ketuk-ketuk beberapa saat kemudian diamkan selama 10 menit.
- c. Tutup tabung *sand equivalent* dengan penutup karet atau kayu gabus, kemudian dimiringkan sampai arah hamper mendatar dan kocok sebanyak 90 gerakan sejauh 200 mm pada arah mendatar.
- d. Masukkan lagi larutan standar melalui selang ke dalam tabung sampai setinggi skala 15, kemudian diamkan selama 20 menit.
- e. Baca skala pembacaan lumpur.
- f. Masukkan beban *sand equivalent* secara perlahan-lahan sampai beban tersebut berhenti.
- g. Baca skala setelah pembebanan.

Perhitungan untuk nilai *sand equivalent* dapat dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut :

$$\text{Nilai sand equivalent} = \frac{\text{Skala Pasir}}{\text{Skala Lempung}} \times 100 \% \quad (3.10)$$

3.8 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan campuran menggunakan metode Marshall yang bertitik tolak pada stabilitas yang dihasilkan. Oleh karena itu yang menjadi dasar dari perencanaan ini adalah gradasi agregat campuran. Kadar optimum ditentukan dengan melakukan pemeriksaan Marshall di Laboratorium terhadap beberapa benda uji dengan membuat variasi kadar aspal sedangkan proporsi gradasi tetap.

Perencanaan campuran agregat dapat dilakukan dengan menggunakan cara grafik atau analitis. Rumus dasar pencampuran adalah :

$$P = Aa + Bb + Cc + Dd \quad (3.11)$$

Keterangan :

A, B, C, D = Persen material lolos saringan X dari kombinasi A, B, C, D

a, b, c, d = Proporsi Agregat A, B, C, D dalam campuran

$$a + b + c + d = 1$$

Adapun urutan perencanaan campuran pada penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Penentuan proporsi komposisi campuran terhadap total agregat.
2. Dari hasil perhitungan proporsi/komposisi campuran, selanjutnya dilakukan dengan variasi kadar aspal (5 variasi kadar aspal) yaitu berdasarkan kadar aspal yang telah ditentukan pada spesifikasi teknis.
3. Membuat benda uji (briket) untuk setiap campuran (untuk 1 variasi kadar aspal dibuat 3 buah briket) dengan cara dicetak dan ditumbuk dengan alat khusus.

4. Pemeriksaan benda uji meliputi : keadaan campuran, berat isi campuran, besarnya pori/rongga dalam campuran (*Voids in mixture atau VIM*), besarnya pori/rongga yang terdapat diantara partikel agregat (*Void in the mineral aggregate atau VMA*). Kekuatan (*stability*) campuran dan besarnya kelelahan (*flow*).

3.8.1 Penentuan Proporsi Campuran terhadap Total Agregat

Data hasil pemeriksaan gradasi agregat yang dilakukan dengan menggunakan analisa saringan akan digunakan untuk merencanakan komposisi campuran agregat yang memenuhi persyaratan.

Dalam penelitian ini, ada dua cara perhitungan yang digunakan dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, yaitu :

- a. Cara Diagonal, yaitu berupa perhitungan secara grafis dengan bantuan diagonal untuk menentukan komposisi campuran.
- b. Cara Coba-coba (*Trial and Error*), yaitu secara analitis dengan cara memperkirakan komposisi campuran yang selanjutnya dihitung kombinasi gradasi dari agregat campuran. Apabila kombinasi gradasi masuk pada spesifikasi yang telah ditentukan, maka komposisi yang dicoba dapat digunakan untuk proporsi/komposisi campuran yang akan diteliti.

Dalam menentukan proporsi/komposisi campuran, perhitungan awal dilakukan dengan menggunakan cara diagonal. Selanjutnya dari hasil komposisi yang didapat tersebut dikontrol kembali dengan menggunakan cara *Trial and Error*.

Hal ini dilakukan adalah untuk melihat proporsi/komposisi gradasi gabungan agregat apakah masuk ke dalam spesifikasi yang telah ditetapkan atau tidak.

3.8.2 Pembuatan Benda Uji

Adapun prosedur pembuatan benda uji adalah sebagai berikut :

a. Benda Uji dan Kadar Aspal Awal

Menyiapkan benda uji Marshall pada kadar aspal sebagai berikut :

- 1) Kadar Aspal (Pb) – 1,0 %
- 2) Kadar Aspal (Pb) – 0,5 %
- 3) Kadar Aspal (Pb)
- 4) Kadar Aspal (Pb) + 0,5 %
- 5) Kadar Aspal (Pb) + 1,0 %

Dimana nilai Pb dapat dicari dengan menggunakan rumus 2.1, dan setiap variasi kadar aspal rencana di atas dibuat 3 (tiga) buah benda uji (briket) yang digunakan untuk penentuan Kadar Aspal Optimum (KAO).

Tabel 3.1 Pembuatan Benda Uji untuk Penentuan Kadar Aspal Optimum

Kadar Aspal	Jumlah Benda Uji	Keterangan
Pb – 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi SMA + kadar aspal Pb – 1,0 (%)
Pb – 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi SMA + kadar aspal Pb – 0,5 (%)
Pb (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi SMA + kadar aspal Pb (%)
Pb + 0,5 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi SMA + kadar aspal Pb + 0,5 (%)
Pb + 1,0 (%)	3 buah	Campuran agregat spesifikasi SMA + kadar aspal Pb + 1,0 (%)
Jumlah		15 Buah

- b. Pencampuran bahan dilakukan secara manual dengan diaduk di atas wajan yang dipanaskan. Dilanjutkan proses pemadatan standar terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan (satu sisi atas dan satu sisi bawah) dengan suhu pemadatan $(140 \pm 15)^{\circ}\text{C}$. Benda uji dibuat berbentuk silinder dengan tinggi standar $\pm 6,25$ cm dan diameter $\pm 20,16$ cm. Diamkan benda uji selama 24 jam pada suhu ruangan.
- c. Dari pembuatan benda uji dengan kadar aspal awal sesuai perhitungan Pb didapatkan nilai kadar aspal dan nilai *VIM (Void In Mix)*. Setelah itu dilanjutkan dengan uji Marshall sehingga didapatkan nilai Kadar Aspal Optimum (KAO).

3.8.3 Pemeriksaan Benda Uji (Tes Marshall)

Pemeriksaan benda uji dengan tes Marshall dilakukan untuk mengetahui karakteristik campuran agregat dan variasi kadar aspal. Adapun urutan pelaksanaan tes Marshall adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan Pengujian
 - 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
 - 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara.
 - 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
 - 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbanglah benda uji tersebut untuk mendapatkan berat dalam air.

- 5) Selanjutnya benda uji diangkat dan dilap, kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat dalam keadaan kering permukaan jenuh.

b. Pelaksanaan Pengujian

- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.
- 2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.
- 3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan segera letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan. Perlu diketahui bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji sampai tercapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 menit.
- 4) Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
- 5) Pasang arloji pengukur kelelahan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- 6) Naikan kepala penekan beserta benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebanan maksimum tercapai.
- 7) Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai.

- 8) Catat angka pembacaan pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan angka pembacaan kelelahan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.
- 9) Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dari alas Marshall.
- 10) Selanjutnya nilai pembacaan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dalam tabel perhitungan tes Marshall.

3.8.4 Pemeriksaan Benda Uji (Tes Cantabro)

Pemeriksaan benda uji dengan tes Cantabro dilakukan untuk mengetahui ketahanan campuran agregat dan variasi kadar aspal. Adapun urutan pelaksanaan tes Cantabro adalah sebagai berikut :

- a. Persiapan Pengujian
 - 1) Bersihkan benda uji dari kotoran yang menempel.
 - 2) Timbanglah benda uji yang sebelumnya dibiarkan selama 24 jam untuk mendapatkan berat kering di udara.
 - 3) Rendam benda uji dalam air pada suhu ruang selama 24 jam.
 - 4) Setelah direndam selama 24 jam, timbang benda uji tersebut untuk mendapatkan berat dalam air.
 - 5) Selanjutnya benda uji diangkat dan dilap, kemudian ditimbang untuk mendapatkan berat dalam keadaan kering permukaan jenuh.

b. Pelaksanaan Pengujian

- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 15 menit.
- 2) Sebelum pengujian bola baja dikeluarkan terlebih dahulu dari dalam mesin *Los Angeles*.
- 3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan diamkan sejekan, kemudian dilap setelah itu ditimbang untuk mendapatkan berat sebelum abrasi.
- 4) Masukkan benda uji kedalam mesin *Los Angeles*, kemudian diputar sebanyak 300 putaran.
- 5) Keluarkan benda uji dari dalam mesin *Los Angeles*, kemudian timbang benda uji untuk mendapatkan berat setelah abrasi.

3.8.5 Pemeriksaan Benda Uji (Tes STOA)

Pemeriksaan benda uji dengan tes STOA dilakukan untuk mengetahui ketahanan campuran agregat dan variasi kadar aspal. Adapun urutan pelaksanaan tes STOA adalah sebagai berikut :

a. Persiapan Pengujian

- 1) Pencampuran bahan dilakukan secara manual dengan diaduk di atas wajan yang dipanaskan.
- 2) Benda uji yang sudah merata pencampurannya kemudian dimasukkan kedalam oven dengan suhu 135°C selama 4 jam.
- 3) Selanjutnya benda uji di keluarkan dari dalam oven kemudian catat durabilitasnya

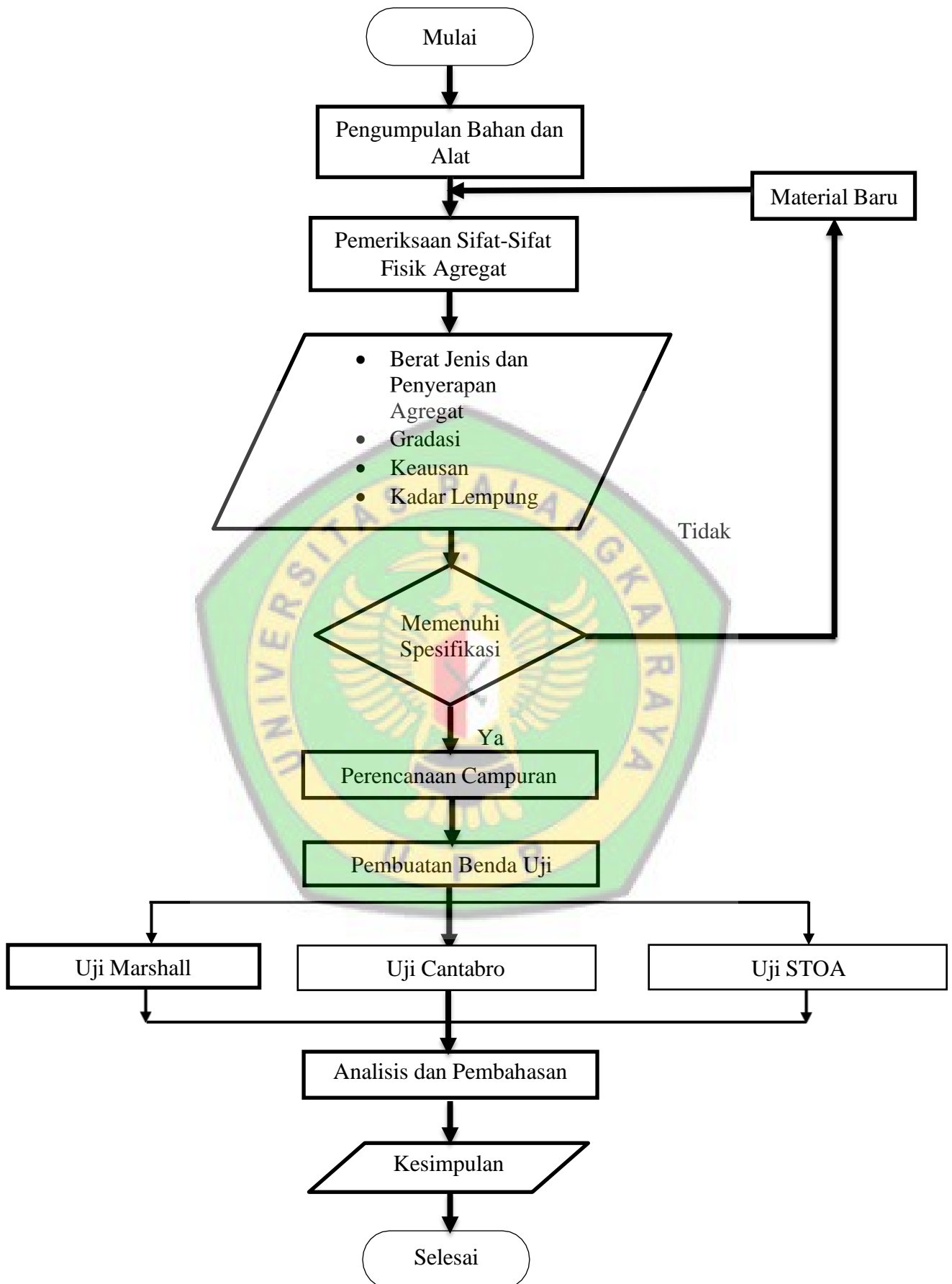
- 4) Dilanjutkan proses pemadatan standar terhadap sampel sebanyak 2 x 75 kali tumbukan (satu sisi atas dan satu sisi bawah) dengan suhu pemadatan $(140 \pm 15)^\circ\text{C}$. Diamkan benda uji selama 24 jam pada suhu ruangan.

b. Pelaksanaan Pengujian

- 1) Benda uji direndam dalam bak perendam (*water bath*) dengan suhu tetap 60°C selama 30-40 menit.
- 2) Sebelum pengujian, batang penuntun dan permukaan dalam dari kepala penekan diberi pelumas sehingga kepala penekan dapat meluncur bebas dan mempermudah pelepasan benda uji.
- 3) Keluarkan benda uji dari bak perendam dan segera letakkan ke dalam segmen bawah kepala penekan. Perlu diketahui bahwa waktu yang diperlukan dari saat diangkat benda uji sampai tercapai beban maksimum tidak boleh melebihi 30 menit.
- 4) Pasang segmen atas di atas benda uji dan letakkan keseluruhannya dalam mesin penguji.
- 5) Pasang arloji pengukur kelelahan (*flow*) pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh terhadap segmen atas kepala penekan.
- 6) Naikan kepala penekan beserta benda uji hingga menyentuh alas cincin penguji, sebelum pembebanan maksimum tercapai.

- 7) Berikan pembebanan kepada benda uji dengan kecepatan 50 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai.
- 8) Catat angka pembacaan pembebanan maksimum atau stabilitas yang dicapai dan angka pembacaan kelelahan (*flow*) pada saat pembebanan maksimum tercapai.
- 9) Setelah selesai, benda uji dikeluarkan dari alas Marshall.
- 10) Selanjutnya nilai pembacaan stabilitas (*stability*) dan kelelahan (*flow*) digunakan dalam perhitungan yang dilakukan dalam tabel perhitungan tes Marshall.





Gambar 3.1 Bagan Alir Penelitian

BAB V

PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap “Kinerja Campuran *Split Mastic Asphalt* Sebagai Lapisan *Wearing Course (WC)* “ sebelumnya, dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut :

1. Hasil penelitian terhadap parameter karakteristik Marshall menggunakan komposisi campuran variasi kadar aspal sebesar 6,0%, 6,5%, 7,0%, 7,5% dan 8,0% dari berat aspal yang diperoleh dari Kadar Aspal Optimum (KAO), dihasilkan nilai karakteristik parameter Marshall sebagai berikut:
 - a. Nilai stabilitas untuk semua variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai stabilitas tertinggi terdapat kadar aspal 7,5% yaitu sebesar 767,548 kg. Nilai Stabilitas yang dihasilkan hanya meningkat sampai dengan kadar aspal 7,5% dan mengalami penurunan pada kadar aspal 6,0%, 6,5%, 7,0%, 8,0%.
 - b. Nilai Kelelehan (*flow*) untuk semua variasi kadar bahan tambah plastik memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai kelelehan (*flow*) tertinggi terdapat pada penambahan kadar aspal 7,5% yaitu sebesar 2,98 mm. Nilai *flow* meningkat seiring dengan penambahan persentase kadar aspal.
 - c. Nilai rongga udara dalam campuran (VIM) untuk variasi kadar aspal 6,0%, dan 6,5% memenuhi spesifikasi dan untuk variasi kadar aspal 7,0%, 7,5% dan 8,0% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai VIM tertinggi

yang memenuhi spesifikasi pada kadar aspal 6,0%, yaitu sebesar 4,51%. Nilai rongga dalam campuran (VIM) yang dihasilkan cenderung menurun seiring dengan penambahan persentase kadar aspal.

- d. Nilai tertinggi rongga antar agregat (VMA) terjadi pada kadar aspal 8,0% yaitu sebesar 20,52% dan nilai terendah rongga antar agregat (VMA) terjadi pada kadar aspal 6,0% yaitu 18,25% nilai rongga antar agregat (VMA) pada kadar aspal 6,0% hingga 8,0% memenuhi standar yang dinyatakan oleh Spesifikasi Umum (2010) untuk campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)*.
- e. Nilai rongga terisi aspal (VFB) untuk semua variasi kadar aspal 6,0%, 6,5%, dan 7,0% memenuhi spesifikasi yang disyaratkan dan kadar aspal 7,5% dan 8,0% tidak memenuhi spesifikasi. Nilai rongga terisi aspal (VFB) tertinggi terdapat pada kadar aspal 8,0% yaitu sebesar 90,92%. Nilai rongga terisi aspal meningkat seiring dengan penambahan persentase kadar aspal.
- f. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) untuk semua variasi kadar aspal memenuhi spesifikasi yang disyaratkan. Nilai hasil bagi Marshall (*Marshall Quotient*) tertinggi terdapat pada kadar aspal 7,0% yaitu 262,910kg/mm dan nilai terendah terdapat pada kadar aspal 6,5% yaitu sebesar 241,312 kg/mm.

2. Berdasarkan hasil penelitian terhadap parameter ketahanan campuran SMA terhadap pelepasan butir menggunakan metode Cantabro pada Kadar Aspal

Optimum (KAO), nilai kehilangan berat campuran mengalami penurunan seiring bertambahnya kadar aspal.

3. Berdasarkan hasil penelitian terhadap stabilitas campuran SMA yang dikondisikan dengan metode STOA (*Short Term Oven Ageing*) pada Kadar Aspal Optimum (KAO) nilai parameter karakteristik Marshall kondisi STOA memiliki kepadatan sebesar 2,37 gr, stabilitas sebesar 731,20 kg, *flow* sebesar 2,86 mm, rongga antar agegat (VMA) sebesar 17,85 % rongga dalam campuran (VIM) sebesar 5,12 % tidak memenuhi, rongga terisi aspal (VFB) sebesar 78,10 % dan hasil bagi Marshall (MQ) sebesar 272,30 kg/mm.

5.2 Saran

Setelah melakukan penelitian ini, dapat disampaikan beberapa saran sebagai berikut:

1. Penelitian ini masih bisa untuk diadakan penelitian kembali dengan jenis serat selulosa yang berbeda karena terdapat jenis serat selulosa lain selain serat kayu hasil penggergajian yang dapat diteliti sebagai bahan tambah pada campuran aspal dan pada penelitian berikut bisa digunakan jenis campuran yang berbeda.
2. Hasil analisis perencanaan campuran *Split Mastic Asphalt (SMA)* menggunakan bahan tambah Serat Selulosa (Serat Kayu) dapat digunakan dalam upaya pengendalian limbah serbuk gergaji dan peningkatan kualitas aspal.

3. Diharapkan pada penelitian lebih lanjut dapat ditinjau pengaruh pemanfaatan limbah serbuk gergaji sebagai bahan tambah pada campuran aspal dari segi ekonominya.
4. Serat selulosa yang akan ditambahkan pada campuran aspal dan agregat harus sesuai dengan spesifikasi yang digunakan agar dapat diharapkan serbuk gergaji tercampur merata agar dapat mengikat aspal menyelimuti agregat lebih maksimal.



DAFTAR PUSTAKA

- Direktorat Jendral Bina Marga. 2010. Spesifikasi Umum. Edisi 2010 (Revisi 3).
- Kharudin, M. A. Split Mastik Aspal Sebagai Surfacing/ Wearig Course Untuk Konstruksi Jalan MST 10 Ton, dalam Sukirman, S. 2003. *Beron Aspal Campuran Panas*. Penerbit Granit, Jakarta.
- Riyanto, A., dan Wahyono, T. 2015. Pengaruh Penambahan Filler Semen Dan Lama Rendaman Terhadap Sifat Durabilitas Dan Nilai Struktural *Split Mastic Asphalt* (SMA). Simposium Nasional Teknologi Terapan (SNTT). Surakarta.
- Sitanggang, O. 2007. Perancangan Campuran Lapis Interlayer Yang Menggunakan Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA 0/5) Dengan Penambahan Additive (Epoxy). *Tesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta
- Sukirman, S. 1999. *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Nova, Bandung.
- Sukirman, S. 2010. *Beton Aspal Campuran Panas*. Nova, Bandung.
- Susanti. 2004. Penggunaan Agregat Kasar Bernilai Abrasi Tinggi Pada Campuran *Split Mastic Asphalt* (SMA) 0/11. *Tesis*. Universitas Gadjah Mada. Yogyakarta.