

TUGAS AKHIR

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BOILER CANGKANG SAWIT SEBAGAI FILLER CAMPURAN ASPHALT CONCRETE- BINDER COURSE (AC-BC) MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2010

*Diajukan Untuk Memenuhi Syarat-Syarat Memperoleh
Gelar Sarjana Teknik Sipil Pada Fakultas Teknik
Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara*

Disusun Oleh:

MUHAMMAD SAID ZULHAMSYAH
1307210129



**PROGRAM STUDI TEKNIK SIPIL
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS MUHAMMADIYAH SUMATERA UTARA
MEDAN
2017**

HALAMAN PENGESAHAN

Tugas Akhir ini diajukan oleh:

Nama : Muhammad Said Zulhamsyah

NPM : 1307210129

Program Studi : Teknik Sipil

Judul Skripsi : Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Boiler Cangkang Sawit Sebagai *Filler* Campuran Asphalt Concrete Bearing Course (Ac-Bc) Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010.

Bidang ilmu : Transportasi

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Tim Penguji dan diterima sebagai salah satu syarat yang diperlukan untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 24 Oktober 2017

Mengetahui dan menyetujui:

Dosen Pembimbing I / Penguji

Dosen Pembimbing II / Peguji

M. Husin Gultom, ST, MT

Mizanuddin Sitompul, ST, MT

Dosen Pembanding I / Penguji

Dosen Pembanding II / Peguji

Andri, ST, MT

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

Program Studi Teknik Sipil
Ketua,

Dr. Ade Faisal, ST, MSc

SURAT PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Lengkap : Muhammad Said Zulhamsyah

Tempat /Tanggal Lahir : Medan / 04 September 1993

NPM : 1307210129

Fakultas : Teknik

Program Studi : Teknik Sipil,

menyatakan dengan sesungguhnya dan sejujurnya, bahwa laporan Tugas Akhir saya yang berjudul:

“Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Boiler Cangkang Sawit Sebagai *Filler* Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010”,

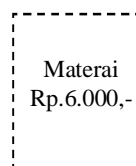
bukan merupakan plagiarisme, pencurian hasil karya milik orang lain, hasil kerja orang lain untuk kepentingan saya karena hubungan material dan non-material, ataupun segala kemungkinan lain, yang pada hakekatnya bukan merupakan karya tulis Tugas Akhir saya secara orisinal dan otentik.

Bila kemudian hari diduga kuat ada ketidaksesuaian antara fakta dengan kenyataan ini, saya bersedia diproses oleh Tim Fakultas yang dibentuk untuk melakukan verifikasi, dengan sanksi terberat berupa pembatalan kelulusan/kesarjanaan saya.

Demikian Surat Pernyataan ini saya buat dengan kesadaran sendiri dan tidak atas tekanan ataupun paksaan dari pihak manapun demi menegakkan integritas akademik di Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

Medan, 24 Oktober 2017

Saya yang menyatakan,



Muhammad Said Zulhamsyah

ABSTRAK

ANALISIS PENGARUH PENGGUNAAN ABU BOILER CANGKANG SAWIT SEBAGAI FILLER UNTUK CAMPURAN *ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE (AC-BC)* MENGGUNAKAN SPESIFIKASI BINA MARGA 2010

Muhammad Said Zulhamsyah

1307210129

Muhammad Husein Gultom, ST, MT.

Mizanuddin Sitompul, ST, MT.

Filler merupakan salah satu bahan yang berfungsi sebagai pengisi rongga-rongga dari suatu campuran beraspal. Macam-macam bahan pengisi yang dapat digunakan ialah: abu batu, abu cangkang sawit, *portland cement (PC)*, dll. Persentase yang kecil pada *filler* terhadap campuran beraspal, bukan berarti tidak mempunyai efek yang besar pada sifat-sifat *Marshall*. Pengaruh *filler* sangat penting karena mampu mengikat rongga-rongga agregat yang kosong. Banyaknya limbah abu cangkang sawit di pengolahan kelapa sawit (PKS) yang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengisi campuran aspal. Tulisan ini mencoba meneliti perbandingan antara pengaruh penggunaan *filler* dan tanpa menggunakan *filler* terhadap sifat campuran dan juga untuk melihat pengaruh nilai *vim*, *vfa*, *vma*, *flow*, stabilitas dengan parameter *marshall test*. Pada penelitian langkah pertama yang dilakukan adalah pengecekan bahan yaitu aspal dan agregat harus memenuhi persyaratan. Kemudian dicari Kadar Aspal Optimum dimana didapatkan masing-masing sebesar (5.90%, 6.05%, 6.10%). Hasil tersebut didapat dari nilai masing masing persentase abu cangkang sawit. Yaitu: campuran normal, dan campuran menggunakan *filler* sebanyak (2%, 4%) dengan KAO tersebut yang menggunakan variasi abu cangkang sawit (2%, 4%) dan campuran normal didapatkan data *Marshall Test*, memenuhi seluruh persyaratan yang terdapat dispesifikasi Departemen Pekerjaan Umum tahun 2010 Revisi III. Dari hasil analisis diperoleh nilai rata-rata: stabilitasnya (999 kg, 930 kg, 1020kg), *flow* (3,24 mm, 2,52mm, 2,55 mm), AIR VIODS (4,65%, 4,48%, 3,66%) dan PRD (4.87%, 4,72%, 4,64%), VMA (16,68%, 16,62%, 15,84%), dan VFB nya (72,22%, 73,02%, 76,91%). Sehingga dapat disimpulkan bahwa kandungan ketiga campuran memenuhi seluruh persyaratan spesifikasi umum divisi VI revisi III dan dijadikan bahan alternatif menggantikan semen.

Kata kunci: *filler*, abu cangkang sawit, lapisan AC-BC, campuran panas (*hot mix*), spesifikasi Bina Marga 2010 Revisi III.

ABSTRACT

ANALYSIS OF INFLUENCE OF USE ABB BOILER CANGKANG ASWIT AS FILLER FOR ASPHALT CONCRETE-BINDER COURSE MIX (AC-BC) USING THE SPECIFICATION OF BINA MARGA 2010

Muhammad Said Zulhamsyah
1307210129

Muhammad Husein Gultom, ST, MT.
Mizanuddin Sitompul, ST, MT.

Filler is one of the ingredients that serves as a filler cavity of a paved mixture. Various kinds of fillers that can be used are: stone ash, palm shell ash, portland cement (PC), etc. A small percentage of the filler on the asphalt mixture does not mean it does not have a large effect on Marshall properties. The effect of filler is very important because it is able to bind the empty aggregate cavities. The amount of waste of palm shell ash in palm oil processing (PKS) which can be utilized as filler material of asphalt mixture. This paper attempts to examine the comparison between the effect of using filler and without using filler on mixed properties and also to see the effect of vim, va, vma, flow, stability with marshall test parameters. In the first step of the research conducted is checking the materials of asphalt and aggregate must meet the requirements. Then searched asphalt optimum content obtained respectively (5.90%, 6.05%, 6.10%). The results are obtained from the value of each percentage of palm shell ash. (2%, 4%) with the KAO using palm shell ash (2%, 4%) and the normal mixture of Marshall Test data obtained, fulfilling all requirements specified by the Department of Public Works in 2010 Revision III. From the analysis results obtained average value: stability (999 kg, 930 kg, 1020kg), flow (3.24 mm, 2.52mm, 2.55 mm), AIR VIODS (4.65%, 4.48% 3.66%) and PRD (4.87%, 4.72%, 4.64%), VMA (16.68%, 16.62%, 15.84%), and VFB (72.22%, 73 , 02%, 76.91%). So it can be concluded that the content of the three mixes meet all the requirements of the general specification of Division VI revision III and used as alternative material to replace the cement.

Keywords: filler, palm shell ash, AC-BC coating, hot mix, Bina Marga 2010 Revision III specification.

KATA PENGANTAR

Dengan nama Allah Yang Maha Pengasih lagi Maha Penyayang. Segala puji dan syukur penulis ucapkan kehadiran Allah SWT yang telah memberikan karunia dan nikmat yang tiada terkira. Salah satu dari nikmat tersebut adalah keberhasilan penulis dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Analisis Pengaruh Penggunaan Abu Boiler Cangkang Sawit Sebagai *Filler* Campuran Asphalt Concrete Binder Course (Ac-Bc) Menggunakan Spesifikasi Bina Marga 2010” sebagai syarat untuk meraih gelar akademik Sarjana Teknik pada Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara (UMSU), Medan.

Banyak pihak telah membantu dalam menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini, untuk itu penulis menghaturkan rasa terimakasih yang tulus dan dalam kepada:

1. Allah SWT, yang telah meringankan segala urusan saya.
2. Bapak Muhammad Husin Gultom, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
3. Bapak Mizanuddin Sitompul, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing II dan Penguji yang telah banyak membimbing dan mengarahkan penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Andri, ST, MT, selaku Dosen Pembimbing I dan Penguji yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini.
5. Bapak Ade Faisal, ST, MSc, selaku Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan koreksi dan masukan kepada penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir ini, sekaligus sebagai Ketua Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
6. Ibu Hj. Irma Dewi, ST, MSi, selaku Sekretaris Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
7. Bapak Rahmatullah, ST, MSc selaku Dekan Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.

8. Seluruh Bapak/Ibu Dosen di Program Studi Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara yang telah banyak memberikan ilmu ketekniksipilan kepada penulis.
9. Yang paling saya sayangi orang tua saya: Muhammad Said Usman Efendi dan Sulastri, terimakasih untuk semua doa dan kasih sayang tulus yang tak ternilai harganya, serta telah bersusah payah membesarkan dan membiayai studi penulis.
10. Teristimewa keluarga saya: Faqhur Rahman, ST, adinda saya Wenny anggraini dan Muhammad Said Tedy Syah. Yang telah banyak memberi bantuan dan masukan.
11. Kepada yang terkasih Winda Meliandani yang telah banyak mendukung jalannya tulisan saya.
12. Bapak/Ibu Staf Administrasi di Biro Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
13. Sahabat-sahabat penulis: M. Mustaqim Yusuf, Dicky Alamsyah, H. Muhammad Nahari Hrp, ST, Alif Zabawi, Muhammad Rezki, Zulfuadi Nst, Riski Fauzan, All Akbar, Nasrul Fazari, Agung Trisna, Putri Pangesti, Muhammad Taruna dan seluruh angkatan 2013 yang tidak mungkin namanya disebut satu per satu.

Laporan Tugas Akhir ini tentunya masih jauh dari kesempurnaan, untuk itu penulis berharap kritik dan masukan yang konstruktif untuk menjadi bahan pembelajaran berkesinambungan penulis di masa depan. Semoga laporan Tugas Akhir ini dapat bermanfaat bagi dunia konstruksi teknik sipil.

Medan, 24 Oktober 2017

Muhammad Said Zulhamsyah

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	ii
LEMBAR PERNYATAN KEASLIAN SKRIPSI	iii
ABSTRAK	iv
<i>ABSTRACT</i>	v
KATA PENGANTAR	vi
DAFTAR ISI	viii
DAFTAR TABEL	xi
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR GRAFIK	xiv
DAFTAR NOTASI	xv
BAB 1 PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang	1
1.2. Rumusan masalah	4
1.3. Ruang lingkup penelitian	4
1.4. Tujuan Penelitian	5
1.5. Manfaat Penelitian	5
1.6. Sistematika Penulisan	6
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	
2.1. Aspal	7
2.1.1 Fungsi Aspal	8
2.1.2 Jenis Aspal	8
2.1.3 Klasifikasi Aspal	12
2.1.4 Campuran Beraspal	14
2.1.4.1. Jenis Campuran Beraspal	14
2.2. Abu Cangkang Sawit	15
2.2.1 Filler Cangkang Sawit	15
2.2.2 Sifat Kimia Fly Ash Cangkang Sawit	16
2.2.3 Palm Oil Fly Ash (Abu Terbang Kelapa Sawit)	17

2.3.	Agregat	18
2.3.1.	Jenis-Jenis Agregat	18
2.3.2.	Ukuran Butir	19
2.3.3.	Sifat Agregat	20
2.3.4.	Gradasi	20
2.3.5.	Gradasi Agregat Gabungan	23
2.3.6.	Bentuk Butir Agregat	24
2.3.7.	Pengujian Agregat	25
2.3.7.1.	Pengujian Analisis Ukuran Butiran (gradasi)	25
2.3.7.2.	Berat Jenis (<i>Specific Gravity</i>) dan Penyerapan (<i>Absorpsi</i>)	26
2.3.7.3.	Pemeriksaan Daya Lekat Agregat Terhadap Aspal	30
2.3.8.	Metode Pengujian Rencana Campuran	30
BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN		
3.1.	Bagan Alir Metode Penelitian	35
3.2.	Metode Penelitian	36
3.3.	Material Untuk Penelitian	36
3.4.	Pengumpulan Data	36
3.5.	Prosedur Penelitian	36
3.6.	Pemeriksaan Bahan Campuran	37
3.6.1.	Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar Dan Halus	37
3.6.2.	Alat Yang Digunakan	38
3.7.	Prosedur Kerja	39
3.7.1.	Perencanaan Campuran (<i>Mix Design</i>)	39
3.7.2.	Tahapan Pembuatan Benda Uji	40
3.7.3.	Metode Pengujian Sampel	41
3.7.4.	Penentuan Berat Jenis <i>Bulk Gravity</i>	41
3.7.5.	Pengujian Stabilitas Dan Kelelehan (<i>Fow</i>)	42

BAB 4	HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	
4.1.	Pemeriksaan Aspal	44
4.2.	pemeriksaan Agregat	44
4.2.1	Analisa Saringan	44
4.2.2.	Perhitungan Berat Jenis	53
4.3.	Pemeriksaan Benda Uji	57
4.3.1.	Perhitungan Parameter Pengujian	57
4.3.1.1.	<i>Bulk Density</i>	61
4.3.1.2.	Rongga Dalam Mineral Agregat (<i>VMA</i>)	61
4.3.1.3.	Rongga Terisi Aspal (<i>Void Fill Bitumen/VFB</i>)	62
4.3.1.4.	Stabilitas <i>Marshall</i>	63
4.3.1.5.	Kelelehan (<i>Flow</i>)	63
4.3.1.6.	Ronga Dalam Campuran (<i>VIM</i>)	64
4.3.1.7.	Kadar Aspal Optimum	64
4.3.1.8.	Hasil Pada Kondisi Optimum	66
4.4.	Pembahasan Dan Analisis	67
4.4.1.	Perbandingan Sifat <i>Marshall</i>	67
BAB 5	KESIMPULAN DAN SARAN	
5.1.	Kesimpulan	68
5.2.	Saran	69
	DAFTAR PUSTAKA	70
	LAMPIRAN	71
	DAFTAR RIWAYAT HIDUP	

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Viskositas	12
Tabel 2.2	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan Hasil <i>RFTOT</i>	13
Tabel 2.3	Klasifikasi Aspal Keras Berdasarkan <i>Penetrasi</i>	13
Tabel 2.4	Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal	23
Tabel 2.5	Ukuran Saringan Menurut <i>ASTM</i>	26
Tabel 4.1	Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Pertamina Pen 60/70	44
Tabel 4.2	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) 1 Inch	45
Tabel 4.3	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{3}{4}$.Inch	45
Tabel 4.4	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Kasar (Ca) $\frac{1}{2}$.Inch	46
Tabel 4.5	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Abu Batu (<i>Cr</i>)	46
Tabel 4.6	Hasil Pemeriksaan Analisa Saringan Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	47
Tabel 4.7	Hasil Pemeriksaan Abu Boiler Cangkang Sawit	47
Tabel 4.8	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran Normal	48
Tabel 4.9	Hasil Perhitungan Berat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Campura Normal	49
Tabel 4.10	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran abu Cangkang Sawit Sebanyak 2% pada <i>filler</i> .	50
Tabel 4.11	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan <i>Filler</i> 2%	51
Tabel 4.12	Hasil Kombinasi Gradasi Agregat Untuk Campuran abu Cangkang Sawit Sebanyak 4% pada <i>filler</i>	52
Tabel 4.13	Hasil Perhitungan Berat Agregat Yang Diperlukan Untuk Benda Uji Menggunakan <i>Filler</i> 4%	53
Tabel 4.14	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar <i>Ca</i> 1 Inch	54
Tabel 4.15	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar <i>Ca</i> $\frac{3}{4}$ Inch	54

Tabel 4.16	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Kasar <i>Ma ½ Inch</i>	55
Tabel 4.17	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Batu (<i>Cr</i>)	56
Tabel 4.18	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Pasir (<i>Sand</i>)	56
Tabel 4.19	Data Hasil Pengujian Berat Jenis Agregat Halus Abu Cangkang Sawit(<i>Filler</i>)	57
Tabel 4.20	Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Tanpa Menggunakan <i>Filler</i>	60
Tabel 4.21	Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Menggunakan <i>Filler 2%</i>	60
Tabel.4 22	Hasil Uji <i>Marshall</i> Campuran Beton Aspal Menggunakan <i>Filler 4%</i>	60
Tabel 4.23	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Tanpa Menggunakan <i>Filler</i>	66
Tabel 4.24	Hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menggunakan <i>Filler 2%</i>	67
Tabel 4.25	hasil Pengujian <i>Marshall</i> Menggunakan <i>Fille 4%</i>	67

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Diagram Alir <i>Palm Oil Fly Ash</i>	17
Gambar 2.2	Jenis Gradasi Agregat	22
Gambar 2.3	Contoh Tipikal Macam-Macam Gradasi Agregat	23
Gambar 2.4	Tipikal Bentuk Butir Kubikal, Lonjong & Pipih	25
Gambar 2.5	Berat Jenis Agregat	27
Gambar 2.6	Hub Volume Dan Rongga Density Benda Uji Campuran Aspal Panas Padat	31
Gambar 3.1	Bagan Alir	35
Gambar 4.1	Grafik Hasil Kombinasi Gradasi Agregat	48
Gambar 4.2	Grafik Hasil Kombinasi Agregat Menggunakan <i>Filler 2%</i>	50
Gambar 4.3	Grafik Hasil Kombinasi Agregat Menggunakan <i>Filler 4%</i>	52
Gambar 4.4	Perbandingan Nilai <i>Density</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	61
Gambar 4.5	Perbandingan Nilai VMA Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	62
Gambar 4.6	Perbandingan Nilai VFB Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	62
Gambar 4.7	Perbandingan Nilai <i>Stability</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	63
Gambar 4.8	Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	64
Gambar 4.9	Perbandingan Nilai VIM Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	64

Gambar 4.10	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Tanpa Menggunakan <i>Filler</i>	65
Gambar 4.11	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 2%	65
Gambar 4.12	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 4%	66
Gambar 4.13		62
Gambar 4.14	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan stabilitas Menggunakan <i>Filler</i> 2%	63
Gambar 4.15	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Stabilitas Menggunakan <i>Filler</i> 4%	63
Gambar 4.16	Grafik Hubungan Campuran Normal Antara Kadar Aspal (%) Dengan Kelelehan (<i>Flow</i>)	64
Gambar 4.17	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Kelelehan (<i>Flow</i>) Menggunakan <i>Filler</i> 2%	64
Gambar 4.18	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan Kelelehan (<i>Flow</i>) Menggunakan <i>Filler</i> 4%	65
Gambar 4.19	Grafik Hubungan Campuran Normal Antara Kadar Aspal (%) Dengan VIM	65
Gambar 4.20	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VIM Menggunakan <i>Filler</i> 2%	66
Gambar 4.21	Grafik Hubungan Kadar Aspal (%) dengan VIM Menggunakan <i>Filler</i> 4%	66

Gambar 4.22	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Tanpa Menggunakan <i>Filler</i>	67
Gambar 4.23	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 2%	67
Gambar 4.24	Rentang Kadar Aspal Untuk beton Aspal Yang Menggunakan <i>Filler</i> 4%	68
Gambar 4.25	Perbandingan Nilai <i>Density</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	70
Gambar 4.26	Perbandingan Nilai <i>Stability</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	71
Gambar 4.27	Perbandingan Nilai <i>Flow</i> Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	71
Gambar 4.28	Perbandingan Nilai VIM Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	72
Gambar 4.29	Perbandingan Nilai VFB Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	73
Gambar 4.30	Perbandingan Nilai VMA Campuran Aspal Standar Dan Aspal Menggunakan <i>Filler</i>	73

DAFTAR NOTASI

A	= Berat uji dalam keadaan kering permukaan jenuh (gr)
B	= Berat piknometer berisi air (gr)
Ba	= Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air (gr)
Bk	= Berat benda uji kering oven (gr)
Bj	= Berat benda uji kering permukaan jenuh (gr)
Bt	= Berat piknometer berisi benda uji dan air (gr)
C	= Berat piknometer berisi aspal (gr)
D	= Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut (mm)
d	= Ukuran saringan yang ditinjau (mm)
Gmb	= Berat jenis curah campuran padat
Gmm	= Berat jenis maksimum campuran
Gsa	= Berat jenis semu
Gsb	= Berat jenis curah
H	= Tebal perkerasan (mm)
p	= Persen lolos saringan (%)
P	= Pembacaan arloji stabilitas (kg)
Pi	= Penetrasi pada kondisi asli
Pir	= Indeks penetrasi aspal
Pr	= Penetrasi pada kondisi dihamparkan
q	= Angka koreksi benda uji
S	= Stabilitas
SPr	= Titik lembek aspal
T	= Temperatur perkerasan yang ditinjau (°C)
Tw	= Lama pembebanan (detik)
V	= Kecepatan kendaraan (km/jam)

VFA/VFB = Rongga terisi aspal (%)
VIM = Rongga udara dalam campuran (%)
VMA = Rongga dalam agregat mineral (%)
Vpp = Volume pori meresap aspal
Vpp -Vap = Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal
Vs = Volume bagian padat agregat
Ws = Berat agregat kering (gr)
 γ_w = Berat isi air .

DAFTAR ISTILAH DAN SINGKATAN

AC-WC	= <i>Asphalt Concrete Wearing Course</i>
AC-BC	= <i>Asphalt Concrete-Binder Course</i>
AC-Base	= <i>Asphalt Concrete-Base</i>
AMP	= <i>Asphalt Mixing Plant</i>
VMA	= <i>Void in mineral aggregate</i>
VIM	= <i>Void in mix</i>
VFWA	= <i>Void filled with asphalt</i>
MQ	= <i>Marshall Quotient</i>
VFB	= <i>Void filled Bitumen</i>
TFOT	= <i>Thin Film Oven Test</i>
RTFOT	= <i>Rolling Thin Film Oven Test</i>
PI	= <i>Penetration Index</i>
PRD	= <i>Persentage Refusal Density</i>

BAB I

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang

Jalan raya memang memiliki fungsi penting dalam kehidupan manusia. Sebagian besar kegiatan transportasi manusia menggunakan Jalan raya. Pengaruh yang besar tersebut mengakibatkan jalan raya memegang peranan penting dalam meningkatkan kesejahteraan dan perekonomian serta pembangunan suatu negara. Agar perkerasan jalan yang sesuai dengan mutu yang diharapkan, maka pengetahuan tentang sifat, pengadaan dan pengolahan dari bahan penyusun perkerasan jalan sangat diperlukan (Sukirman, 2003).

Peningkatan pembangunan infrastruktur jalan menyebabkan kebutuhan material penyusun perkerasan jalan juga meningkat, salah satunya adalah aspal. Kebutuhan aspal nasional untuk mendukung penyelenggaraan jaringan jalan nasional pada tahun 2013 mencapai 1.315 ribu ton, sementara suplai dari PT.Pertamina sebagai pemasok utama material aspal, Hanya mencapai angka 890 ribu ton. Terjadi pembengkakan pemenuhan kebutuhan sebesar 425 ribu ton yang saat ini proses pengadaannya dilakukan secara parsial oleh masing - masing pelaku untuk kepentingan individu terkait penyelenggara proyek jalan raya.

Jalan merupakan prasarana transportasi darat yang menghubungkan kawasan antar kawasan. Fungsinya diantara lain agar dapat meningkatkan kegiatan ekonomi di suatu tempat, karena jalanan beraspal yang baik dapat memudahkan urusan perjalanan orang untuk pergi atau mengirim barang lebih cepat ke suatu tujuan dari dalam kota maupun luar daerah. Dengan adanya jalan beraspal yang bagus, komoditi dapat mengalir ke pasar setempat dan hasil ekonomi dari suatu tempat dapat dijual kepada pasar di luar wilayah itu. Selain itu, jalan juga mengembangkan ekonomi lalu lintas di sepanjang lintasannya.

Sangat banyak jalan-jalan di Indonesia yang rusak dan retak berlubang, disebabkan oleh deformasi (perubahan bentuk) permanen, dikarenakan adanya

tekanan beban yang terlalu berat oleh muatan kendaraan yang melebihi kapasitas jalan tersebut dan tingginya frekuensi lalu lintas kendaraan di jalan raya. Keretakan-keretakan maupun kerusakan terhadap jalan beraspal juga disebabkan karena permukaan aspal yang tidak merata, dan drainase yang tidak mengalir baik pembuangannya. akibatnya terjadi genangan air pada saat musim hujan, dikarenakan endapan oleh air yang tergenang di atas permukaan aspal yang tidak merata tersebut, dan kurangnya daya serap aspal terhadap air.

Oleh karena itu perlu dilakukan upaya-upaya terobosan untuk mengisi ketersediaan kekurangannya bahan campuran aspal yang dibuat. Diusahakan aspal yang lebih baik dan daya serap airnya cukup tinggi untuk menghindari atau setidaknya meminimalisir terjadinya keretakan dan kerusakan pada aspal jalan yang ada di Indonesia. yang dimana dalam hal ini dapat disebabkan oleh material bahan itu sendiri atau dapat pula disebabkan oleh pengolahan yang tidak baik, atau kondisi tanah dasar yang tidak stabil yang kemungkinan disebabkan oleh sistem pelaksanaan yang kurang baik atau oleh sifat dasar tanah yang jelek dan proses pemadatan di atas lapisan dasar tanah yang kurang baik. Penyebab dan akibat kerusakan jalan perlu dievaluasi terlebih dahulu, agar penanganan konstruksi apakah itu bersifat pemeliharaan, penunjang, peningkatan, ataupun rehabilitasi dapat dilakukan dengan baik. Salah satu perbaikan kerusakan konstruksi jalan dapat dilakukan dengan memperhatikan atau melakukan pengujian campuran aspal yang sesuai dengan jenis kerusakan yang terjadi.

Dalam hal ini penulis mendasarkan penelitian pada kondisi jalan di Indonesia yang mengalami *deformasi* bentuk akibat gaya tekan yang besar dan pengaruh cuaca di Indonesia yang beriklim tropis dengan jumlah curah hujan yang cukup tinggi. Sehingga penulis membuat terobosan baru tentang penelitian yang mengkombinasikan aspal penetrasi 60/70 dengan serbuk abu cangkang sawit untuk melihat pengaruh yang terjadi pada kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air.

Sedangkan alasan pemilihan aspal keras penetrasi 60/70 sebagai bahan campuran uji dikarenakan Aspal penetrasi 60/70 adalah bagian dari aspal keras yang memiliki densitas (berat jenis) sebesar 1,0 gr/cm³. Aspal penetrasi 60/70

memiliki titik lembek 48-58° C, titik leleh 160° C dan titik nyala 200° C. Pada aplikasinya aspal penetrasi 60/70 ini digunakan untuk pembuatan jalan dengan volume lalu lintas sedang atau tinggi dan daerah dengan cuaca iklim yang panas. Aspal jenis ini memiliki karakteristik, terutama bila dilihat pada titik leleh dan berat jenis. Selain itu aspal jenis ini merupakan jenis aspal yang paling umum dan sering digunakan untuk pembuatan jalan di Indonesia, karena sesuai dengan kondisi iklim tropis di Indonesia.

Pengujian campuran aspal dilakukan adalah untuk mengatasi kekurangan dari aspal konvensional, salah satunya dengan menggunakan aspal yang dicampur dengan bahan berjenis abu cangkang sawit (abu terbang kelapa sawit). Pada proses aspal yang dicampur dengan bahan abu cangkang sawit, setelah itu dilakukan pencampuran dengan beberapa macam jenis agregat, yakni bahan agregat kasar dan bahan agregat halus dan bahan filler, dimana dipisah dalam beberapa bentuk yaitu: kerikil besar, kerikil medium, abu batu, pasir dan semen.

Abu cangkang sawit merupakan sisa hasil pembakaran yang terjadi di ruang bakar boiler dimana satu unit Pabrik Kelapa Sawit kapasitas 30 ton/jam paling tidak membutuhkan 3 ton bahan bakar cangkang dan fiber setiap jamnya. Jika terdapat sisa hasil pembakaran maka dapat kita bayangkan betapa banyaknya Abu cangkang sawit yang dihasilkan dalam sehari, seminggu maupun sebulan dan seterusnya. Abu cangkang sawit ini sangat mudah kita jumpai di pabrik-pabrik kelapa sawit yang ada di Sumatera Utara dan dikategorikan sebagai limbah, karena jarang sekali dimanfaatkannya limbah, abu cangkang sawit ini biasanya berbentuk partikel-partikel halus yang keberadaannya dapat membahayakan kesehatan manusia jika tidak ditangani dengan benar. Seiring dengan kemajuan teknologi maka saat ini keberadaan abu cangkang sawit tidak hanya sebagai limbah yang tidak bermanfaat tetapi telah dipergunakan untuk campuran beragam jenis produk seperti semen, bata tahan api dan metal matrix komposit. Dan atas pertimbangan inilah penulis ingin meneliti tentang pengaruh komposisi berat abu cangkang sawit sebagai pemerkuat dalam pembuatan aspal yang dicampur dengan abu cangkang sawit.

Penggunaan sebagai bahan campuran didasarkan kepada zat yang dikandungnya. Dari hasil penelitian diperoleh bahwa kandungan silika, besi oksida, aluminium oksida, kalsium oksida, magnesium oksida dan sulfat, yang apabila ditambahkan pada aspal (C₄H₁₀) akan membentuk reaksi senyawa yang dapat meningkatkan karakteristik campuran beraspal, karena dapat meningkatkan daya tahan terhadap keretakan, dan juga daya serap air yang cukup baik dan selain itu lebih rapat sehingga lebih kaku dan padat. Sehingga dengan adanya unsur abu cangkang sawit ini akan lebih memungkinkan didapatkannya campuran beraspal yang lebih kuat dan baik.

Dari hal tersebut maka penulis berharap dapat mengkombinasikan aspal dengan abu cangkang sawit, dalam hal ini aspal penetrasi 60/70 dengan abu cangkang sawit akan memberikan dampak yang baik dan diharapkan agar dapat diperoleh aspal modifikasi yang memiliki kekuatan tekan dan ketahanan rendaman air yang lebih baik dari aspal biasa di pakai di jalan – jalan Indonesia yang beriklim Tropis.

1.2. Rumusan Masalah

Dalam tugas akhir ini, penulis meneliti dan menganalisis karakteristik *hotmix* dengan menggunakan *filler* abu cangkang sawit. Adapun rangkaian campuran *hotmix* yang akan diteliti adalah *laston* lapis antara (AC-BC).

1.3. Ruang Lingkup.

Didalam pembuatan penelitian ini. Penulis harus memberikan batasan-batasan masalah di dalam penelitian supaya bisa menghindari hal-hal yang tidak perlu dibahas dalam tugas akhir ini . Untuk menghindari pembahasan yang terlalu luas dan untuk memberikan arah yang lebih baik serta memudahkan dalam penyelesaian masalah sesuai dengan tujuan yang ingin dicapai , maka pembahasan hanya dititik berat kan pada:

1. Tinjauan terhadap karakteristik campuran terbatas pada pengamatan terhadap hasil pengujian *Marshall* dan penelitian ini tidak melakukan pengujian aspal di Laboratorium Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara karena hasil pengujian aspal telah diperoleh dari data sekunder.

2. Gradasi agregat berdasarkan Spesifikasi Bina Marga 2010 (Revisi 3)
3. Sifat Campuran Aspal dan Pengujian *Marshall* berdasarkan spesifikasi umum 2010 revisi III.
4. penelitian ini hanya menggunakan *Filler* 2% dan 4%.

1.4. Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini antara lain:

1. Untuk mengetahui apakah tujuan percobaan ini memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga
2. Untuk mengetahui pengaruh dan besaran nilai uji *marshall* campuran abu cangkang sawit pada aspal penetrasi 60/70 terhadap kekuatan tekan standar rujukan RSNI M-01-2003.

1.5. Manfaat Penelitian

Penelitian mengenai perbandingan Modulus Kekakuan Campuran Aspal yang menggunakan aspal Pertamina dan aspal Esso sebagai bahan ikat pada campuran aspal beton diharapkan memiliki manfaat diantara lain yaitu:

1. Studi penelitian ini merupakan suatu kajian untuk mengetahui perbandingan campuran aspal beton yang menggunakan *Filler* sebagai bahan ikat pada campuran beton aspal AC-BC.
2. Studi penelitian ini diharapkan dapat memberikan ilmu pengetahuan tentang sifat *Marshall* pada campuran aspal beton.
3. Studi penelitian ini diharapkan dapat memberikan wawasan mengenai sifat-sifat yang mempengaruhi berubah bentuk dan karakteristik campuran aspal beton pada konstruksi perkerasan lentur jalan.

1.6. Sistematis Penulisan

Didalam penulisan tugas akhir ini di kelompokkan ke dalam 5 bab dengan sistematisa sebagai berikut:

BAB I PENDAHULUAN

Merupakan rancangan yang akan dilakukan yang meliputi tinjauan umum, latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan sistematis penulisan

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Merupakan kajian dari berbagai literatur serta hasil studi yang relevan dengan pembahasan ini. Dalam hal ini diuraikan hal-hal tentang beberapa teori-teori yang berhubungan dengan karakteristik hotmix AC-BC dengan penambahan filler abu cangkang sawit.

BAB III METODE PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang metode yang dipakai dalam penelitian ini, termasuk pengambilan data, langkah penelitian, analisis data, pengolahan data, dan bahan uji.

BAB IV HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

Berisikan pembahasan mengenai data-data yang didapat dari pengujian, kemudian dianalisis, sehingga dapat diperoleh hasil perhitungan, dan kesimpulan hasil mendasar.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

Merupakan penutup yang berisikan tentang kesimpulan yang telah diperoleh dai pembahasan pada bab sebelumnya dan saran mengenai hasil penelitian yang dapat dijadikan masukan.

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Aspal

Aspal adalah material *termoplastik* yang akan menjadi keras atau lebih kental jika temperatur berkurang dan akan lunak atau lebih cair jika temperatur bertambah. Sifat ini dinamakan kepekaan terhadap perubahan temperatur, yang dipengaruhi oleh komposisi kimiawi aspal walaupun mungkin mempunyai nilai penetrasi atau *viskositas* yang sama pada temperatur tertentu. Aspal yang mengandung lilin lebih peka terhadap temperatur di bandingkan dengan aspal yang tidak mengandung lilin. Hal ini terlihat pada aspal yang mempunyai *viskositas* yang sama pada temperatur tinggi tetapi sangat berbeda *viskositas* pada temperatur rendah. Kepekaan terhadap temperatur akan menjadi dasar perbedaan umur aspal untuk menjadi retak ataupun mengeras. Aspal bersifat *viskos* atau padat, berwarna hitam atau coklat, mempunyai daya lekat, mengandung bagian utama yaitu hidrokarbon yang dihasilkan dari minyak bumi atau kejadian alami dan terlarut dalam *karbondisulfida*.

Bersama dengan agregat, aspal merupakan material pembentuk campuran perkerasan jalan. Aspal merupakan bahan yang sangat kompleks dan secara kimia belum dikarakterisasi dengan baik. Kandungan utama aspal adalah senyawa karbon jenuh dan tak jenuh, *alifatik* dan *aromatik* yang mempunyai atom karbon sampai 150 per molekul. Atom-atom selain hidrogen dan karbon yang juga menyusun aspal adalah nitrogen, oksigen, belerang, dan beberapa atom lain. Secara kuantitatif, biasanya 80% massa aspal adalah karbon, 10% *hydrogen*, 6% belerang, dan sisanya oksigen dan nitrogen, serta sejumlah renik besi, nikel, dan *vanadium*. Senyawa-senyawa ini sering dikelaskan atas aspalten (yang massa molekulnya kecil) dan malten (yang massa molekulnya besar). Biasanya aspal mengandung 5 sampai 25% *aspalten*. Sebagian besar senyawa pada aspal adalah senyawa pola.

2.1.1 Fungsi Aspal

Fungsi aspal adalah sebagai berikut:

1. Untuk mengikat batuan agar tidak lepas dari permukaan jalan akibat lalu lintas (*water proofing, protect* terhadap erosi).
2. Sebagai bahan pelapis dan perekat agregat.
3. Lapis resap pengikat (*primecoat*) adalah lapisan tipis aspal cair yang diletakan di atas lapis pondasi sebelum lapis berikutnya.
4. Lapis pengikat (*tackcoat*) adalah lapis aspal cair yang diletakan di atas jalan yangtelah beraspal sebelum lapis berikutnya dihampar, berfungsi pengikat di antara keduanya.
5. Sebagai pengisi ruang yang kosong antara agregat kasar, agregat halus, dan filler.

2.1.2 Jenis Aspal

Aspal yang digunakan sebagai bahan untuk pembuatan jalan terbagi atas jenis-jenis berikut, yaitu:

1. Aspal Alam

Aspal Alam adalah aspal yang secara alamiah terjadi di alam. Berdasarkan depositnya aspal alam ini dikelompokan menjadi 2 kelompok, yaitu:

a. Aspal Danau

Angka penetrasi dari aspal ini sangat rendah dan titik lembek sangat tinggi. Karena aspal ini dicampur dengan aspal keras yang mempunyai angka penetrasi yang tinggi dengan perbandingan tertentu sehingga dihasilkan aspal dengan angka penetrasi yang diinginkan. Aspal ini secara alamiah terdapat di danau Trinidad, Venezuela dan lewel. Aspal ini terdiri dari bitumen, mineral, dan bahan organik lainnya.

b. Aspal Batu

Aspal dari deposit ini terbentuk dalam celah-celah batuan kapur dan batuan pasir. Aspal yang terkandung dalam batuan ini berkisar antara 12 – 35 % dari masa batu tersebut dan memiliki persentasi antara 0 – 40. Untuk pemakaiannya, deposit ini harus ditimbang terlebih dahulu, lalu aspalnya diekstrasi dan dicampur dengan minyak pelunak atau aspal keras dengan

angka penetrasi sesuai dengan yang diinginkan. Pada saat ini aspal batu telah dikembangkan lebih lanjut, sehingga menghasilkan aspal batu dalam bentuk butiran partikel yang berukuran lebih kecil dari 1 mm dan dalam bentuk mastik. Aspal batu Kentucky dan buton adalah aspal yang secara alamiah terdeposit di daerah Kentucky, USA dan di pulau buton, Indonesia.

2. Aspal Hasil Destilasi

Minyak mentah disuling dengan cara Destilasi, yaitu proses dimana berbagai fraksi dipisahkan dari minyak mentah tersebut. Proses destilasi ini disertai oleh kenaikan temperatur pemanasan minyak mentah tersebut. Pada setiap temperatur tertentu dari proses destilasi akan dihasilkan produk-produk berbasis minyak. Berikut merupakan jenis-jenis dari aspal hasil destilasi:

a. Aspal Keras

Pada proses Destilasi fraksi ringan yang terkandung dalam minyak bumi dipisahkan dengan destilasi sederhana hingga menyisakan suatu residu yang dikenal dengan nama aspal keras. Dalam proses destilasi ini, aspal keras baru dihasilkan melalui proses destilasi hampa pada temperatur sekitar 480° C. Temperatur ini bervariasi tergantung pada sumber minyak mentah yang disuling atau tingkat aspal keras yang akan dihasilkan. Untuk menghasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang diinginkan, proses penyulingan harus ditangani sedemikian rupa sehingga dapat mengontrol sifat-sifat aspal keras yang dihasilkan. Hal ini sering dilakukan dengan mencampur berbagai variasi minyak mentah bersama-sama sebelum proses destilasi dilakukan. Pencampuran ini nantinya agar dihasilkan aspal keras dengan sifat-sifat yang bervariasi, sesuai dengan sifat-sifat yang diinginkan. Selain melalui proses destilasi hampa dimana aspal dihasilkan dari minyak mentah dengan pemanasan dan penghampaan, aspal keras juga dapat dihasilkan melalui proses ekstraksi zat pelarut. Dalam proses ini fraksi minyak (bensin, solar, dan minyak tanah) yang terkandung dalam minyak mentah, dikeluarkan sehingga meninggalkan aspal sebagai residu. Aspal keras yang dihasilkan dengan sifat-sifat yang diinginkan melalui proses penyulingan yang ditangani sedemikian

rupa biasanya digunakan untuk bahan pembuatan AC (*Asphalt Concrete*). Jenis-jenisnya adalah sebagai berikut :

1. Aspal penetrasi rendah 40/50, digunakan untuk kasus:
Jalan dengan volume lalu lintas tinggi dan daerah dengan cuaca iklim panas.
2. Aspal penetrasi rendah 60/70, digunakan untuk kasus:
Jalan dengan volume lalu lintas sedang/tinggi dan daerah dengan cuaca iklim panas.
3. Aspal penetrasi tinggi 80/90, digunakan untuk kasus:
Jalan dengan volume lalu lintas sedang/rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.
4. Aspal penetrasi tinggi 100/110, digunakan untuk kasus:
Jalan dengan volume lalu lintas rendah dan daerah dengan cuaca iklim dingin.

b. Aspal Cair

Aspal cair dihasilkan dengan melarutkan aspal keras dengan bahan pelarut berbasis minyak. Aspal ini dapat juga dihasilkan secara langsung dari proses destilasi, dimana dalam proses ini raksi minyak ringan terkandung dalam minyak mentah tidak seluruhnya dikeluarkan. Kecepatan menguap dari minyak yang digunakan sebagai pelarut atau minyak yang sengaja ditinggalkan dalam residu pada proses destilasi akan menentukan jenis aspal cair yang dihasilkan. Aspal cair dibedakan dalam beberapa jenis, yaitu:

1. Aspal Cair Cepat Mantap (*RC = Rapid Curing*), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya adalah bensin
2. Aspal Cair Mantap Sedang (*MC = Medium Curing*), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya tidak begitu cepat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini biasanya adalah minyak tanah
3. Aspal Cair Lambar Mantap (*SC = Slow Curing*), yaitu aspal cair yang bahan pelarutnya lambat menguap. Pelarut yang digunakan pada aspal jenis ini adalah solar.

- c. Aspal Emulsi Aspal emulsi dihasilkan melalui proses pengemulsian aspal keras. Pada proses ini partikel-partikel aspal keras dipisahkan dan dibersihkan dalam air yang mengandung *emulsifer (emulgator)*. Partikel aspal yang terdispersi ini

berukuran sangat kecil bahkan sebagian besar berukuran sangat kecil bahkan sebagian besar berukuran koloid. Jenis emulsifier yang digunakan sangat mempengaruhi jenis dan kecepatan pengikatan aspal emulsi yang dihasilkan. Berdasarkan muatan listrik zat pengemulsi yang digunakan, Aspal emulsi yang dihasilkan dapat dibedakan menjadi:

1. Aspal emulsi *Anionik*, yaitu aspal emulsi yang berion negative
 2. Aspal emulsi *Kationik*, yaitu aspal emulsi yang berion positif
 3. Aspal emulsi non-Ionik, yaitu aspal emulsi yang tidak berion (netral)
3. Aspal Modifikasi Aspal modifikasi dibuat dengan mencampur aspal keras dengan suatu bahan tambah. *Polymer* adalah jenis bahan tambah yang sering di gunakan saat ini, sehingga aspal modifikasi sering disebut juga aspal *polymer*. Antara lain berdasarkan sifatnya, ada dua jenis bahan *polymer* yang biasanya digunakan untuk tujuan ini, yaitu:
- a. Aspal *Polymer Plastomer* Seperti halnya dengan aspal *polymer elastomer*, penambahan bahan *polymer plastomer* pada aspal keras juga dimaksudkan untuk meningkatkan sifat *rheologi* baik pada aspal keras dan sifat fisik campuran beraspal. Jenis *polymer plastomer* yang telah banyak digunakan antara lain adalah EVA (*Ethylene Vinyle Acetate*), *Polypropilene*, dan *Polyethilene*. Presentase penambahan polymer ini kedalam aspal keras juga harus ditentukan berdasarkan pengujian laboratorium, karena penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu penambahan ini dapat memperbaiki sifat-sifat *rheologi* aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebihan justru akan memberikan pengaruh yang negatif.
 - b. Aspal *Polymer Elastomer* dan karet Aspal *Polymer elastomer* dan karet adalah jenis – jenis polyer elastomer yang SBS (*Styrene Butadine Sterene*), SBR (*Styrene Butadine Rubber*), SIS (*Styrene Isoprene Styrene*), dan karet adalah jenis *polymer elastomer* yang biasanya digunakan sebagai bahan pencampur aspal keras. Penambahan *polymer* jenis ini dimaksudkan untuk memperbaiki sifat *rheologiaspal*, antara lain penetrasi, kekentalan, titik lembek dan elastisitas aspal keras. Campuran beraspal yang dibuat dengan aspal *polymer elastomer* akan

memiliki tingkat elastisitas yang lebih tinggi dari campuran beraspal yang dibuat dengan aspal keras. Presentase penambahan bahan tambah (adiktif) pada pembuatan aspal polymer harus ditentukan berdasarkan pengujian labolatorium, karena penambahan bahan tambah sampai dengan batas tertentu memang dapat memperbaiki sifat-sifat rheologi aspal dan campuran tetapi penambahan yang berlebih justru akan memberikan pengaruh yang negatif.

2.1.3. Klasifikasi aspal

Aspal keras dapat diklasifikasikan kedalam tingkatan (*grade*) atau kelas berdasarkan tiga sistem yang berbeda, yaitu viskositas, viskositas setelah penuaan dan penetrasi. Masing-masing sistem mengelompokkan aspal dalam tingkatan atau kelas yang berbeda pula. Dari ketiga jenis sistem pengklasifikasian aspal yang ada, yang paling banyak digunakan adalah sistem pengklasifikasian berdasarkan viskositas dan penetrasi dapat dilihat pada Tabel 2.1 – 2.3.

Tabel 2.1: Klasifikasi aspal keras berdasarkan viskositas (Departemen Permukiman

Pengujian	Satuan	STANDAR VISKOSITAS					
		AC-2,5	AC-5	AC-10	AC-20	AC-30	AC-40
Viskositas 60 ^o C	poise	250±50	500±100	1000±200	2000±400	3000±600	4000±800
Viskositas min. 135 ^o C	cst	125	175	250	300	350	400
Penetrasi 25 ^o C, 100 gram, 5 detik.	0,1 mm	220	140	80	60	50	40
Titik nyala	^o C	162	177	219	232	232	232
Kelarutan dalam Trichlorethylene	%	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0
Tes residu dari TFOT							
- Penurunan berat	%	-	1,0	0,5	0,5	0,5	0,5
- Viskositas max, 60 ^o C	poise	1000	2000	4000	8000	12000	16000
- Daktilitas 25 ^o C, 5 cm/menit	cm	100	100	75	50	40	25

Tabel 2.2: Klasifikasi aspal keras berdasarkan hasil RTFOT (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Tes Residu (AASHTO T 240)	Satuan	VISKOSITAS				
		AR-10	AR-20	AR-40	AR-80	AR-160
Viskositas 60 ^o C	poise	1000±250	2000±500	4000±1000	8000±2000	16000±4000
Viskositas min. 135 ^o C	cst	140	200	275	400	550
Penetrasi 25 ^o C, 100 gram, 5 detik.	0,1 mm	65	40	25	20	50
Penetrasi sisa 25 ^o C, 100 gram, 5 detik.		%	-	40	45	50
Terhadap penetrasi awal						
Sifat Aspal keras segar						
Titik Nyala min	°C	205	219	227	232	238
Kelarutan dalam Trichloroethylene min	%	99,0	99,0	99,0	99,0	99,0

Tabel 2.3: Klasifikasi aspal berdasarkan penetrasi (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Sifat Fisik	Satuan	Tingkat Penetrasi Aspal		
		Pen. 40	Pen. 60	Pen. 80
Penetrasi, 25 ^o C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	40-59	60-79	80-99
Titik Lembek, 25 ^o C	°C	51-63	50-58	46-54
Titik nyala	°C	> 200	> 200	> 225
Daktilitas, 25 ^o C	cm	> 100	> 100	> 100
Kelarutan dalam Trichloroethylene	%	> 99	> 99	> 99
Penurunan berat	%	< 0,8	< 0,8	< 1,0
Berat Jenis		> 1,0	> 1,0	> 1,0
Penetrasi Residu, 25 ^o C, 100 gram, 5 detik	0,1 mm	> 58	> 54	> 50
Daktilitas °C cm	cm	-	> 50	> 75

2.1.4 Campuran Beraspal

Campuran beraspal merupakan campuran yang terdiri dari kombinasi agregat kasar, agregat halus dan filler yang dicampur dengan aspal. Pencampuran dilakukan sedemikian rupa sehingga permukaan agregat terselimuti aspal dengan seragam. Campuran beraspal terdiri dari dua keadaan, panas (*hotmix*) dan dingin (*coldmix*).

2.1.4.1 Jenis Campuran Beraspal

Jenis campuran beraspal dapat dibagi tiga berdasarkan jumlah lapisan dan jenis agregat yang digunakan sebagai konstruksi jalan, yaitu:

1. Laston (lapisan aspal beton / AC / *Asphalt Concrete*) Laston adalah lapis permukaan atau lapis fondasi yang terdiri atas tiga lapisan yaitu:
 - a. Lapis fondasi (AC-Base / *Asphalt Concrete-Base*):
adalah lapisan pertama yang berfungsi sebagai fondasi jalan.
 - b. Lapis permukaan antara (AC-BC / *Asphalt Concrete-Binder Course*):
adalah lapisan kedua yang berada di antara AC-Base dan AC-WC yang berfungsi untuk mengikat kedua lapisan tersebut.
 - c. Lapis aus (AC-WC / *Asphalt Concrete-Wearing Course*):
adalah lapisan ketiga yang berfungsi sebagai penahan keausan akibat berat kendaraan, gesekan ban kendaraan dan pengaruh cuaca.
2. Lataston (lapis tipis aspal beton / HRS / *Hot Rolled Sheet*) Lataston adalah lapis permukaan berupa mortar pasir aspal yang diberi sisipan butiran kasar dari agregat yang bergradasi senjang dengan dominasi pasir dan aspal keras, dihampar dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.
 - a. Lapis fondasi (HRS-Base / *Hot Rolled Sheet-Base*) :adalah lapisan pertama yang berfungsi sebagai fondasi jalan.
 - b. Lapis aus (HRS-WC / *Hot Rolled Sheet-Wearing Course*) : adalah lapisan kedua yang berfungsi sebagai penahan keausan akibat berat kendaraan, gesekan ban kendaraan dan pengaruh cuaca.

3. Latasir (lapis tipis aspal pasir / *Sand Sheet*) Latasir adalah lapis penutup permukaan jalan yang terdiri atas agregat halus atau pasir atau campuran keduanya dan aspal keras yang dicampur, dihamparkan dan dipadatkan dalam keadaan panas pada temperatur tertentu.

2.2. Abu cangkang sawit

Abu cangkang sawit atau abu terbang merupakan salah satu produk sisa dari proses pembakaran diruang bakar suatu pembangkit, *abu cangkang sawit* ini biasanya berbentuk partikel-partikel halus yang keberadaannya dapat membahayakan kesehatan manusia jika tidak ditangani dengan benar. Seiring dengan kemajuan teknologi maka saat ini keberadaan *abu cangkang sawit* tidak hanya sebagai limbah tidak bermanfaat tetapi telah dipergunakan untuk campuran beragam jenis produk seperti semen, bata tahan api dan metal matrix komposit.

2.2.1 Filler Abu Cangkang Sawit

Abu cangkang sawit ialah limbah hasil pembakaran cangkang sawit pada pengolahan kelapa sawit (pks) yang berbentuk halus, bundar dan bersifat *pozolanik* (SNI 03-6414-2002). Abu terbang adalah bagian dari abu bakar yang berupa bubuk halus dan ringan yang diambil dari campuran gas tungku pembakaran yang menggunakan bahan cangkang sawit. Abu terbang diambil secara mekanik dengan sistem pengendapan *electrostatik*. Abu terbang termasuk bahan *pozolan* buatan. Karena sifatnya yang *pozolanik*, sehingga abu terbang dapat dimanfaatkan sebagai bahan pengganti sebagian pemakaian semen, baik untuk adukan maupun untuk campuran beton. Keuntungan lain dari abu terbang yang mutunya baik ialah dapat meningkatkan ketahanan / keawetan campuran aspal terhadap ion sulfat dan juga dapat menurunkan panas hidrasi semen. Komponen terbesar yang terkandung dalam *fly ash* adalah *silika* (SiO_2), alumina (Al_2O_3), oksida kalsium (CaO) dan oksida besi (Fe_2O_3). *Fly ash* banyak digunakan dan diakui secara luas sebagai campuran cement, concrete dan material-material khusus lainnya. Densitas *fly ash* berkisar antara 1,3 g/cm³ dan 4,8 g/cm³, besar densitas tersebut tergantung dari unsur kimia dan porositas yang terjadi di dalamnya.

Abu terbang batubara umumnya dibuang di ash lagoon atau ditumpuk begitu saja didalam area industri. Penumpukan abu terbang ini menimbulkan masalah bagi lingkungan. Berbagai penelitian mengenai pemanfaatan abu terbang batubara sedang dilakukan untuk meningkatkan nilai ekonomisnya serta mengurangi dampak buruknya terhadap lingkungan. Saat ini abu terbang digunakan dalam pabrik semen sebagai salah satu bahan campuran pembuat beton. Selain itu, sebenarnya abu terbang batubara memiliki berbagai kegunaan yang amat beragam, yaitu:

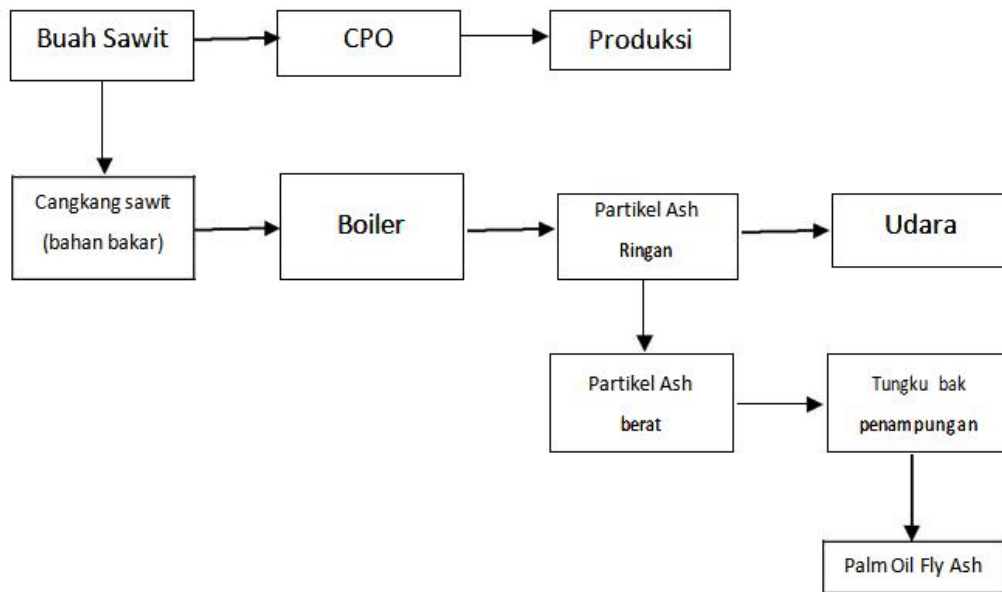
1. Penyusun beton untuk jalan dan bendungan
2. Penimbun lahan bekas pertambangan
3. *Recovery magnetic, cenosphere*, dan karbon
4. Bahan baku keramik, gelas, batu bata, dan *refraktori*
5. Bahan penggosok (*polisher*)
6. *Filler* aspal, plastik, dan kertas
7. Pengganti dan bahan baku semen
8. Aditif dalam pengolahan limbah (waste stabilization)
9. Konversi menjadi *zeolit dan adsorben*

2.2.2. Sifat Kimia Fly Ash cangkang Sawit

Komponen utama dari abu terbang batubara yang berasal dari pembangkit listrik adalah *silika*(SiO_2), *alumina*, (Al_2O_3), *besioksida*(Fe_2O_3), *kalsium*(CaO) dan sisanya adalah *magnesium*, *potasium*, *sodium*, *titanium* dan belerang dalam jumlah yang sedikit. Sifat kimia dari abu terbang dipengaruhi oleh jenis jenis sawit yang dibakar dan teknik penyimpanan serta penanganannya. Pembakaran menghasilkan abu terbang dengan kalsium dan *magnesium oksida* lebih banyak dari pada jenis *bituminous*. Namun, memiliki kandungan *silika*, *alumina*, dan karbon yang lebih sedikit dari pada *bituminous*. Berikut merupakan tabel sifat kimia *fly ash* batubara.

2.2.3. Palm Oil Fly Ash (Abu Terbang Kelapa Sawit)

Palm oil fly ash adalah sisa dari pembakaran pada boiler yang berupa abu dengan jumlah yang terus meningkat sepanjang tahun yang sampai sekarang masih belum dimanfaatkan. Proses pembuatannya dapat dilihat pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1: Diagram alir *Palm Oil Fly Ash*.

Dari hasil proses pembuatan *Crude Palm Oil* (CPO) maka akan di hasilkan limbah padat di antaranya serabut buah dan cangkang kelapa sawit yang dapat mencemari lingkungan apabila tidak dimanfaatkan dan dibiarkan. Sebagian Pabrik Kelapa Sawit (PKS) hal ini tidak menjadi masalah bagi karena limbah ini cangkang dan serabut buah dapat digunakan sebagai bahan bakar pada boiler. Limbah padat berupa cangkang dan serat digunakan sebagai bahan bakar ketel (*boiler*) untuk menghasilkan energi mekanik dan panas. Uap dari boiler dimanfaatkan untuk menghasilkan energi listrik dan untuk merebus TBS (tandan buah segar) sebelum diolah di dalam pabrik.

Cangkang dan serat buah sawit yang sudah terbakar, akan menghasilkan sisa-sisa pembakaran yang nantinya akan menjadi limbah daripada boiler atau *furnance* (tungku pembakaran).

2.3. Agregat

Agregat adalah butir-butir batu pecah, kerikil, pasir atau mineral lain, baik yang berasal dari alam maupun buatan yang berbentuk mineral padat berupa ukuran besar maupun kecil atau fragmen-fragmen.

2.3.1 Jenis-jenis agregat

Agregat dapat berupa material alam atau buatan, agregat menurut proses pengolahannya dapat dibagi atas tiga jenis:

1. Agregat alam Dapat dipergunakan sebagaimana bentuknya di alam dengan sedikit proses pengolahan. Agregat ini terbentuk melalui proses erosi dan degradasi. Agregat dari alam dapat diklasifikasikan tiga kategori secara geologis yaitu:
 - a. Batuan beku, batuan ini umumnya berbentuk kristal yang dibentuk akibat membekunya material magma pada rekahan bumi.
 - b. Batuan sedimen, batuan ini terbentuk dari deposit material yang tidak larut (seperti batuan yang ada pada dasar laut atau danau), material ini terbentuk karena pemanasan dan tekanan, batuan sedimen biasanya berlapis-lapis dan diklasifikasikan berdasarkan mineral yang dominan seperti kapur, marmer, *siliceous*, *argillaceous*.
 - c. Batuan *metamorphic*, batuan ini berasal dari lelehan atau sedimen yang terkena panas dan tekanan cukup tinggi yang merubah truktur mineralnya sehingga berbeda dari bentuk asalnya.
2. Agregat melalui proses pengolahan Digunung-gunung atau dibukit-bukit dan sungai-sungai sering ditemui agregat yang masih berbentuk dan berukuran besar, sehingga diperlukan proses pengolahan terlebih dahulu sebelum dapat digunakan sebagai agregat pada konstruksi jalan.
3. Agregat buatan Agregat yang merupakan mineral pengisi/filler diperoleh dari hasil sampingan pabrik-pabrik semen tau mesin pemecah batu.

2.3.2. Ukuran Butir

Ukuran agregat dalam suatu campuran bersapal terdistribusi dari yang berukuran besar sampai ke yang kecil. Semakin besar ukuran maksimum agregat yang dipakai semakin banyak variasi ukurannya dalam campuran tersebut. Ada dua istilah yang biasanya digunakan berkenaan dengan ukuran butir agregat, yaitu:

- Ukuran maksimum, yang didefinisikan sebagai ukuran saringan terkecil yang meloloskan 100% agregat.
- Ukuran nominal maksimum, yang didefinisikan sebagai ukuran saringan terbesar yang masih menahan maksimum dari 10% agregat.

Istilah-istilah lain yang biasa digunakan sehubungan dengan ukuran agregat yaitu:

- Agregat kasar: Agregat yang tertahan saringan No. 8 (2,36 mm).
- Agregat halus: Agregat yang lolos saringan No. 8 (2,36 mm).
- Mineral pengisi: Fraksi dari agregat halus yang lolos saringan no. 200 (2,36 mm) minum 75% terhadap berat total agregat.
- Mineral abu: Fraksi dari agregat halus yang 100% lolos saringan no. 200 (0,075 mm)

Mineral pengisi dan mineral abu dapat terjadi secara alamiah atau dapat juga dihasilkan dari proses pemecahan batuan atau dari proses buatan. Mineral ini penting artinya untuk mendapatkan campuran yang padat, berdaya tahan dan kedap air. Walaupun begitu, kelebihan atau kekurangan sedikit saja dari mineral ini akan menyebabkan campuran terlalu kering atau terlalu basah. Perubahan sifat campuran ini bisa terjadi hanya karena sedikit perubahan dalam jumlah atau sifat dari bahan pengisi atau mineral debu yang digunakan. Oleh karena itu, jenis dan jumlah mineral pengisi atau debu yang digunakan dalam campuran haruslah dikontrol dengan seksama.

2.3.3. Sifat Agregat

Sifat dan kualitas agregat menentukan kemampuannya dalam memikul beban lalu-lintas. Agregat dengan kualitas dan sifat baik dibutuhkan untuk lapisan permukaan yang langsung memikul beban lalu lintas dan menyebarkannya ke lapisan di bawahnya. Sifat agregat yang menentukan kualitasnya sebagai bahan konstruksi perkerasan jalan dapat dikelompokkan menjadi 3 kelompok yaitu:

1. Kekuatan dan keawetan (*strength and durability*) lapisan perkerasan dipengaruhi oleh:
 - a. Gradasi
 - b. Ukuran maksimum
 - c. Kadar lempung
 - d. Kekerasan dan ketahanan
 - e. Bentuk butir
 - f. Tekstur permukaan
2. Kemampuan dilapisi aspal dengan baik, dipengaruhi oleh:
 - a. Porositas
 - b. Kemungkinan basah
 - c. Jenis agregat
3. Kemudahan dalam pelaksanaan dan menghasilkan lapisan yang nyaman dan aman, dipengaruhi oleh:
 - a. Tahanan geser (*skid resistance*)
 - b. Campuran yang memberikan kemudahan dalam pelaksanaan (*bituminous mix workability*).

2.3.4. Gradasi

Seluruh spesifikasi perkerasan mensyaratkan bahwa partikel agregat harus berada dalam rentang ukuran tertentu dan untuk masing-masing ukuran partikel harus dalam proporsi tertentu. Distribusi dari variasi ukuran butir agregat ini disebut gradasi agregat. Gradasi agregat mempengaruhi besarnya rongga dalam campuran dan menentukan workabilitas (sifat mudah dikerjakan) dan stabilitas

campuran. Untuk menentukan apakah gradasi agregat memenuhi spesifikasi atau tidak, diperlukan suatu pemahaman bagaimana ukuran partikel dan gradasi agregat diukur.

Gradasi agregat ditentukan oleh analisis saringan, dimana contoh agregat harus melalui satu set saringan. Ukuran saringan menyatakan ukuran bukaan jaringan kawatnya dan nomor saringan menyatakan banyaknya bukaan jaringan kawat per inci persegi dari saringan tersebut.

Gradasi agregat dinyatakan dalam persentase berat masing-masing contoh yang lolos pada saringan tertentu. Persentase ini ditentukan dengan menimbang agregat yang lolos atau tertahan pada masing-masing saringan.

Gradasi agregat dapat dibedakan atas:

1. Gradasi seragam (*uniform graded*) / gradasi terbuka (*open graded*)

Adalah gradasi agregat dengan ukuran yang hampir sama. Gradasi seragam disebut juga gradasi terbuka (*open graded*) karena hanya mengandung sedikit agregat halus sehingga terdapat banyak rongga/ruang kosong antar agregat. Campuran beraspal yang dibuat dengan gradasi ini bersifat porus atau memiliki permeabilitas yang tinggi, stabilitas rendah dan memiliki berat isi yang kecil.

2. Gradasi rapat (*dense graded*)

Adalah gradasi agregat dimana terdapat butiran dari agregat kasar sampai halus, sehingga sering juga disebut gradasi menerus, atau gradasi baik (*well graded*).

Suatu campuran dikatakan bergradasi sangat rapat bila persentase lolos dari masing-masing saringan memenuhi Pers. 2.1.

$$P = 100\left(\frac{d}{D}\right)^n \quad (2.1)$$

Dengan pengertian

d = Ukuran saringan yang ditinjau

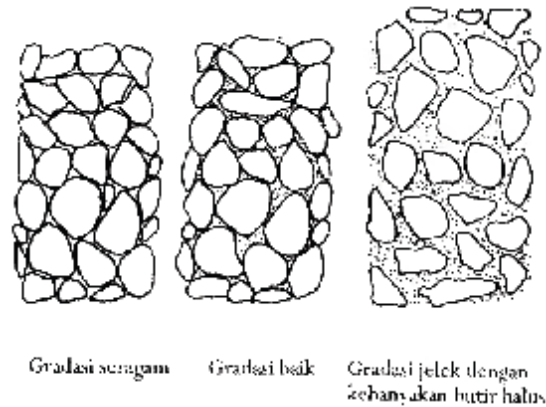
D = Ukuran agregat maksimum dari gradasi tersebut

n = 0,35 – 0,45

Campuran dengan gradasi ini memiliki *stabilitas* yang tinggi, agak kedap terhadap air dan memiliki berat isi yang besar.

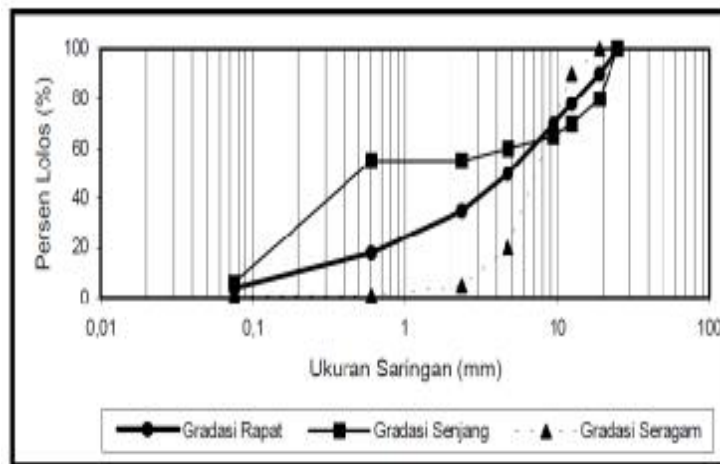
3. Gradasi senjang (*gap graded*)

Adalah gradasi agregat dimana ukuran agregat yang ada tidak lengkap atau ada fraksi agregat yang tidak ada atau jumlahnya sedikit sekali, oleh sebab itu gradasi ini disebut juga gradasi senjang (*gap grade*). Campuran agregat dengan gradasi ini memiliki kualitas peralihan dari kedua gradasi yang disebutkan di atas.



Gambar 2.2: Jenis gradasi agregat (Sukirman, 1999).

Bentuk gradasi agregat biasanya digambarkan dalam suatu grafik hubungan antara ukuran saringan dinyatakan pada sumbu horizontal dan prosentase agregat yang lolos saringan tertentu dinyatakan pada sumbu vertikal. Contoh macam-macam gradasi agregat secara tipikal ditunjuk pada Gambar 2.3.



Gambar 2.3: Contoh tipikal macam-macam gradasi agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.5. Gradasi Agregat Gabungan

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat dan bahan pengisi, harus memenuhi batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4. Rancangan dan Perbandingan Campuran untuk gradasi agregat gabungan harus mempunyai jarak terhadap batas-batas yang diberikan dalam Tabel 2.4.

Tabel 2.4: Gradasi Agregat Gabungan Untuk Campuran Aspal (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

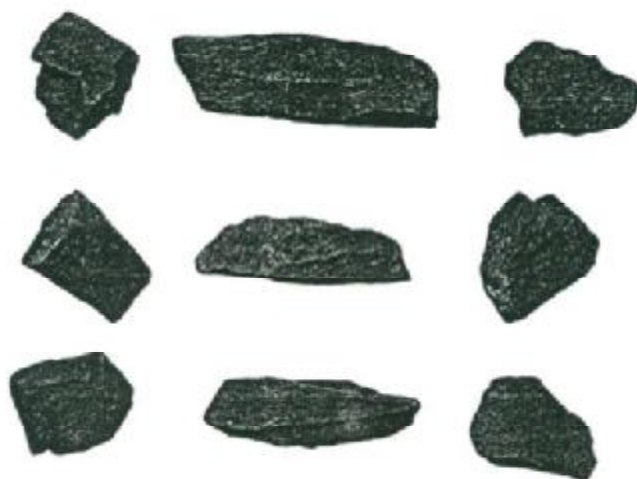
Ukuran Ayakan (mm)	% Berat Yang lolos Terhadap total Agregat Dalam campuran									
	Latasir (SS)		Latasir (HRS)				Laston (AC)			
	Kelas A	Kelas B	Gradasi Senjang		Gradasi Semi Senjang		WC	BC	Base	
			WC	Base	WC	Base	WC	BC	Base	
37.5										
25								100	90-100	
19	100	100	100	100	100	100	100	90-100	76-100	
12.5			90-100	90-100	87-100	90-100	90-100	75-90	60-78	
9.5	90-100		75-85	65-90	55-88	55-70	77-90	66-82	52-71	
4.75							53-69	46-64	35-54	
2.36		75-100	50-75	35-55	50-62	32-44	33-53	30-49	23-41	
1.18							21-40	18-38	13-30	
0.6			35-60	15-35	20-45	15-35	14-30	12-28	10-22	
0.3					15-35	5-35	9-22	7-20	6-15	
0.15							6-15	5-13	4-10	
0.075	10-15	8-13	6-10	2-9	6-10	4-8	4-9	4-8	3-7	

2.3.6. Bentuk Butir Agregat

Agregat memiliki bentuk butir dari bulat (*rounded*) sampai bersudut (*angular*), seperti yang diilustrasikan pada Gambar 2.3. Bentuk butir agregat ini dapat mempengaruhi *workabilitas* campuran perkerasan selama penghamparan, yaitu dalam hal energi pemadatan yang dibutuhkan untuk memadatkan campuran, dan kekuatan struktur perkerasan selama umur pelayanannya.

Bentuk partikel agregat yang bersudut memberikan ikatan antara agregat (*agregat interlocking*) yang baik dapat menahan perpindahan (*displacement*) agregat yang mungkin terjadi. Agregat yang bersudut tajam, berbentuk kubikal dan agregat yang memiliki lebih dari satu bidang pecah akan menghasilkan ikatan antar agregat yang paling baik.

Dalam campuran beraspal, penggunaan agregat yang bersudut saja atau bulat saja tidak akan menghasilkan campuran beraspal yang baik. Kombinasi penggunaan kedua bentuk partikel agregat ini sangatlah dibutuhkan untuk menjamin kekuatan pada struktur perkerasan dan *workabilitas* yang baik dari campuran tersebut. Yang ditunjukkan pada Gambar 2.4.



Gambar 2.4: Tipikal bentuk butir kubikal, lonjong, dan pipih (DepartemenPermukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

2.3.7. Pengujian Agregat

Pengujian agregat diperlukan untuk mengetahui karakteristik fisik dan mekanik agregat sebelum digunakan sebagai bahan campuran beraspal panas. Dalam spesifikasi dicantumkan persyaratan rentang karakteristik kualitas agregat yang dapat digunakan. Misalnya persyaratan nilai maksimum penyerapan agregat dimaksudkan untuk menghindari penggunaan agregat yang mempunyai nilai penyerapan yang tinggi karena akan mengakibatkan daya serap terhadap aspal besar.

Jenis agregat yang ada bervariasi, misalnya pasir vulkanis yang mempunyai tahanan geser tinggi dan akan membuat campuran beraspal sangat kuat. Pasir yang sangat mengikat, misalnya kuarsa umumnya sukar didapatkan. Pasir laut yang halus mudah didapatkan tetapi menyebabkan campuran beraspal relatif rendah kekuatannya.

2.3.7.1. Pengujian Analisis Ukuran Butir (gradasi)

Gradasi agregat adalah pembagian ukuran butiran yang dinyatakan dalam persen dari berat total. Tujuan utama pekerjaan analisis ukuran butir agregat adalah untuk pengontrolan gradasi agar diperoleh konstruksi campuran yang bermutu tinggi.

Gradasi ditentukan dengan melakukan penyaringan terhadap contoh bahan melalui sejumlah saringan yang tersusun sedemikian rupa dari ukuran besar hingga kecil, bahan yang tertinggal dalam tiap saringan kemudian ditimbang.

Ukuran saringan yang digunakan ditentukan dalam spesifikasi. Analisis saringan ada 2 macam yaitu analisis saringan kering dan analisis saringan dicuci (analisis saringan basah). Analisis saringan kering biasanya digunakan untuk pekerjaan rutin untuk agregat normal. Namun bila agregat tersebut mengandung abu yang sangat halus atau mengandung lempung, maka diperlukan analisis saringan dicuci. Untuk agregat halus umumnya digunakan analisis saringan dicuci (basah).

Tabel 2.5: Ukuran saringan menurut ASTM (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).



No. Saringan	Lubang saringan	
	inch	mm
1 1/2 in.	1,50	38,1
1 in.	1,00	25,4
3/4 in.	0,75	19,0
1/2 in.	0,50	12,7
3/8 in.	0,375	9,51
No. 4	0,187	4,76
No. 8	0,0937	2,38
No. 16	0,0469	1,19
No. 30	0,0234	0,595
No. 50	0,0117	0,297
No. 100	0,0059	0,149
No.200	0,0029	0,074

2.3.7.2. Berat Jenis (*Specific Gravity*) dan Penyerapan (*absorpsi*)

1. Berat Jenis

Berat jenis suatu agregat adalah perbandingan berat dari suatu volume bahan terhadap berat air dengan volume yang sama pada temperatur 20°-25°C (68°-77° F). Dikenal beberapa macam Berat Jenis agregat, yang ditunjukkan pada Gambar 2.5:

- a. Berat jenis semu (*apparent specific gravity*)
- b. Berat jenis bulk (*bulk specific gravity*)
- c. Berat jenis efektif (*effective specific gravity*)

	<p>Berat Jenis Bulk</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeabel dan Permeabel Voids)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p>
	<p>Berat Jenis Semu (Apparent)</p> <p>= Berat kering oven / (Vol Agregat + Vol Impermeabel)</p> <p>ASTM C127 dan 128</p>

Gambar 2.5: Berat Jenis Agregat (Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah, 2002).

Berat Jenis bulk, volume dipandang volume menyeluruh agregat, termasuk volume pori yang dapat terisi oleh air setelah direndam selama 24 jam. Berat Jenis Semu, volume dipandang sebagai volume menyeluruh dari agregat, tidak termasuk volume pori yang dapat terisi air setelah perendaman selama 24 jam. Berat Jenis Efektif, volume dipandang volume menyeluruh dari agregat tidak termasuk volume pori yang dapat menghisap aspal.

Berat Jenis dapat dinyatakan dengan Pers. 2.2 - 2.12:

Berat Jenis Semu:

$$Gsa = \frac{Ws}{Vs.\gamma_w} \quad (2.2)$$

Berat Jenis Curah:

$$Gsb = \frac{Ws}{(Vs+V_{pp}).\gamma_w} \quad (2.3)$$

Berat Jenis Efektif:

$$Gse = \frac{Ws}{(Vs+V_{pp}-V_{ap}).\gamma_w} \quad (2.4)$$

Dengan pengertian:

Ws = Berat agregat kering
 γ_w = Berat Isi air = 1g/cm³

- V_s = Volume bagian padat agregat
 V_{pp} = Volume pori meresap aspal
 V_{pp-Vap} = Volume pori meresap air yang tidak meresap aspal

Pemilihan macam berat jenis untuk suatu agregat yang digunakan dalam rancangan campuran beraspal, dapat berpengaruh besar terhadap banyaknya rongga udara yang diperhitungkan. Bila digunakan Berat Jenis Semu maka aspal dianggap dapat terhisap oleh semua pori yang dapat menyerap air. Bila digunakan Berat Jenis Bulk, maka aspal dianggap tidak dapat dihisap oleh pori-pori yang dapat menyerap air. Konsep mengenai Berat Jenis Efektif dianggap paling mendekati nilai sebenarnya untuk menentukan besarnya rongga udara dalam campuran beraspal. Bila digunakan berbagai kombinasi agregat maka perlu mengadakan penyesuaian mengenai Berat Jenis, karena Berat Jenis masing-masing bahan berbeda.

1. Berat Jenis dan penyerapan agregat kasar

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI 03-1969-1990. Berat Jenis Penyerapan agregat kasar dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

$$\frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (2.5)$$

- Berat Jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) =

$$\frac{Bj}{Bj - Ba} \quad (2.6)$$

- Berat Jenis semu (*apparent specific gravity*) =

$$\frac{Bk}{Bj - Ba} \quad (2.7)$$

- Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{Bj - Bk}{Bk} \times 100\% \quad (2.8)$$

Dengan pengertian:

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram

Bj = Berat benda uji kering permukaan jenuh, dalam gram

Ba = Berat benda uji kering permukaan jenuh dalam air, dalam gram

2. Berat Jenis dan penyerapan agregat halus

Alat dan prosedur pengujian sesuai dengan SNI-13-1970-1990. Berat Jenis dan Penyerapan agregat halus dihitung dengan persamaan sebagai berikut:

- Berat Jenis Curah (*bulk specific gravity*) =

$$\frac{Bk}{B+A-Bt} \quad (2.9)$$

- Berat Jenis kering permukaan jenuh (*saturated surface dry*) =

$$\frac{A}{B+A-Bt} \quad (2.10)$$

- Berat jenis semu (*apparent specific gravity*) =

$$\frac{Bk}{B+Bk-Bt} \quad (2.11)$$

- Penyerapan (*absorsi*) =

$$\frac{(A-Bk)}{Bk} \times 100\% \quad (2.12)$$

Dengan pengertian :

Bk = Berat benda uji kering oven, dalam gram

B = Berat piknometer berisi air, dalam gram

Bt = Berat piknometer berisi benda uji dan air, dalam gram

A = 500 = Berat uji dalam keadaan kering permukaan jenuh, dalam gram.

3. Penyerapan (*absorpsi*)

Agregat hendaknya sedikit berpori agar dapat menyerap aspal, sehingga terbentuklah suatu ikatan mekanis antara *film-aspal* dan butiran batu. Agregat berpori banyak akan menyerap aspal besar pula sehingga tidak ekonomis. Agregat berpori terlalu besar umumnya tidak dapat digunakan sebagai campuran beraspal.

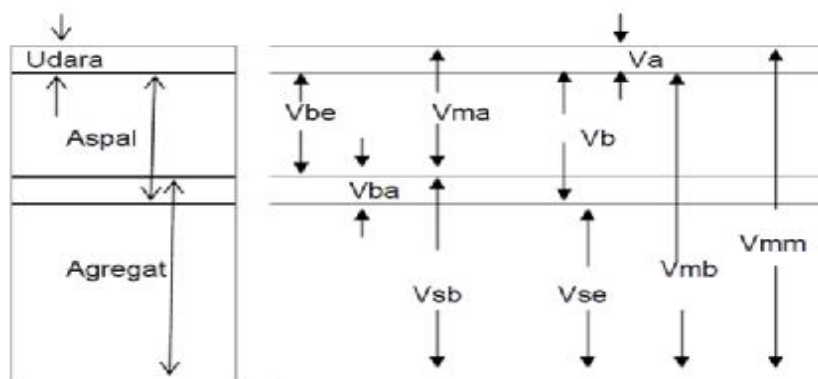
2.3.7.3. Pemeriksaan daya lekat agregat terhadap aspal

Stripping yaitu pemisahan aspal dari agregat akibat pengaruh air, dapat membuat agregat tidak cocok untuk bahan campuran beraspal karena bahan tersebut mempunyai sifat *hyrdophylik* (senang terhadap air). Jenis agregat yang menunjukkan sifat ketahanan yang tinggi terhadap pemisahaan aspal (*film-stripping*), biasanya merupakan bahan agregat yang cocok untuk campuran beraspal. Agregat semacam ini bersifat *hydrophobic* (tidak suka kepada air). Prosedur pengujian untuk menentukan kelekatan agregat terhadap aspal diuraikan pada SNI 06-2439-1991.

2.3.8. Metode Pengujian Rencana Campuran

Pengujian campuran tidak hanya dilakukan pada aspal atau agregatnya saja tetapi juga harus dilakukan terhadap campuran aspal dan agregat untuk memperoleh perbandingan dan karakteristik yang dikehendaki bagi campuran tersebut. Dalam bagian ini akan dibahas perhitungan yang seringkali dipergunakan pada pekerjaan di laboratorium untuk mengetahui karakteristik aspal beton yang telah dipadatkan.

Secara skematis campuran aspal beton yang telah dipadatkan dapat digambarkan sebagai Gambar 2.6.



Gambar 2.6: Hubungan volume dan rongga-density benda uji campuran aspal panas padat (Departemen Perumahan dan Prasarana Wilayah, 2002).

Keterangan gambar:

V_{ma} = Volume rongga dalam agregat mineral

V_{mb} = Volume contoh padat

V_{mm} = Volume tidak ada rongga udara dari campuran

V_a = Volume rongga udara

V_b = Volume aspal

V_{ba} = Volume aspal terabsorpsi

V_{be} = Volume aspal efektif

V_{sb} = Volume agregat (dengan Berat Jenis Curah)

V_{se} = Volume agregat (dengan Berat Jenis Efektif)

W_b = Berat aspal

W_s = Berat agregat

γ_w = Berat jenis air 1.0 g/cm³ (62.4 lb/ft³)

G_{mb} = Berat jenis Curah contoh campuran padat

$$\% \text{ rongga} = \left(\frac{V_a}{V_{mb}} \right) \times 100 \quad (2.13)$$

$$\% \text{ VMA} = \left(\frac{V_{be} + V_a}{V_{mb}} \right) \times 100 \quad (2.14)$$

$$\text{Density} = \left(\frac{W_b + W_s}{V_{mb}} \right) \times \gamma_w = G_{mb} \gamma_w \quad (2.15)$$

Rongga pada agregat mineral (VMA) dinyatakan sebagai persen dari total volume rongga dalam benda uji. Merupakan volume rongga dalam campuran yang tidak terisi agregat dan aspal yang terserap agregat.

Rongga pada campuran, V_a atau sering disebut VIM, juga dinyatakan sebagai persen dari total volume benda uji, merupakan volume pada campuran yang tidak terisi agregat dan aspal.

1. *Marshall Density*

Lapisan perkerasan dengan kepadatan yang tinggi akan sulit ditembus oleh air dan udara. Ini menyebabkan lapisan perkerasan akan semakin awet dan tahan lama. Campuran perkerasan yang cukup padat akan memberikan volume pori yang kecil dan perkerasan yang cukup kaku sehingga perkerasan akan mempunyai kekuatan yang cukup untuk menahan beban lalu lintas.

2. Rongga udara (*Void in the mix*)

Rongga udara dalam campuran padat dihitung dari berat jenis maksimum campuran dan berat jenis sampel padat menggunakan Pers. 2.16:

$$VIM = \frac{100 \times g}{h} - 100 \quad (2.16)$$

Keterangan:

VIM = Rongga udara dalam campuran

G = Berat jenis maksimum dari campuran

H = Berat jenis yang telah dipadatkan

Rongga udara dalam campuran merupakan bagian dari campuran yang tidak terisi oleh agregat ataupun oleh aspal. Bina Marga mensyaratkan kadar pori campuran perkerasan untuk lapisan tipis aspal beton 3%-6%.

3. Rongga udara antara agregat (VMA)

VMA menggambarkan ruangan yang tersedia untuk menampung volume efektif aspal (seluruh aspal kecuali yang diserap oleh agregat) dan volume rongga udara yang dibutuhkan untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air untuk mengisi aspal yang keluar akibat tekanan air atau beban lalu lintas.

Dengan semakin bertambahnya nilai VMA dari campuran maka semakin besar pula ruangan yang tersedia untuk lapisan aspal. Semakin tebal lapisan aspal pada agregat maka daya tahan perkerasan akan semakin meningkat.

Nilai VMA ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.17:

$$VMA = 100 - \frac{G \times b}{b_j \text{ agregat}} \quad (2.17)$$

Keterangan:

VMA = Rongga udara antara agregat

G = Berat jenis maksimum dari campuran

B = Berat jenis campuran yang telah di padatkan

4. Rongga terisi aspal (VFB)

VFB adalah merupakan persen (%) volume rongga di dalam agregat yang terisi oleh aspal. Untuk mendapatkan suatu campuran yang awet dan mempunyai tingkat oksidasi yang rendah maka pori diantara agregat halus terisi aspal cukup untuk membentuk lapisan aspal yang tebal.

Nilai VFB ini dapat dihitung dengan menggunakan Pers. 2.18:

$$VFB = 1000 \times \frac{I-k}{I} \quad (2.18)$$

VFB = Rongga terisi aspal

I = Rongga udara dalam campuran

K = Rongga udara antar agregat

5. *Marshall stability*

Marshall stability merupakan beban maksimum yang dibutuhkan untuk menghasilkan keruntuhan dari sampel campuran perkerasan ketika di uji. *Stabilitas* merupakan salah satu cara faktor penentu aspal optimum campuran aspal beton.

Angka stabilitas di dapat dari hasil pembacaan arloji tekan dikalikan dengan hasil kalibrasi cincin pengujian serta angka korelasi beban yang dapat dilihat dari tabel hasil uji.

6. *Marshall Flow*

Flow menunjukkan deformasi total dalam satuan millimeter (mm) yang terjadi pada sampel padat dari campuran perkerasan sehingga mencapai beban maksimum pada saat pengujian *Stabilitas Marshall*. Menurut *Marshall institute* batas *flow* yang diizinkan untuk lalu lintas rendah adalah 2-5 mm, lalu lintas sedang adalah 2-4 mm, lalu lintas berat 2-4 mm.

Nilai yang rendah menunjukkan bahwa campuran lembek memiliki *stabilitas* yang rendah. Bina Marga dan aspal *institute* mensyaratkan *Marshall Quotient* pada batas 200 - 300 kg/mm .

7. *Absorpsi* (penyerapan)

Absorpsi merupakan penyerapan air oleh campuran. Besarnya nilai *absorpsi* dapat dihitung dengan Pers. 2.19:

$$\text{Absorpsi} = \frac{\text{Berat campuran direndam} - \text{berat campuran}}{\text{berat campuran}} \quad (2.19)$$

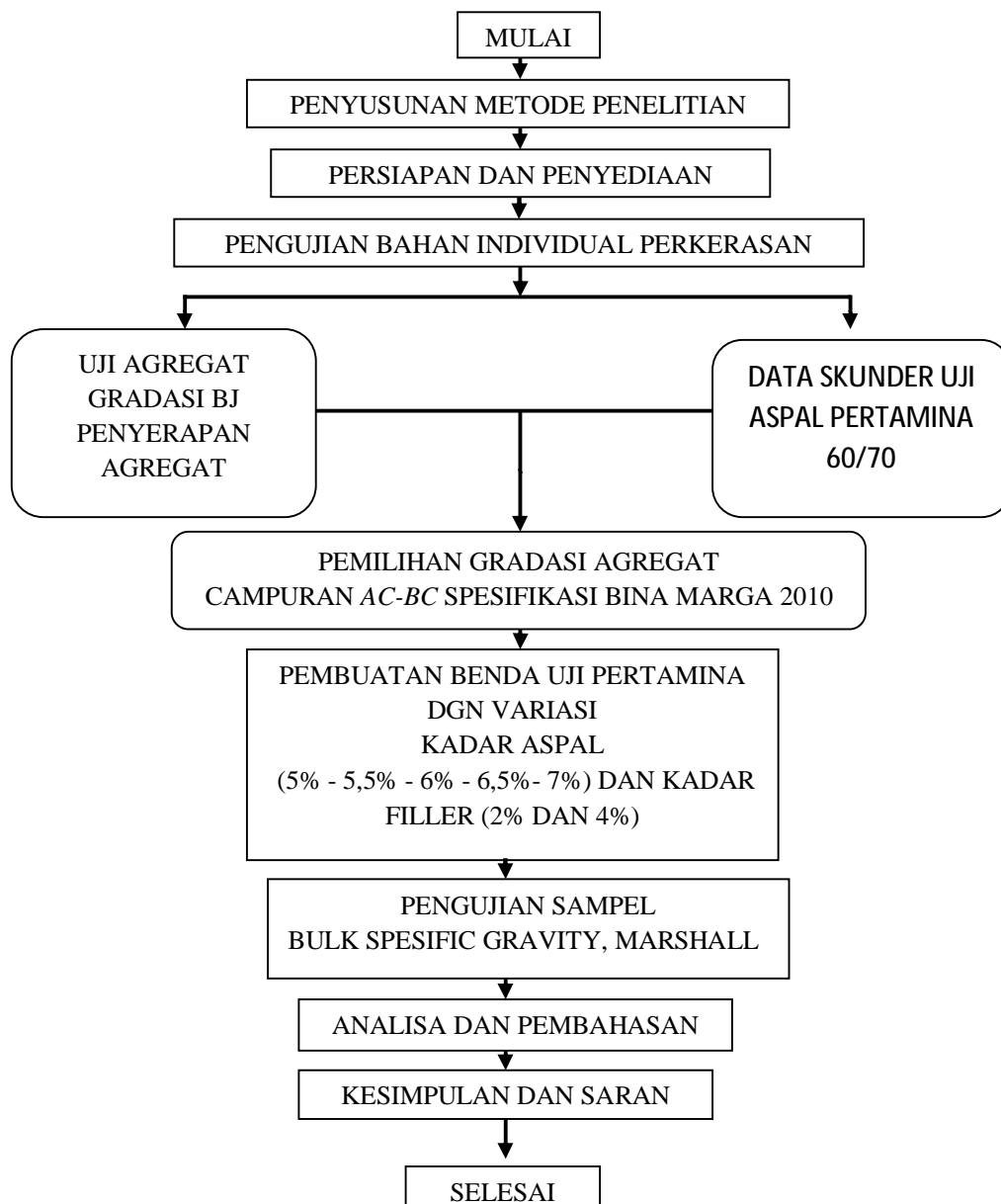
Absorpsi dalam campuran tidak boleh besar, hal ini untuk meminimalkan potensi *stripping* atau pelemahan ikatan antara aspal dan agregat.

BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

3.1 Bagan Alir Metode Penelitian

Secara garis besar kegiatan penelitian yang dilaksanakan sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1: Bagan alir penelitian.

3.2 Metode Penelitian

Tahap awal penelitian yang dilakukan di Laboratorium Teknik Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara, Medan adalah pengambilan data dan memeriksa mutu bahan aspal dan mutu agregat yang akan digunakan pada percobaan campuran.

3.3 Material Untuk Penelitian

Bahan-bahan dan material yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah Agregat kasar, Agregat halus, Aspal Pertamina, yang di dapatkan dari *Asphalt Mixing Plant* PT. Bangun Cipta Kontraktor Medan. Dan *filler* yang di gunakan adalah *Fly ash* abu cangkang sawit yang di dapatkan dari PTPN IV.

3.4 Pengumpulan Data

Data sekunder adalah data yang digunakan dari benda uji material yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di balai pengujian material. Data literatur adalah data dari bahan kuliah laporan dari pratikum dan konsultasi langsung dengan pembimbing dan asisten laboratorium tempat penelitian berkangsung.

3.5 Prosedur Penelitian

Adapun langkah-langkah dalam pelaksanaan perencanaan yaitu dengan penelitian yaitu dengan penelitian laboratorium adalah sebagai berikut :

1. Pengadaan alat dan penyediaan bahan yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
2. Pemeriksaan terhadap bahan material yang akan digunakan untuk melakukan penelitian.
3. Merencanakan contoh campuran lapis aspal beton *AC-BC*.
4. Merencanakan contoh campuran dengan pembuatan sampel benda uji.
5. Melakukan pengujian dengan alat *Marshall test*.
6. Analisa hasil pengujian sehingga diperoleh hasil dari pengujian.

3.6 Pemeriksaan Bahan Campuran

Untuk mendapatkan lapis aspal beton *AC-BC* yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya.

3.6.1 Pemeriksaan Terhadap Agregat Kasar dan Halus

Agar kualitas agregat dapat dijamin untuk mendapatkan lapis aspal beton *AC-BC* yang berkualitas maka beberapa hal yang perlu diadakan pengujian adalah:

1. Diperlukan analisa saringan untuk agregat kasar maupun agregat halus, dimana prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T47-82 atau SNI 03-1968-1990.
2. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat kasar dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T85-74 atau SNI 1969-2008.
3. Pengujian terhadap berat jenis untuk penyerapan agregat halus dengan prosedur pemeriksaan mengikuti AASHTO T84-74 atau SNI 1970-2008.
4. Pengujian pemeriksaan sifat-sifat campuran dengan *Marshall test* prosedur pemeriksaan mengikuti SNI-06-2489-1991.
5. Metode pengujian bobot isi dan rongga udara dalam agregat.
6. Metode pengujian jumlah bahan dalam agregat yang lolos saringan No. 200 (0,075) dengan prosedur pemeriksaan mengikuti SNI 03-4142-1996.

3.6.2 Pemeriksaan Terhadap Aspal

Aspal yang digunakan terdiri dari aspal minyak. Aspal minyak diambil dari AMP PT. Bangun Cipta Kontraktor, Patumbak, Deli Serdang. Aspal yang digunakan dalam penelitian ini adalah aspal Pertamina penetrasi 60/70 dan aspal Esso penetrasi 60/70.

Pemeriksaan yang dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Pemeriksaan penetrasi aspal mengikuti prosedur (SNI 2456-2011) untuk mengetahui tingkat kekerasan aspal. Kekerasan aspal diukur dengan menggunakan jarum penetrasi standart yang masuk kedalam permukaan aspal umumnya dilakukan pada suhu 25°C, dengan berat beban jarum 100 gr dalam

jangka waktu 5 detik. Semakin besar angka penetrasi aspal maka aspal tersebut semakin lunak, dan penetrasi dilakukan setelah kehilangan berat.

2. Pemeriksaan titik lembek (dengan suhu yang diamati dimulai 50°C-55°C) mengikuti SNI 2434-1991 berfungsi untuk mengetahui pada suhu berapa aspal akan digunakan meleleh. Titik lembek adalah suhu pada saat bola baja dengan berat tertentu mendesak turun suatu aspal yang terletak didalam cincin yang berukuran tertentu sehingga menyentuh plat dasar yang terletak dibawah cincin dengan tinggi tertentu.
3. Pemeriksaan berat jenis mengikuti SNI 2441-2011. Berat jenis aspal adalah perbandingan antara berat aspal dan berat air suling dengan isi yang sama pada suhu tertentu.
4. Pemeriksaan daktilitas mengikuti SNI 2432-2011. Untuk mengetahui sifat kohesi antar aspal dengan mengukur jarak terpanjang yang dapat ditarik antara dua cetakan yang berisi bitumen keras sebelum putus, pada suhu dan kecepatan tertentu.
5. Pemeriksaan titik nyala dan titik bakar dengan alat (*Cleveland oven cup*) yang mengikuti SNI 2433-2011 untuk mengikuti suhu. Dimana aspal mulai memercikkan api dan mulai terbakar. Titik nyala adalah suhu pada saat terlihatnya nyala singkat sekurang kurangnya 2 detik pada suhu titik diatas permukaan aspal. Titik bakar adalah suhu pada saat terlihatnya.

3.6.3 Alat Yang Digunakan

Alat-alat yang digunakan antara lain:

1. Saringan atau ayakan ayakan 1^{1/2}, 1, ^{3/4}, ^{1/2}, ^{3/8}, No.4, No.8, No.16, No.30, No.50, No.100, No.200 dan pan.
2. Sekop digunakan sebagai alat mengambil sampel material di laboratorium maupun pada saat pengambilan material di AMP.
3. Goni dan juga pan sebagai tempat atau wadah tempat material.
4. Timbangan kapasitas 20 kg dan timbangan kapasitas 3000 gr dengan ketelitian 0,1 gram.
5. *Shieve shaker* berfungsi sebagai alat mempermudah pengayakan material.
6. Sendok pengaduk dan spatula.

7. *Thermometer* sebagai alat pengukur suhu aspal dan juga material.
8. Piknometer dengan kapasitas 500 ml, untuk pemeriksaan berat jenis penyerapan agregat kasar dan halus.
9. Cetakan mold berbentuk silinder yang berdiameter 101,6 mm (4 in) dan tinggi 76,2 (3 in), beserta *jack hammer marshall AC-BC*.
10. *Extruder* berfungsi sebagai alat untuk mengeluarkan banda uji *Marshall* dari mold.
11. Cat dan spidol untuk menandai benda uji.
12. Penangas air (*Water bath*) dengan kedalaman 152,4 mm (6 in) yang dilengkapi dengan pengatur temperatur air $60^{\circ}\text{C} \pm 1^{\circ}\text{C}$.
13. Oven pengering material
14. Alat uji *Marshall test* dilengkapi dengan kepala penekan (*breaking head*), cincin penguji (*proving ring*) dan arloji (*dial*).

3.7 Prosedur Kerja

3.7.1 Perencanaan Campuran (*Mix Design*)

Perencanaan aspal beton meliputi perencanaan gradasi dan komposisi agregat untuk campuran serta jumlah benda uji untuk pengujian. Gradasi agregat yang digunakan dalam penelitian ini adalah gradasi menerus lapisan antara laston/AC-BC (*Asphalt Concrete Binder Course*). Dan dilihat pada gradasi yang ideal.

Sebelum melakukan pencampuran terlebih dahulu dilakukan analisa saringan masing-masing fraksi, komposisi campuran didasarkan pada fraksi agregat kasar CA (*Coarse aggregate*), MA (*Medium aggregate*), dan agregat halus FA (*Fine aggregate*) dari analisa komposisi gradasi diperoleh komposisi campuran agregat sebagai berikut:

1. Agregat kasar (CA) 1 inch = 15 %
2. Agregat kasar (CA) $\frac{3}{4}$ inch = 10 %
3. Agregat kasar (MA) $\frac{1}{2}$ inchi = 25 %
4. Agregat halus (Cr) = 45%
5. Agregat halus (Sand) = 5 %

Komposisi aspal campuran ditentukan oleh nilai kadar aspal optimum. Untuk mengetahui besarnya kadar aspal optimum untuk suatu campuran aspal dilakukan

dengan cara coba-coba. Langkah yang ditempuh adalah melakukan uji *Marshall* untuk berbagai kadar aspal. Variasi kadar aspal ditentukan dengan sedemikian rupa sehingga perkiraan besarnya kadar aspal optimum berada didalam variasi tersebut, yaitu mulai dari 5%, 5,5%, 6%, 6,5%, dan 7%.

3.7.2 Tahapan pembuatan benda uji

1. Merupakan tahap persiapan untuk mempersiapkan bahan dan alat yang akan digunakan. Menentukan persentase masing-masing butiran untuk mempermudah pencampuran dan melakukan penimbangan secara kimulatif untuk mendapatkan proporsi campuran yang lebih tepat.
2. Pisahkan agregat ke dalam fraksi-fraksi yang sudah ditentukan dengan cara penyaringan dan lakukan penimbangan.
3. Pencampuran benda uji
 - Untuk setiap benda uji diperlukan agregat dan aspal sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$ ($2,5 \pm 0,05 \text{ inc}$)
 - Panaskan agregat hingga suhu $150 \text{ }^\circ\text{C}$
 - Tuangkan aspal yang sudah mencapai tingkat kekentalan sebanyak yang dibutuhkan ke dalam agregat yang sudah dipanaskan, kemudian aduk dengan cepat sampai agregat terselimuti aspal secara merata.
4. Pemadatan benda uji
 - Bersihkan perlengkapan cetakan benda uji serta bagian muka penumbuk dengan seksama dan panaskan sampai suhu antara $90 \text{ }^\circ\text{C} - 150 \text{ }^\circ\text{C}$.
 - Letakan cetakan di atas landasan pematik dan ditahan dengan pemegang cetakan.
 - Letakkan kertas saring atau kertas penghisap dengan ukuran sesuai ukuran dasar cetakan.
 - Masukkan seluruh campuran ke dalam cetakan dan tusuk-tusuk campuran dengan spatula yang telah dipanaskan sebanyak 15 kali sekeliling pinggirannya dan 10 kali bagian tengahnya.
 - Letakkan kertas saring atau kertas penghisap di atas permukaan benda uji dengan ukuran sesuai cetakan

- Padatkan campuran dengan temperatur yang disesuaikan dengan kekentalan aspal yang digunakan dengan jumlah tumbukan 75 kali untuk sisi atas dan 75 kali untuk sisi bawah.
- Setelah kira-kira temperatur hangat keluarkan benda uji dari cetakan dengan menggunakan *Extruder* dan letakkan benda uji di atas permukaan yang rata dan beri tanda pengenal serta biarkan selama 24 jam pada temperatur ruang.

3.7.3 Metode Pengujian Sampel

Pengujian sampel dilakukan sesuai dengan prosedur *Marshall test* yang dikeluarkan oleh RSNI M-01-2003.

Pengujian sampel terbagi atas 2 bagian pengujian, yaitu:

1. Penentuan *Bulk Specific Gravity* sampel.
2. Pengujian *Stabiliy* dan *Flow*.

Peralatan yang digunakan untuk pengujian sampel sebagai berikut:

1. Alat uji *Marshall*, alat uji listrik yang berkekuatan 220 volt, didesain untuk memberikan beban pada sampel untuk menguji semi *circular testing head* dengan kecepatan konstan 51 mm (2 inch) permenit. Alat ini dilengkapi dengan sebuah *proving ring* (arloji tekan) untuk mengetahui stabilitas pada beban maksimum pengujian. Selain itu juga dilengkapi dengan *flow meter* (arloji kelelahan) untuk menentukan besarnya kelelahan pada beban maksimum pengujian.
2. *Water Bath*, alat ini dilengkapi pengaturan suhu minimum 20°C dan mempunyai kedalaman 150 mm (6 inch) serta dilengkapi rak bawah 50 mm.
3. Thermometer, ini adalah sebagai pengukur suhu air dalam *water bath* yang mempunyai menahan suhu sampai $\pm 200^{\circ}\text{C}$.

3.7.4 Penentuan Berat Jenis *Bulk Gravity*

Setelah benda uji selesai, kemudian dikeluarkan dengan menggunakan *extruder* dan didinginkan. Berat isi untuk benda uji tidak porus atau gradasi menerus dapat ditentukan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh (SSD). Pengujian dilakukan sesuai dengan SNI 03-6557-2002 metode pengujian berat

jenis nyata campuran berasal didapatkan menggunakan benda uji kering permukaan jenuh.

Pengujian *bulk specific gravity* ini dilakukan dengan cara menimbang benda uji *Marshall* yang sudah dikeluarkan dari mold, dengan menimbang berat dalam keadaan kering udara, kemudian didalam air dan berat jenuh. Perbedaan berat benda uji kering permukaan dengan berat uji dalam air adalah volume *bulk specific gravity* benda uji (cm^3). sedangkan *bulk specific gravity* sampel merupakan perbandingan antara benda uji diudara dengan volume bulk benda uji (gr/cm^3).

Adapun proses tahapan penimbangan sebagai berikut:

- Timbang benda uji diudara
- Rendam benda uji di dalam air
- Timbang benda uji SSD di udara
- Timbang benda uji di dalam air

3.7.5 Pengujian Stabilitas dan Kelelahan (*Flow*)

Setelah penentuan berat *bulk specific gravity* benda uji dilaksanakan, pengujian *stabilitas* dan *flow* dilaksanakan dengan menggunakan alat uji *Marshall* sebagai berikut:

1. Rendamlah benda uji dalam penangas air selama 30 – 40 menit dengan temperatur tetap $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$ untuk benda uji.
2. Untuk mengetahui indeks perendaman, benda uji direndam dalam pemanas air selama 24 jam dengan temperatur tetap $60\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 1\text{ }^{\circ}\text{C}$.
3. Permukaan dalam *testing head* dibersihkan dengan baik. Suhu *head* harus dijaga dari $21\text{ }^{\circ}\text{C}$ - $37\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan digunakan bak air apabila perlu. *Guide road* dilumasi dengan minyak tipis sehingga bagian atas *head* akan meluncur tanpa terjepit. Periksa indikator *proving ring* yang digunakan untuk mengukur beban yang diberikan. Pada setelah dial *proving ring* di stel dengan jarum menunjukkan angka nol dengan tanpa beban.
4. Sampel percobaan yang telah direndam dalam *water bath* diletakkan ditengah bagian bawah dari *test head*. *Flow* meter diletakkan diatas tanpa *guide road* dan jarum petunjuk dinolkan.

5. Pasang bagian atas alat penekan uji *Marshall* di atas benda uji dan letakkan seluruhnya dalam mesin uji *Marshall*.
6. Pasang arloji pengukur pelelehan pada kedudukannya di atas salah satu batang penuntun dan atur kedudukan jarum penunjuk pada angka nol, sementara selubung tangkai arloji (*sleeve*) dipegang teguh pada bagian atas kepala penekan.
7. Sebelum pembebanan diberikan, kepala penekan beserta benda uji dinaikkan hingga menyentuh alas cincin penguji.
8. Atur jarum arloji tekan pada kedudukan angka nol.
9. Berikan pembebanan pada benda uji dengan kecepatan tetap sekitar 50,8 mm per menit sampai pembebanan maksimum tercapai, untuk pembebanan menurun seperti yang ditunjukkan oleh jarum arloji tekan dan catat pembebanan maksimum (*stabilitas*) yang dicapai. Untuk benda uji dengan tebal tidak sama dengan 63,5 mm, beban harus dikoreksi dengan factor pengali.
10. Catat nilai pelelehan yang ditunjukkan oleh jarum arloji pengukur pelelehan pada saat pembebanan maksimum tercapai.

BAB 4

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1 Pemeriksaan Aspal

Aspal yang digunakan untuk bahan ikat pada pembuatan benda uji campuran beton aspal dalam penelitian ini adalah aspal keras Pertamina Pen 60/70. Data hasil pemeriksaan uji aspal diperoleh dari data sekunder. Dari pemeriksaan karakteristik aspal keras yang telah dilakukan perusahaan dan di uji di balai pengujian material diperoleh hasilnya seperti pada Tabel 4.1.

Tabel 4.1: Hasil Pemeriksaan Karakteristik Aspal Keras Pertamina Pen 60/70.

No	Jenis Pengujian	Hasil Uji	Metode Pengujian	satuan
1	Penetrasi Pada 25°C	68,00	SNI 06-2456-2011	0,1mm
2	Titik Lembek	49	SNI 06-2434-2011	°C
3	Daktalitas Pada 25°C, 5cm/Menit	135	SNI 06-2432-2011	cm
4	Titik Nyala	-	SNI 06-2433-2011	°C
5	Berat Jenis	1.035	SNI 06-2441-2011	

Dari pemeriksaan laboratorium diperoleh hasil bahwa aspal keras Pertamina Pen 60/70 memenuhi standart pengujian sebagai bahan ikat campuran beton aspal.

4.2 Pemeriksaan Agregat

4.2.1 Analisis Saringan

Untuk mendapatkan lapis aspal beton (laston) AC-BC yang berkualitas ditentukan dari penyusunan campuran agregat. Bahan terlebih dahulu dilakukan pemeriksaan sifat dan karakteristiknya. Pemeriksaan agregat diawali dengan pemeriksaan analisis saringan agregat kasar dan agregat halus. Pemeriksaan analisis saringan agregat kasar dan agregat halus mengacu pada (SNI 03-1968-1990). Hasil pemeriksaan analisis saringan dapat dilihat pada Tabel 4.2 - 4.7.

Tabel 4.2: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (CA) 1 inch.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	74,91
½	12,50	17,13
3/8	9,50	5,17
No. 4	4,75	0,00
No. 8	2,36	0,00
No. 16	1,18	0,00
No. 30	0,60	0,00
No. 50	0,30	0,00
No. 100	0,15	0,00
No. 200	0,075	0,00

Tabel 4.3 : Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (CA) ¾ inch

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	100
½	12,50	36,51
3/8	9,50	17,94
No. 4	4,75	0,40
No. 8	2,36	0,20
No. 16	1,18	0,20
No. 30	0,60	0,20
No. 50	0,30	0,20
No. 100	0,15	0,20

Tabel 4.4: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat kasar (MA) ½ inchi.

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	100
½	12,50	100
3/8	9,50	97,80
No. 4	4,75	42,74
No. 8	2,36	10,26
No. 16	1,18	1,56
No. 30	0,60	1,48
No. 50	0,30	1,42
No. 100	0,15	1,28
No. 200	0,075	0,30

Tabel 4.5: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus abu batu (Cr).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	100
½	12,50	100
3/8	9,50	100
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	67,40
No. 16	1,18	39,10
No. 30	0,60	28,10
No. 50	0,30	25,00
No. 100	0,15	15,50
No. 200	0,075	9,10

Tabel 4.6: Hasil pemeriksaan analisis saringan agregat halus (Sand).

No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	100
½	12,50	100
3/8	9,50	100
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	98,30
No. 16	1,18	92,90
No. 30	0,60	84,70
No. 50	0,30	68,00
No. 100	0,15	20,80
No. 200	0,075	3,10

Tabel 4.7: Hasil pemeriksaan abu boiler cangkang sawit.

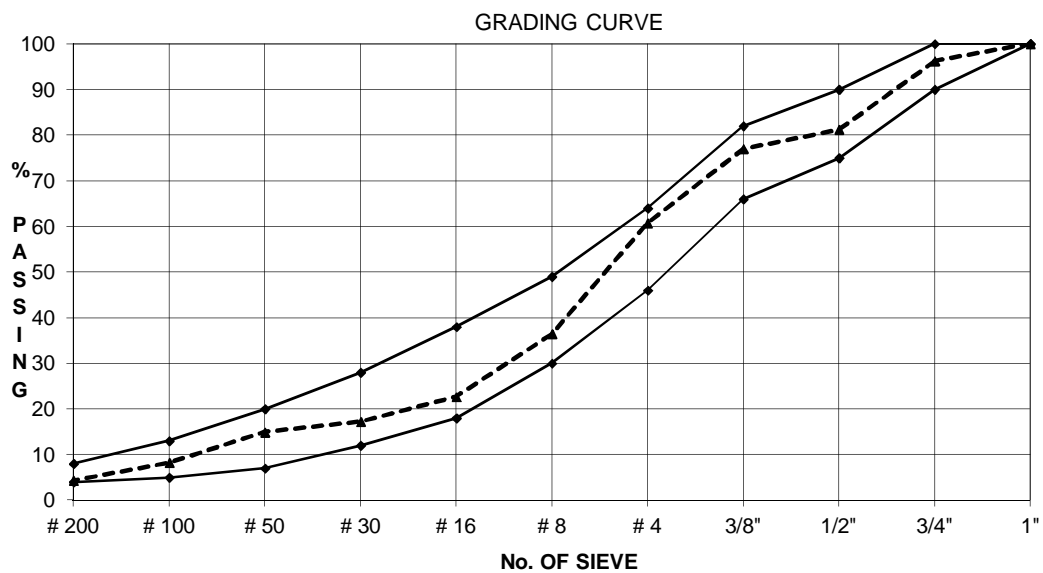
No. Saringan	Ukuran (mm)	% lolos saringan
1 ½	37,50	100
1	25,40	100
¾	19,00	100
½	12,50	100
3/8	9,50	100
No. 4	4,75	100,00
No. 8	2,36	100,00
No. 16	1,18	100,00
No. 30	0,60	99,90
No. 50	0,30	94,25
No. 100	0,15	95,45
No. 200	0,075	83,35

Gradasi agregat gabungan untuk campuran aspal, ditunjukkan dalam persen terhadap berat agregat harus memenuhi batas-batas dan khusus untuk Laston

harus berada diantar batas atas dan bawah. Dari hasil analisis saringan maka gradasi agregat diperoleh seperti Tabel 4.8 dan Gambar 4.1.

Tabel 4.8: Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran normal.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat					AVG
			1	2	3	4	5	
			15%	10%	25%	45%	5%	100%
1 ½	100	100	15,00	10,00	25,00	45,00	5,00	100,00
1	100	100	15,00	10,00	25,00	45,00	5,00	100,00
¾	90	100	11,24	10,00	25,00	45,00	5,00	96,24
½	75	90	2,58	3,65	25,00	45,00	5,00	81,23
3/8	66	82	0,77	1,80	24,45	45,00	5,00	77,02
No. 4	46	64	0,00	0,00	10,69	45,00	5,00	60,64
No. 8	30	49	0,00	0,00	2,57	28,98	4,91	36,46
No. 16	18	38	0,00	0,00	0,39	17,60	4,64	22,62
No. 30	12	28	0,00	0,00	0,37	12,65	4,21	17,23
No. 50	7	20	0,00	0,00	0,36	11,25	3,29	14,84
No. 100	5	13	0,00	0,00	0,32	6,98	0,94	8,23
No. 200	4	8	0,00	0,00	0,08	4,10	0,14	4,31



Gambar 4.1: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.

Dari hasil uji analisis saringan di dapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Data persen agregat yang di peroleh:

- Ø Agregat kasar CA 1 inch = 15 %
- Ø Agregat kasar CA ¾ inch = 10 %
- Ø Agregat medium MA ½ inch = 25 %
- Ø Agregat halus abu batu (Cr) = 45 %
- Ø Agregat halus pasir (*Sand*) = 5 %

Setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm.

Aspal = berat sampel x % kadar aspal (*gram*)

CA 1" = (berat sampel-aspal) x % CA 1" (*gram*)

CA ¾ = (berat sampel-aspal) x % CA ¾ (*gram*)

MA ½ = (berat sampel-aspal) x % MA ½ (*gram*)

Cr = (berat sampel – aspal)x % Cr (*gram*)

Sand = (*berat sampel – aspal*) x % Sand (*gram*)

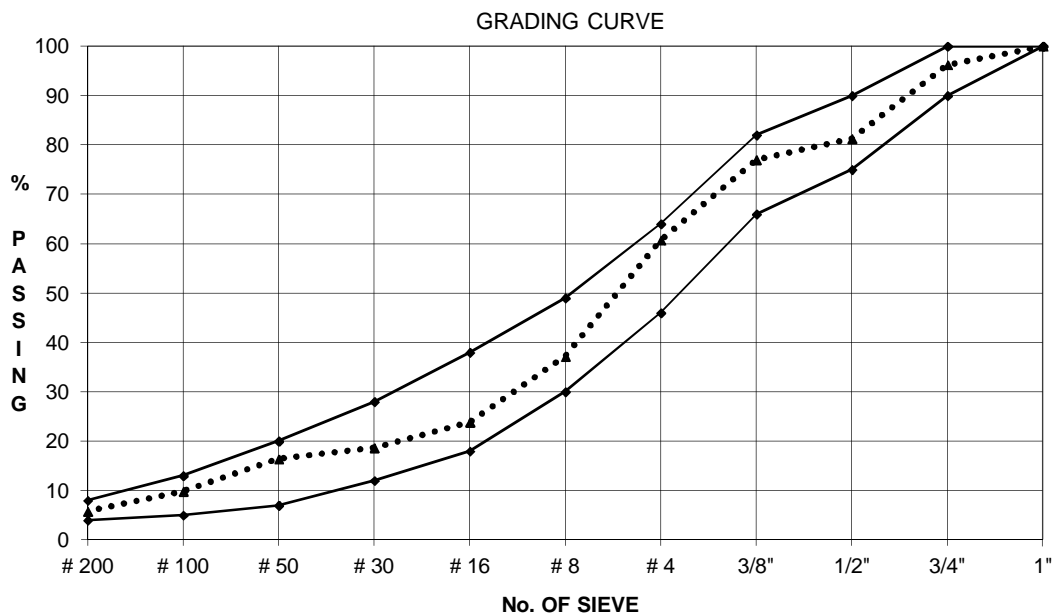
Hasil perhitungan untuk setiap sampel benda uji dengan kadar aspal dari 5% - 7% dapat dilihat pada Tabel 4.9, 4.10, dan Gambar 4.2.

Tabel 4.9: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji campuran normal.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	171	114,0	285,0	513,0	57
5,5%	66	170,1	113,4	283,5	510,3	56,7
6,0%	72	169,2	112,8	282,2	507,6	56,4
6,5%	78	168,3	112,2	280,5	504,9	56,1
7,0%	84	167,4	111,6	279,0	502,2	55,8

Tabel 4.10: Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran abu cangkang sawit sebanyak 2% pada *filler*.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			1	2	3	4	5	6	
			15%	10%	25%	43%	5%	2%	100%
1 ½	100	100	15,00	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	100,00
1	100	100	15,00	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	100,00
¾	90	100	11,24	10,00	25,00	43,00	5,00	2,00	96,24
½	75	90	2,58	3,65	25,00	43,00	5,00	2,00	81,23
3/8	66	82	0,77	1,80	24,45	43,00	5,00	2,00	77,02
No. 4	46	64	0,00	0,00	10,69	43,00	5,00	2,00	60,64
No. 8	30	49	0,00	0,00	2,57	27,69	4,91	2,00	36,46
No. 16	18	38	0,00	0,00	0,39	16,81	4,64	2,00	22,62
No. 30	12	28	0,00	0,00	0,37	12,08	4,21	2,00	17,23
No. 50	7	20	0,00	0,00	0,36	10,75	3,29	1,99	14,84
No. 100	5	13	0,00	0,00	0,32	6,67	0,94	1,91	8,23
No. 200	4	8	0,00	0,00	0,08	3,91	0,14	1,67	4,31



Gambar 4.2: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat

Dari hasil uji analisis saringan di dapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Data persen agregat yang di peroleh:

- Ø Agregat kasar CA 1 inch = 15 %
- Ø Agregat kasar CA ¾ inch = 10 %
- Ø Agregat medium MA ½ inch = 25 %
- Ø Agregat halus abu batu (Cr) = 43 %
- Ø Agregat halus pasir = 5 %
- Ø Abu cangkang sawit (*filler*) = 2%

Setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira 63,5 mm ± 1,27 mm.

Aspal = berat sampel x % kadar aspal (gram)

CA 1" = (berat sampel-aspal) x % CA 1" (gram)

CA ¾ = (berat sampel-aspal) x % CA ¾ (gram)

MA ½ = (berat sampel-aspal) x % MA ½ (gram)

Cr = (berat sampel – aspal)x % Cr (gram)

Sand = (berat sampel – aspal) x % Sand (gram)

Filler = (berat sampel – aspal) x % filler (gram)

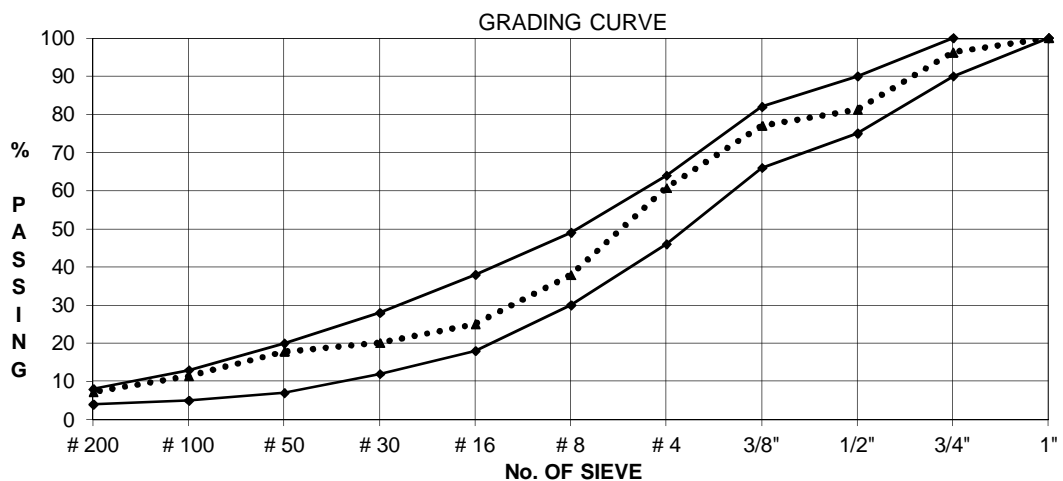
Hasil perhitungan untuk setiap sampel benda uji dengan kadar aspal dari 5% - 7% dapat dilihat pada Tabel 4.11, Tabel 4.12 dan Gambar 4.3.

Tabel 4.11: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji menggunakan *filler* 2%.

Kadar Aspal (%)	Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)
5,0%	60	171	114	285	490,2	57
5,5%	66	170,1	113,4	283,5	487,62	56,7
6,0%	72	169,2	112,8	282	485,04	56,4
6,5%	78	168,3	112,2	280,5	482,46	56,1
7,0%	84	167,4	111,6	279	479,88	55,8

Tabel 4.12: Hasil kombinasi gradasi agregat untuk campuran abu cangkang sawit 4% pada filler.

No. Saringan	Batas Spesifikasi		Kombinasi Agregat						AVG
			1	2	3	4	5	6	
			15%	10%	25%	41%	5%	4%	100%
1 ½	100	100	15,00	10,00	25,00	41,00	5,00	4,00	100,00
1	100	100	15,00	10,00	25,00	41,00	5,00	4,00	100,00
¾	90	100	11,24	10,00	25,00	41,00	5,00	4,00	96,24
½	75	90	2,58	3,65	25,00	41,00	5,00	4,00	81,23
3/8	66	82	0,77	1,80	24,45	41,00	5,00	4,00	77,02
No. 4	46	64	0,00	0,00	10,69	41,00	5,00	4,00	60,64
No. 8	30	49	0,00	0,00	2,57	26,40	4,91	4,00	36,46
No. 16	18	38	0,00	0,00	0,39	16,03	4,64	4,00	22,62
No. 30	12	28	0,00	0,00	0,37	11,52	4,21	4,00	17,23
No. 50	7	20	0,00	0,00	0,36	10,25	3,29	3,97	14,84
No. 100	5	13	0,00	0,00	0,32	6,36	0,94	3,82	8,23
No. 200	4	8	0,00	0,00	0,08	3,73	0,14	3,33	4,31



Gambar 4.3: Grafik hasil kombinasi gradasi agregat.

Dari hasil uji analisis saringan di dapat hasil kombinasi gradasi agregat yang memenuhi spesifikasi Bina Marga 2010.

Data persen agregat yang di peroleh:

- Ø Agregat kasar CA 1 inch = 15 %
- Ø Agregat kasar CA ¾ inch = 10 %
- Ø Agregat medium MA ½ inch = 25 %
- Ø Agregat halus abu batu (Cr) = 41 %

- Ø Agregat halus pasir = 5 %
- Ø Abu cangkang sawit (*Filler*) = 4%

Setiap benda uji diperlukan agregat sebanyak ± 1200 gram sehingga menghasilkan tinggi benda uji kira-kira $63,5 \text{ mm} \pm 1,27 \text{ mm}$.

Aspal = berat sampel x % kadar aspal (*gram*)

CA 1" = (berat sampel-aspal) x % CA 1" (*gram*)

CA ¾" = (berat sampel-aspal) x % CA ¾" (*gram*)

MA ½" = (berat sampel-aspal) x % MA ½" (*gram*)

Cr = (berat sampel – aspal)x % Cr (*gram*)

Sand = (berat sampel – aspal) x % Sand (*gram*)

Filler = (berat sampel – aspal) x % filler (*gram*)

Tabel 4.13: Hasil perhitungan berat agregat yang diperlukan untuk benda uji menggunakan *filler* 4%.

Aspal (gram)	CA 1 inch (gram)	CA ¾ inch (gram)	MA ½ inch (gram)	Abu batu (gram)	Pasir (gram)	<i>filler</i> (gram)
60	171,00	114,00	285,00	467,40	57,00	45,60
66	170,10	113,40	283,50	464,94	56,70	45,36
72	169,20	112,80	282,00	462,48	56,40	45,12
78	168,30	112,20	280,50	460,02	56,10	44,88
84	167,40	111,60	279,00	457,56	55,80	44,88

4.2.2 Perhitungan Berat Jenis Agregat

1. Berat jenis agregat CA 1 inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\text{Berat Jenis Curah} = \frac{5000}{4947-3110} = 2,617\text{gr}$$

$$\text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} = \frac{5000}{5000-3110} = 2,646\text{gr}$$

$$\text{Berat Jenis semu} = \frac{4947}{4947-3110} = 2,693\text{gr}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{5000-4947}{4947} \times 100\% = 1,071\%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 11 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA 1 inch dapat dilihat pada Tabel 4.14.

Tabel 4.14: Data hasil pengujian berat jenis agregat kasar CA 1 inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S ^d)	2,617	2,629	2,623
Berat jenis curah kering permukaan (S ^s)	2,646	2,654	2,650
Berat jenis semu (S ^s)	2,693	2,696	2,693
Penyerapan (S ^w)	1,071	0,949	1,010

2. Berat jenis agregat CA ¾ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{3000}{2971-1865} = 2,599 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{3000}{3000-1865} = 2,629 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis semu} &= \frac{2971}{2971-1865} = 2,679 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{3000-2971}{2971} \times 100\% = 1,146 \% \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat CA ¾ inch dapat dilihat pada Tabel 4.15.

Tabel 4.15: Data hasil pengujian berat jenis agregat kasar CA ¾ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S ^d)	2,599	2,618	2,609
Berat jenis curah kering permukaan (S ^s)	2,629	2,643	2,636
Berat jenis semu (S ^s)	2,679	2,686	2,683
Penyerapan (S ^w)	1,146	0,978	1,061

3. Berat jenis agregat MA ½ inch

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{2000}{1958-1242} = 2,583 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{2000}{2000-1242} = 2,639 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis semu} &= \frac{1958}{1958-1242} = 2,734 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{2000-1958}{1958} \times 100\% = 2,145 \text{ \%} \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat MA ½ inch dapat dilihat pada Tabel 4.16.

Tabel 4.16: Data hasil pengujian berat jenis agregat Medium MA ½ inch.

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,583	2,600	2,592
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,639	2,649	2,644
Berat jenis semu (S _s)	2,735	2,734	2,734
Penyerapan (S _w)	2,145	1,885	2,015

4. Berat jenis agregat halus abu batu (Cr)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{492}{500+666-980} = 2,645 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{492+666-980} = 2,809 \text{ gr} \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{492}{492+666-980} = 2,764 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{(500-492)}{492} \times 100\% = 1,600 \text{ \%} \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 10 dan rekapitulasi data hasil pengujian abu batu dapat dilihat pada Tabel 4.17.

Tabel 4.17: Data pengujian berat jenis agregat halus abu batu (Cr).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,645	2,656	2,651
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,809	2,778	2,793
Berat jenis semu (S _s)	2,764	2,744	2,754
Penyerapan (S _w)	1,600	1,200	1,400

5. Berat jenis agregat halus pasir

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{495}{500+667-977} = 2,605 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{500}{500+667-977} = 2,632 \text{ gr} \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{495}{495+667-977} = 2,676 \text{ gr} \\ \text{Penyerapan} &= \frac{(500-495)}{495} \times 100\% = 1,010 \% \end{aligned}$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 12 dan rekapitulasi data hasil pengujian pasir dapat dilihat pada Tabel 4.18.

Tabel 4.18: Data pengujian berat jenis agregat halus pasir (Sand).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S _d)	2,605	2,583	2,594
Berat jenis curah kering permukaan (S _s)	2,632	2,604	2,618
Berat jenis semu (S _s)	2,676	2,638	2,657
Penyerapan (S _w)	1,010	0,806	0,908

6. Berat jenis agregat halus abu cangkang sawit (*filler*)

Dari percobaan yang dilakukan didapat hasil perhitungan sampel:

$$\begin{aligned} \text{Berat Jenis Curah} &= \frac{189}{200+666-752} = 1,658 \text{ gr} \\ \text{Berat Jenis kering permukaan jenuh} &= \frac{200}{200+666-752} = 1,754 \text{ gr} \\ \text{Berat jenis semu} &= \frac{189}{189+666-752} = 1,835 \text{ gr} \end{aligned}$$

$$\text{Penyerapan} = \frac{(200-189)}{189} \times 100\% = 5,820 \%$$

Untuk hasil pengujian lebih lengkap dapat dilihat pada lampiran 13 dan rekapitulasi data hasil pengujian agregat halus abu cangkang sawit dapat dilihat pada Tabel 4.19.

Tabel 4.19: Data pengujian berat jenis agregat halus abu cangkang sawit (*filler*).

Perhitungan	I	II	Rata-Rata
Berat jenis curah kering (S_d)	1,658	1,709	1,683
Berat jenis curah kering permukaan (S_s)	1,754	1,818	1,786
Berat jenis semu (S_s)	1,835	1,918	1,877
Penyerapan (S_w)	5,820	6,383	6,102

4.3 Pemeriksaan Benda Uji

4.3.1 Perhitungan Parameter Pengujian

Nilai parameter *Marshall* diperoleh dengan melakukan perhitungan terhadap hasil percobaan laboratorium. Rumus yang digunakan untuk menghitung parameter pengujian *Marshall* adalah sebagai berikut:

- a. Persentase terhadap batuan = 5,3 %
- b. Persentase aspal terhadap campuran = 5 %
- c. Berat sampel kering = 1192 gr
- d. Berat sampel jenuh = 1193 gr
- e. Berat sampel dalam air = 687 gr

- f. Volume sampel = 1193 – 687
= 506 cc
- g. Berat isi sampel = 1192 / 506
= 2,356 gr/cc
- h. Berat jenis maksimum = $\frac{100}{\left(\frac{95\%}{2,676}\right) - \left(\frac{5\%}{1,035}\right)}$
= 2,480 %

- i. Persentase volume aspal $= \frac{5\% \times 2,356}{1,035}$
 $= 11,377 \%$
- j. Persentase volume agregat $= \frac{(100-5\%) \times 2,356}{2,624}$
 $= 85,273 \%$
- k. Persentase rongga terhadap campuran $= 100 - \left(\frac{100 \times 2,356}{2,480} \right)$
 $= 4,997 \%$
- l. Persentase rongga terhadap agregat $= 100 - \left(\frac{2,356 \times 5\%}{2,624} \right)$
 $= 14,727 \%$
- m. Persentase rongga terisi aspal $= 100 \times \left(\frac{14,727 - 4,997}{14,727} \right)$
 $= 66,068 \%$
- n. Kadar aspal efektif $= 4,276$
- o. Pembacaan arloji stabilitas $= 135$
- p. Kalibrasi proving ring $= (7,693 \times 135) + 0,316$
 $= 1,039$
- q. Stabilitas akhir $= (134434 \times 506^{-1,8897}) \times 135$
 $= 1084$
- r. Kelelehan $= 2,98 \text{ mm}$

Dari hasil pengujian *Marshall* yang dilakukan di Laboratorium Jalan Raya Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara mendapatkan nilai Berat Isi (*Bulk Density*), stabilitas (*Stability*), Persentase Rongga Terhadap Campuran (*Air Voids*), Persentase Rongga Terisi Aspal (*Voids Filled*), Persentase Rongga Terhadap Agregat (*VMA*), kelelehan (*Flow*) untuk campuran aspal normal serta penggunaan cangkang sawit pada *filler* 2% dan 4%.

1. *Bulk density*

$$\begin{aligned} \text{Bulk density} &= \frac{\text{sampel 1} + \text{sampel 2} + \text{sampel 3}}{3} \\ &= \frac{2.356 + 2.371 + 2.355}{3} \end{aligned}$$

$$= 2.360$$

2. *Stability*

$$\begin{aligned} \text{Stability} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\ &= \frac{1.084+652+1.080}{3} \\ &= 939 \end{aligned}$$

3. *Air voids*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\ &= \frac{4,997+4,401+5,025}{3} \\ &= 4,808 \end{aligned}$$

4. *Voids filled*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\ &= \frac{66,068+66,990+65,934}{3} \\ &= 66,997 \end{aligned}$$

5. *VMA*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\ &= \frac{14,727+14,191+14,752}{3} \\ &= 14,557 \end{aligned}$$

6. *Flow*

$$\begin{aligned} &= \frac{\text{sampel 1+sampel 2+sampel 3}}{3} \\ &= \frac{2,98+3,03+3,09}{3} \\ &= 3.03 \end{aligned}$$

Data selengkapnya dapat dilihat pada daftar lampiran 14, 18, 22 dan rekapitulasi dari hasil pengujian dapat dilihat di Tabel 4.14 - 4.22.

Tabel 4.20: Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal tanpa menggunakan *filler*.

No.	Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Bulk Density (gr/cc)	2,360	2.334	2.334	2,320	2,315
2	Stability (kg)	939	989	1021	911	836
3	Air Voids (%)	4,81	4,78	4,51	4,36	3,89
4	VMA (%)	14,56	15,6	16,96	17,88	18,49
5	Flow (mm)	3,03	3,17	3,24	3,32	3,39
6	Voids Filled (%)	67,00	69,35	73,35	75,74	79,18
7	PRD		4,93	4,78	4,26	

Tabel 4.21: Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan filler sebanyak 2% .

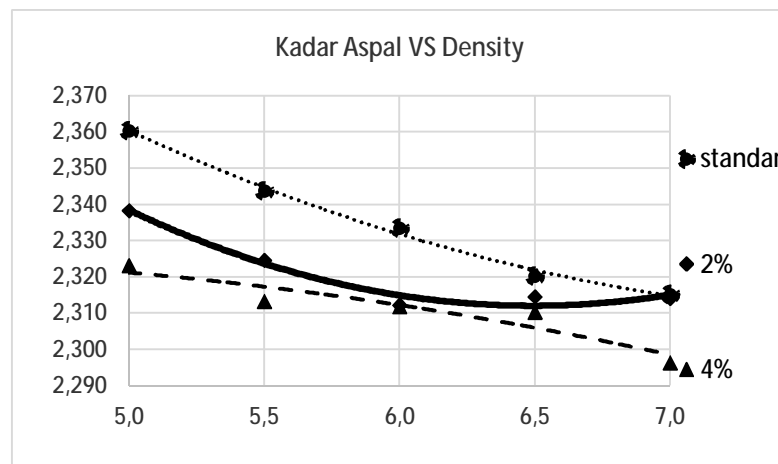
No.	Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Bulk Density (gr/cc)	2.338	2.325	2.312	2.315	2.314
2	Stability (kg)	844	890	966	878	837
3	Air Voids (%)	4,84	4,72	4,54	3,77	3,1
4	VMA (%)	14,39	15,34	16,18	17,17	17,63
5	Flow (mm)	2,12	2,37	2,49	2,67	2,85
6	voids filled (%)	66,37	69,43	72,89	78,00	82,43
7	PRD		3,97	3,23	3,42	

Tabel 4.22: Hasil Uji Marshall Campuran Beton Aspal Menggunakan filler sebanyak 4% .

No.	Karakteristik	Kadar Aspal (%)				
		5,0	5,5	6,0	6,5	7,0
1	Bulk Density (gr/cc)	2.323	2.313	2.312	2.310	2.296
2	Stability (kg)	895	931	1080	981	926
3	Air Voids (%)	4,61	4,34	3,73	3,12	3,03
4	VMA (%)	14,00	14,8	15,9	16,4	17,4
5	Flow (mm)	2,08	2,24	2,59	2,77	3,08
6	voids filled (%)	67,01	71,16	76,51	80,98	82,51
7	PRD		3,32	3,17	3,22	

4.3.1.1 Bulk Density

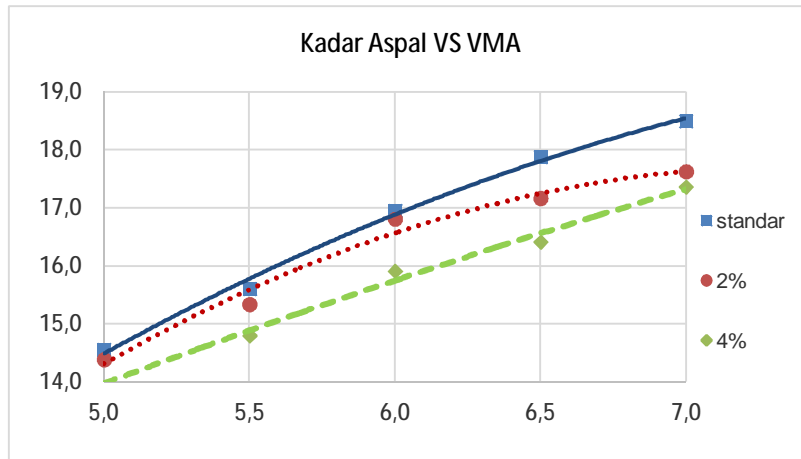
Dari hasil percobaan *Bulk Density* menunjukkan perbedaan nilai *Bulk Density* antara aspal menggunakan *filler* dan aspal tanpa menggunakan *filler*. Hasil *Bulk Density* menunjukkan bahwa nilai *Bulk Density* aspal campuran tanpa *filler* lebih tinggi dari pada nilai *Bulk Density* aspal campuran menggunakan *filler*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4: Perbandingan nilai *Bulk Density* campuran aspal standar dan aspal menggunakan *filler*.

4.3.1.2 Rongga Dalam Mineral Agregat (*Void in mineral agregat/VMA*)

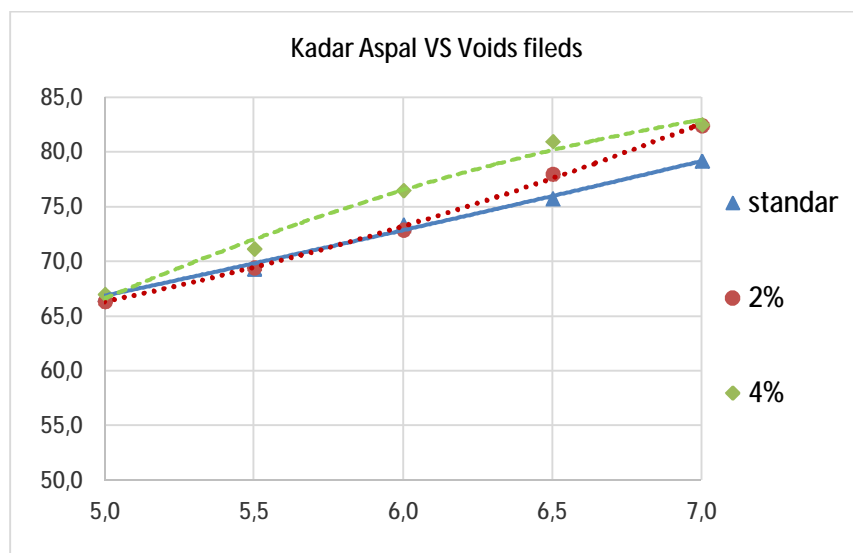
Nilai VMA pada campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler* menunjukkan perbandingan yang signifikan. Hasil nilai VMA menunjukkan bahwa nilai VMA campuran aspal standar lebih tinggi dibandingkan dengan nilai VMA campuran aspal menggunakan *filler*. Perbandingan nilai VMA dapat dilihat pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5: Perbandingan nilai VMA campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler*.

4.3.1.3 Rongga Terisi Aspal (*Void Fill Bitumen/VFB*)

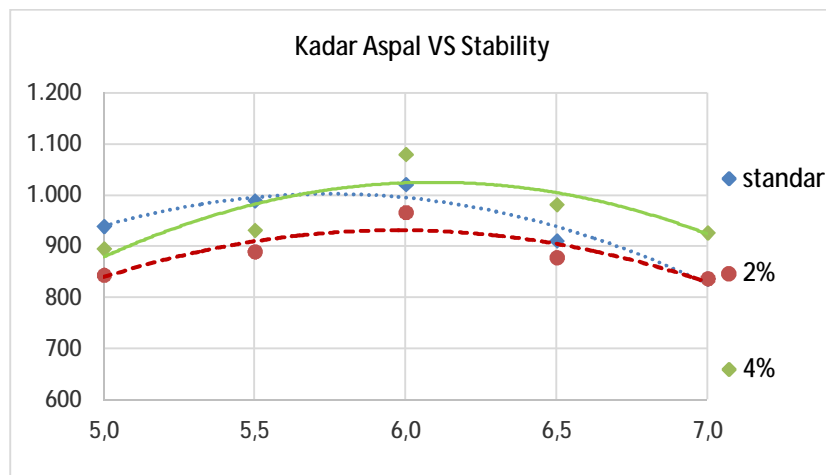
Dari hasil pengujian karakteristik sifat *Marshall* untuk campuran aspal menggunakan *filler* dan campuran aspal standar didapat berbandingan diantara kedua jenis campuran tersebut. Nilai VFB campuran aspal menggunakan *filler* lebih tinggi dibandingkan dengan aspal standar. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.6.



Gambar 4.6: Perbandingan nilai VFB campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler*.

4.3.1.4 Stabilitas Marshall

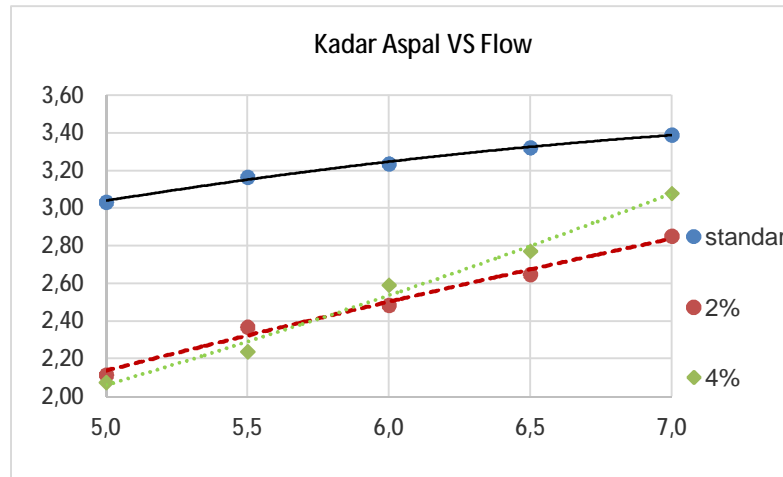
Hasil nilai *Stability* pada campuran aspal standar dengan aspal menggunakan *filler* menunjukkan perbandingan diantara kedua jenis campuran tersebut. Nilai *Stability* untuk campuran aspal menggunakan *filler* lebih tinggi dibandingkan dengan nilai *Stability* campuran aspal standar kenaikan signifikan terdapat pada aspal 6% dengan menggunakan *filler* 4%. Perbandingan nilai *Stability* diantara kedua campuran aspal tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7: Perbandingan nilai *Stability* campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler*.

4.3.1.5 Kelelehan (*Flow*)

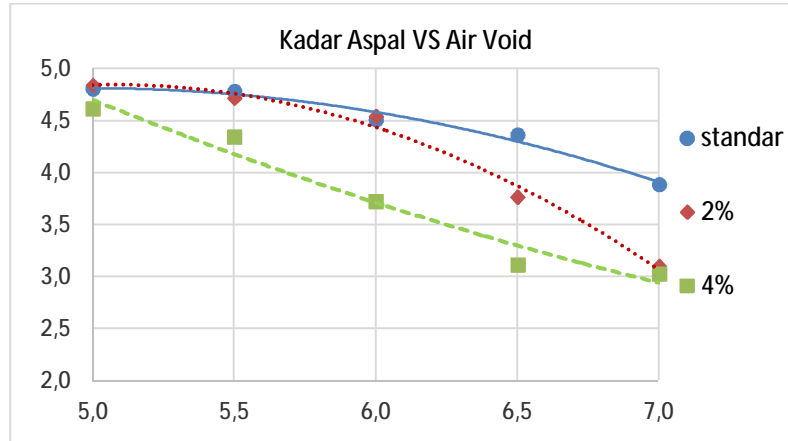
Hasil uji *Marshall Flow* menunjukkan bahwa nilai *Flow* pada campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler* menunjukkan berbanding karakteristik *Marshall Flow*. Perbandingan diantara dua jenis campuran tersebut menunjukkan bahwa nilai *Flow* campuran aspal standar lebih tinggi dibandingkan nilai *Flow* campuran aspal menggunakan *filler*, seperti yang ditunjukkan pada Gambar 4.8.



Gambar 4.8: Perbandingan nilai *Flow* campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler*.

4.3.1.6 Rongga Dalam Campuran (*Voids in Mix Marshall/VIM*)

Hasil nilai VIM menunjukkan bahwa nilai VIM campuran aspal menggunakan *filler* lebih rendah dibandingkan nilai VIM pada campuran aspal standar. Hasil perbandingan tersebut dapat dilihat pada Gambar 4.9.

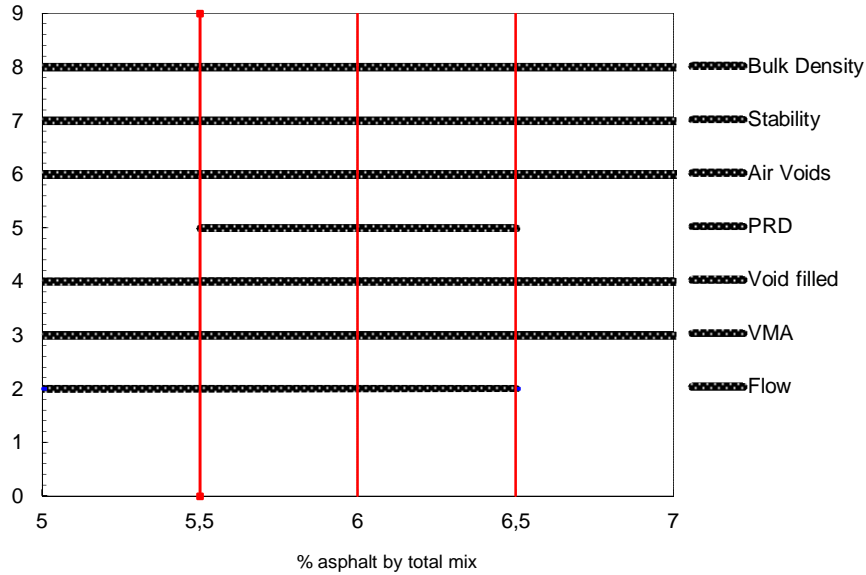


Gambar 4.9: Perbandingan nilai VIM campuran aspal standar dan campuran aspal menggunakan *filler*.

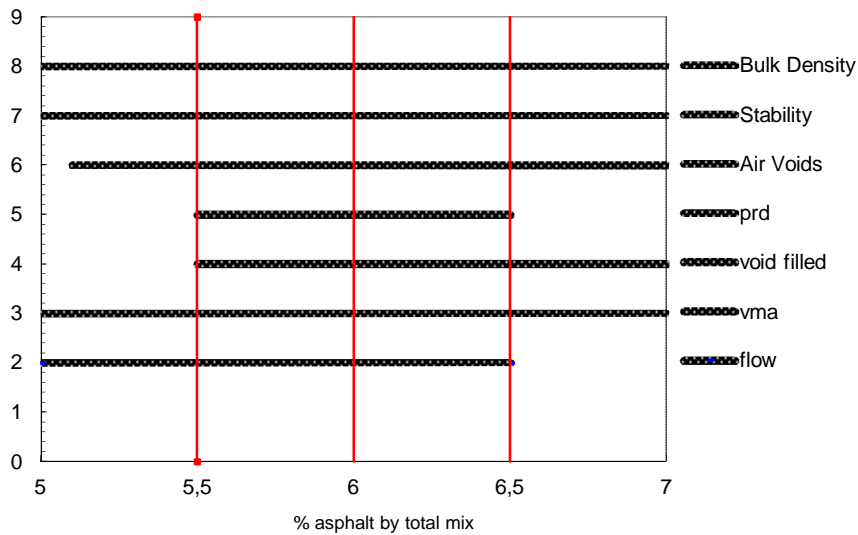
4.3.1.7 Kadar Aspal Optimum

Kadar aspal optimum adalah kadar aspal dari hasil pengujian *Marshall* yang memenuhi persyaratan batas spesifikasi stabilitas, *Flow*, VIM, VFB campuran beton aspal sehingga didapat batas koridor dan diambil tengah dari koridor

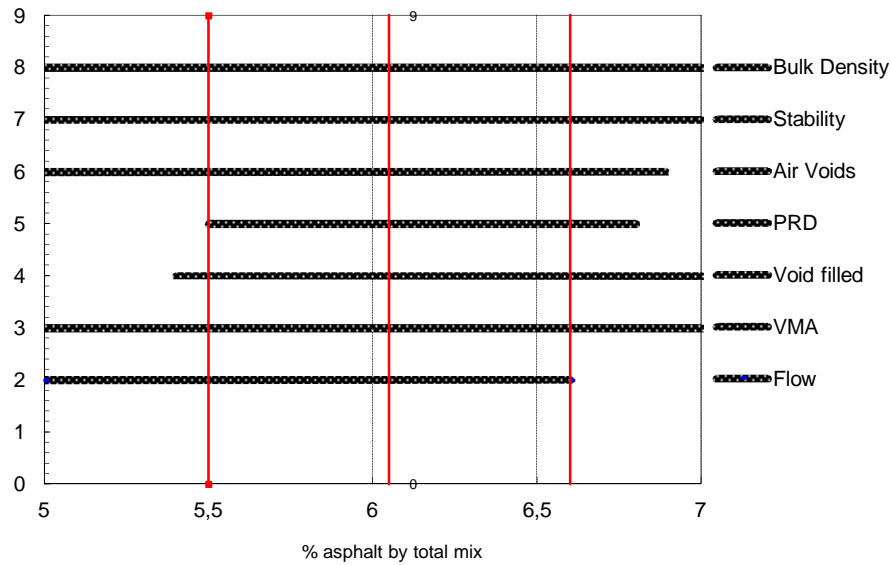
tersebut. Hasil pengujian *Marshall* kadar aspal optimum campuran normal dan campuran menggunakan *filler* dapat dilihat pada Gambar 4.10 - 4.12.



Gambar 4.10: Rentang kadar aspal untuk beton aspal yang tanpa menggunakan *filler*.



Gambar 4.11: Rentang kadar aspal untuk beton aspal yang menggunakan campuran *filler* 2%.



Gambar 4.12: Rentang kadar aspal untuk beton aspal yang menggunakan campuran *filler* 4%.

Dari Gambar 4.10 – 4.12, bisa dilihat batas toleransi nilai efektif yang diperbolehkan untuk suatu pembuatan campuran beton aspal berdasarkan bahan susun yang tanpa menggunakan campuran *filler* dan susunan yang menggunakan *filler*, dengan agregat seperti pada Tabel 4.9, 4.11, dan 4.13.

4.3.1.8 Hasil Pada Kondisi Optimum

Hasil pengujian *Marshall* pada kondisi aspal optimum pada campuran beton aspal yang tanpa menggunakan campuran *filler* dan menggunakan campuran *filler* dapat dilihat pada Tabel 4.23 - 4.25.

Tabel 4.23: Hasil pengujian *Marshall* tanpa menggunakan *filler*.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,338	Gr/cc
2	Stability	999	Kg
3	Flow	3,24	Mm
4	Air voids	4,65	%
5	Voids filled	72,22	%
6	VMA	16,68	%
7	Asphalt	5,90	%
8	PRD	4,87	%

Tabel 4.24: Hasil pengujian *Marshall* menggunakan *filler* sebanyak 2%.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,315	Gr/cc
2	Stability	930	Kg
3	Flow	2,52	Mm
4	Air voids	4,48	%
5	Voids filled	73,02	%
6	VMA	16,62	%
7	Asphalt	6,00	%
8	PRD	4,72	%

Tabel 4.25: Hasil pengujian *Marshall* menggunakan *filler* sebanyak 4%.

No	Pengujian	Hasil	Satuan
1	Bulk density	2,312	Gr/cc
2	Stability	1020	Kg
3	Flow	2,55	Mm
4	Air voids	3,66	%
5	Voids filled	76,91	%
6	VMA	15,84	%
7	Asphalt	6,05	%
8	PRD	4,64	%

4.4. Pembahasan dan Analisis

4.4.1. Perbandingan Sifat *Marshall*

Dari hasil nilai pengujian sifat *Marshall* campuran aspal tanpa *filler* dengan campuran aspal menggunakan *filler* untuk nilai *Bulk Density*, *Stability*, *Air Voids*, *Voids Filled*, VMA dan *Flow* dalam keadaan optimum dapat dilihat perbandingan diantara kedua jenis campuran tersebut seperti yang di tunjukan pada Gambar 4.4 – 4.12. dan Tabel 4.23 – 4.25.

Pada hasil diatas didapat nilai pada campuran tanpa *Filler* lebih tinggi di bandingkan dengan campuran menggunakan *Filler*, tetapi pada kadar *Filler* 4% nilai *stability* dan *Voids filled* memiliki nilai lebih tinggi dibandingkan yang lainnya. Disini dapat ditarik garis kesimpulannya bahwa kadar *Filler* 2% tidak dapat digunakan karna tidak ditemukan kelebihan di bandingkan dengan kedua jenis campuran lainnya.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1. Kesimpulan

Dari hasil penelitian yang telah dilakukan dan pembahasan mengenai evaluasi perbandingan sifat *Marshall* dan nilai structural beton aspal AC-BC yang menggunakan aspal keras Pertamina Pen 60/70 yang menggunakan *filler* dan tanpa menggunakan *filler*, yang dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil pemeriksaan karakteristik sifat *Marshall* pada campuran beton aspal yang menggunakan *filler* dan tanpa menggunakan *filler* tersebut secara umum memenuhi spesifikasi yang ditetapkan oleh Bina Marga.
2. Data yang di peroleh dari hasil penelitian yaitu: aspal (5,90%, 6,00%, 6,05%) stabilitas (999 kg, 930 kg, 1020kg), flow (3,24 mm, 2,52mm, 2,55 mm), AIR VIODS (4,65%, 4,48%, 3,66%) dan PRD (4,87%, 4,72%, 4,64%), VMA (16,68%, 16,62%, 15,84%), dan VFB nya (72,22%, 73,02%, 76,91%) untuk masing masing campuran (campuran normal dan campuran menggunakan *filler* 2%, 4%). Dari analisis didapatkan nilai aspal optimum yang memiliki nilai tertinggi terdapat pada campuran yang menggunakan *filler* 4%.

5.2. Saran

Dari hasil selama penelitian ini dilakukan di Laboratorium Fakultas Teknik Sipil Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara timbul beberapa saran yang perlu dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Diperlukannya ketelitian dalam membuat gradasi agar dapat menentukan proporsi dalam campuran beton aspal AC-BC yang sesuai dengan spesifikasi Bina Marga 2010.
2. Diperlukannya ketelitian pada saat pengujian *Marshall Test* untuk memperkecil terjadinya kesalahan pada saat pengujian.
3. Dan diperlukannya ketelitian disetiap alat kerja pada Laboratorium.
4. Jika ada yang ingin melanjutkan penelitian ini coba gunakan variasi kadar *Filler* lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- Bina Marga (2010) *Spesifikasi Umum 2010, Seksi 6.3. Campuran Beraspal Panas.*
- Departemen Permukiman dan Prasarana Wilayah (DPPW) (2002), *Manual pekerjaan campuran beraspal panas.*
- Departemen Pekerjaan Umum (1987) *Petunjuk perencanaan tebal perkerasan lentur jalan raya dengan metode analisa komponen.*
- Hudan, M. F. (2012) *Abu Boiler Sebagai Bahan Pengganti Semen Dalam Campuran Beton Dan Perbandingannya Dengan Beton Normal*, Tugas Akhir S1 Universitas Sumatera Utara
- Simanjuntak, E. P. (2013) *Studi Pengaruh Penggunaan Variasi Filler Semen, Serbuk, Bentonit, dan Fly Ash Batubara Terhadap Karakteristik Campuran Beton Lapis Lapisan Pondasi Atas (Ac-Base)*
- Gultom, M. H. (1995) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Dan Modulus Kekakuan Campuran Beton Aspal Yang Menggunakan Bahan Susun Batu Adesit Dan Bahan Susun Batu Putih*, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Yogyakarta.
- Maulana, B. M. (2016) *Evaluasi Kadar Aspal Optimum Campuran Aspal Beton Menggunakan Filler Abu Vulkanik*, Tugas Akhir S1 Universitas Muhammadiyah Sumatera Utara.
- Sukirman, S. (1999) *Perkerasan Lentur Jalan Raya*. Politeknik Bandung.